ВИДАВНИЦТВО «ГЕНЕЗА»

П.Г. Балан, Ю.Г. Вервес, В.П. Поліщук

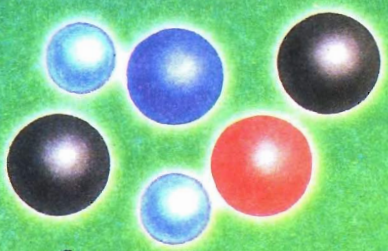
БІОЛОГІЯ

10

Рівень стандарту,
академічний рівень



Рівні організації живого



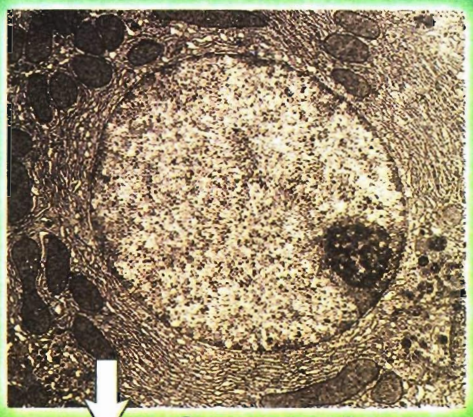
Атоми



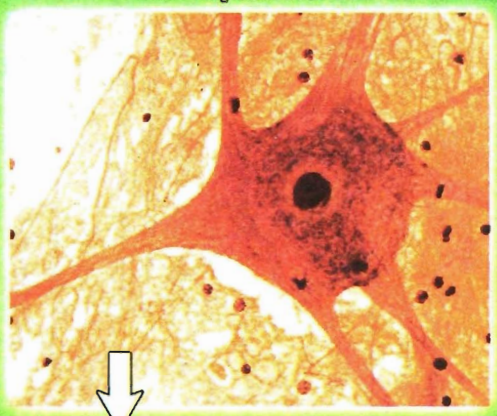
Молекули



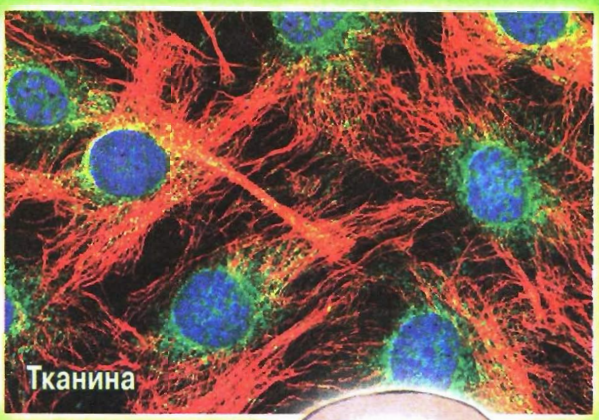
Макромолекули



Органели клітини



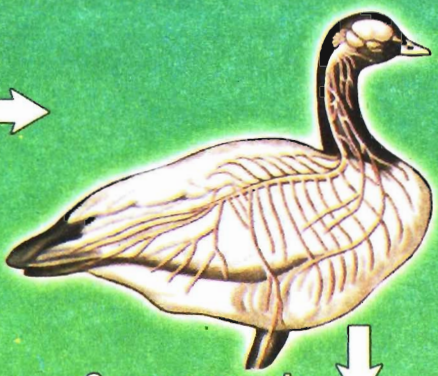
Клітина



Тканина



Орган



Система органів





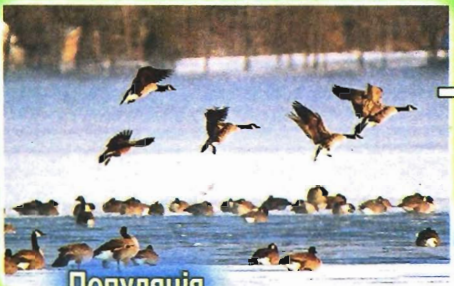
Види



Організм



Екосистема



Популяція



Біосфера

ББК 28.6я721
Б77

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ від 03.03.2010 р. № 177)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Наукову експертизу проводив

М.В. Кучук, доктор біологічних наук, член-кореспондент НАНУ, в. о. директора Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

Психолого-педагогічну експертизу проводила

С.Е. Трубачева, канд. педагогічних наук, старший науковий співробітник лабораторії дидактики Інституту педагогіки НАПН України

Експерти, які здійснювали експертизу:

Л.О. Тасенко, учитель комунального закладу «Навчально-виховне об'єднання "Загальноосвітній навчальний заклад I–III ст. № 16 – дитячий та юнацький центр "Лідер" Кіровоградської міської ради»;

В.В. Юрович, учитель-методист СЗШ № 15 м. Львова;

О.А. Мазур, методист Барського РМК, Вінницька обл.;

І.Ф. Кедич, завідуюча Підгаєцьким РМК, Тернопільська обл.;

С.Є. Бухальська, старший викладач Рівненського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

Балан, П.Г.

Б77 Біологія : 10 кл. : Підруч. для загальноосвіт. навч. закл. : рівень стандарту, академічний рівень / П.Г. Балан, Ю.Г. Вервес, В.П. Поліщук. – К. : Генеза, 2010. – 288 с. : іл.

ISBN 978-966-504-999-9

ББК 28.6я721

© Балан П.Г., Вервес Ю.Г.
Поліщук В.П., 2010
© Видавництво «Генеза»,
оригінал-макет, 2010

ISBN 978-966-504-999-9

П.Г. Балан, Ю.Г. Вервес, В.П. Полищук

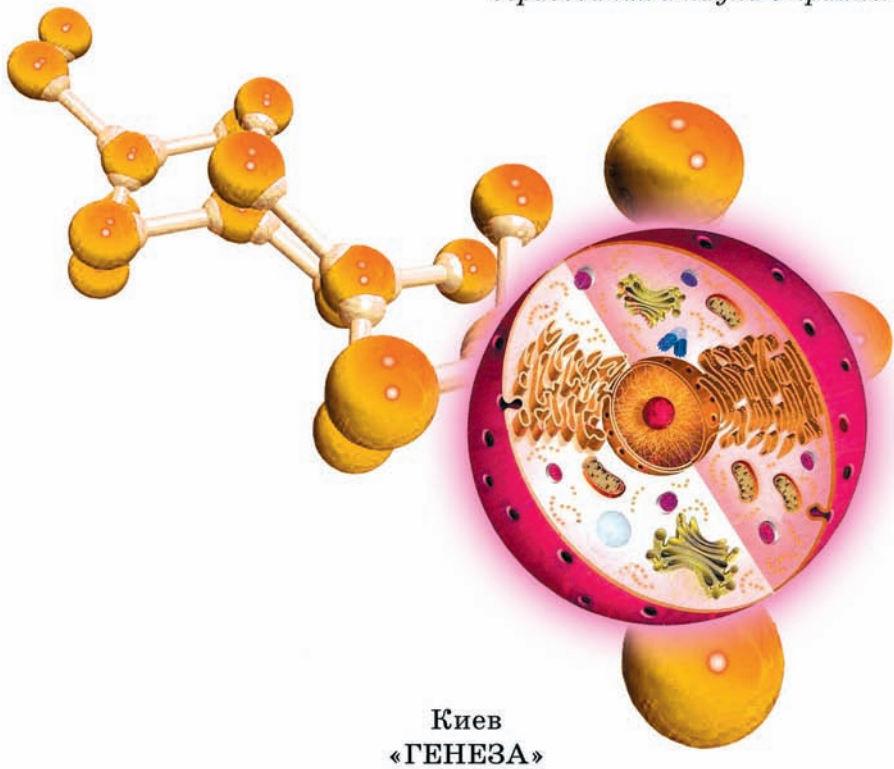
БИОЛОГИЯ

10

Уровень стандарта, академический уровень

Учебник для общеобразовательных учебных заведений

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины



Киев
«ГЕНЕЗА»
2010

Дорогие десятиклассники!

На протяжении предыдущих лет обучения вы ознакомились с разнообразным миром организмов: бактерий, растений, грибов, животных. Вы также детально изучали строение и процессы жизнедеятельности человека.

В 10-м классе вы ознакомитесь с достижениями таких биологических наук, как биохимия, цитология, гистология и др. Вы узнаете об общих закономерностях функционирования живой природы на различных уровнях ее организации (молекулярном, клеточном и организменном) и обобщите полученные ранее знания. Эти знания помогут вам лучше сориентироваться в сложном, разнообразном и чрезвычайно интересном мире живых существ, понять их взаимосвязи со средой обитания, единство органического мира. Надеемся, что вы осознаете необходимость беречь окружающую природную среду и улучшать ее состояние, охранять и рационально использовать природные ресурсы.

Важными составляющими урока биологии являются лабораторные и практические работы, которые помогут вам глубже усвоить теоретический материал и приобрести элементарные практические навыки в разных отраслях биологии. Учебник, кроме обязательных для уровня стандарта данных, содержит материал, изучение которого предусмотрено программой для учащихся, осваивающих биологию на академическом уровне. Этот материал особым образом выделен в тексте. Впрочем, эти сведения интересны и полезны и для десятиклассников, изучающих основы биологии на уровне стандарта.

Краткий словарь терминов и понятий облегчит вам работу с учебником.

Жизнь на нашей планете поражает сложностью и разнообразием проявлений. Охватить их все в школьном курсе невозможно, поэтому рассмотрим лишь основные общие закономерности. Надо помнить, что и теперь, когда биология достигла значительных успехов в изучении живой природы, перед этой наукой поставлено много нерешенных вопросов, на которые ученые еще не могут дать аргументированных ответов. Много положений современной биологии являются только предположениями, и, возможно, вы станете свидетелями новых выдающихся открытий.

Итак, успехов вам в познании сложного и интересного мира живых организмов! Надеемся, что полученные при изучении биологии знания пригодятся вам в будущем.



ВВЕДЕНИЕ

- *Система биологических наук;*
- *значение биологии в жизни человека;*
- *уровни организации живой материи;*
- *методы исследований в биологии;*
- *основные достижения современной биологии;*
- *основные задачи биологических наук на современном этапе.*

§ 1. СИСТЕМА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК. СВЯЗЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК С ДРУГИМИ НАУКАМИ

Вспомните: *какие биологические науки вам известны? Каких вы знаете выдающихся ученых-биологов?*

• Биология – комплексная наука о живой природе. Вы уже знаете, что биология исследует разные проявления жизни. Как самостоятельная естественная наука биология зародилась еще до нашей эры, а ее название предложили в 1802 г. независимо друг от друга французский ученый **Жан-Батист Ламарк** (1744–1829) и немецкий – **Готфрид Рейнхольд Тревиранус** (1766–1837).

В течение предыдущих лет обучения вы уже познакомились с основами таких биологических наук, как ботаника, микология, зоология, анатомия и физиология человека и др. В следующем году вы узнаете также о достижениях других наук: биохимии, цитологии, вирусологии, биологии индивидуального развития, генетики, экологии, эволюционного учения, систематики, палеонтологии и др. Данные этих и многих других биологических наук позволяют изучать закономерности, присущие всем живым организмам. Рассмотрите рисунок 1.1 и ознакомьтесь с краткими характеристиками основных биологических наук. (*Подумайте, какие из биологических наук, приведенных на схеме, по вашему мнению, тесно связаны между собой.*)

Биологию называют ведущей наукой XXI ст. Без достижений биологии в настоящее время невозможны прогресс аграрных наук, здравоохранения, биотехнологии, сохранение окружающей естественной среды и т. п.

• Взаимосвязи биологии с другими науками. Биология тесно связана с другими естественными и гуманитарными науками. В результате взаимо-

Биология – система наук о жизни на разных уровнях ее организации; обобщает закономерности, присущие всем организмам; ее задание – познание сути жизни

Биохимия – наука о химическом составе живых организмов и происходящих в них химических процессах

Цитология – наука о строении и процессах жизнедеятельности клеток

Биотехнология – прикладная наука, которая разрабатывает и внедряет в производство промышленные методы по использованию живых организмов и биологических процессов

Биология индивидуального развития – наука о закономерностях индивидуального развития организмов от зарождения до смерти

Экология – наука о взаимосвязях организмов между собой и условиями среды обитания, структуре и функционировании многовидовых систем (экосистем, биосферы). Экологические принципы служат теоретической основой **охраны природы**

Ботаника – наука о растениях

Систематика – наука о видовом разнообразии современных и вымерших организмов. Систематики описывают новые для науки виды, относят их к высшим систематическим единицам – родам, семействам и т. д. и на основе обобщения достижений других областей биологии упорядочивают (классифицируют) знания о живой материи, создавая систему организмов. Ее задача: описание новых для науки видов, распределение их по систематическим единицам – родам, семействам и т. д.

Зоология – наука о животных

Физиология – наука о процессах жизнедеятельности организмов. Подразделы физиологии: *физиология растений*, *животных*, *человека*

Молекулярная биология изучает процессы, происходящие в живых системах на молекулярном уровне

Гистология – наука о строении и функциях тканей животных (ткани растений изучает анатомия растений)

Эмбриология – наука о зародышевом этапе развития организмов

Вирусология – наука о неклеточной форме жизни – вирусах

Генетика – наука о закономерностях наследственности и изменчивости, механизмах передачи наследственной информации от родителей потомству

Селекция – прикладная наука о создании новых штаммов микроорганизмов, сортов растений и пород животных

Эволюционное учение – наука, устанавливающая закономерности исторического развития живой материи на нашей планете

Филогения – наука о конкретных путях и этапах исторического развития живой материи на нашей планете

Палеонтология – наука, которая исследует вымершие организмы

Микология – наука о грибах

Бактериология – наука о прокариотических организмах – архебактериях и эубактериях

Анатомия – наука, которая исследует форму, строение отдельных органов, систем органов и организма в целом. Подразделы анатомии: *анатомия животных*, *человека*; *морфология* и *анатомия растений*

Рис. 1.1. Краткая характеристика основных биологических наук

действия с химией возникла *биохимия*, а с физикой – *биофизика*. *Биогеография* – комплексная наука о распространении живых организмов на Земле – разработана усилиями нескольких поколений ученых, которые изучали флору, фауну, надвидовые сообщества в различных географических областях нашей планеты. Во всех отраслях биологии применяют математические методы обработки собранного материала.

В результате взаимодействия экологии с гуманитарными науками возникла *социоэкология* (изучает закономерности взаимосвязей человеческого общества и окружающей среды), а биологии человека с гуманитарными науками – *антропология*, которая исследует появление и эволюцию человека как особенного биосоциального вида, человеческие расы и др.

Философия биологии – наука, которая возникла в результате взаимодействия классической философии с биологией. Она изучает проблемы мировоззрения в свете достижений биологии.

Данные биологических наук о человеке (анатомии, физиологии, генетики человека и т. п.) служат теоретической базой *медицины* (науки о здоровье человека и его сохранении, заболеваниях, методах их диагностики и лечения).

Во второй половине XX ст. благодаря успехам разных естественных наук (физики, математики, кибернетики, химии и проч.) сформировались новые направления биологических исследований:

- ***космическая биология*** – изучает особенности функционирования живых систем в условиях космических аппаратов и Вселенной;
- ***бионика*** – исследует особенности строения и жизнедеятельности организмов с целью создания разнообразных технических систем и приборов;
- ***радиобиология*** – наука о влиянии разных видов ионизирующего излучения на живые системы;
- ***криобиология*** – наука о влиянии на живую материю низких температур.

Современное общество часто сталкивается с проблемами, находящимися на стыке с другими науками. Например, для оценки последствий антропогенных влияний на живые системы (радиационных, химических и т. п.) необходимы совместные усилия биологов, медиков, физиков, химиков и др. Создание биоинформационных технологий (например, для изучения структуры и функций наборов наследственной информации организмов) невозможно без специальных компьютерных программ. Изучение наследственных болезней человека – также задание для многих наук (генетики, биохимии, медицины и др.).

Ключевые термины и понятия. ***Биология, система биологических наук.***

Кратко о главном

- Биология – комплекс наук, которые исследуют разные проявления жизни. Название «биология» предложили в 1802 г. французский ученый Ж.-Б. Ламарк и немецкий – Г.Р. Тревиранус.
- Биология тесно связана с другими естественными и гуманитарными науками.

Вопросы для самоконтроля

1. *Кто и когда предложил термин «биология»?* **2.** *Какие основные биологические науки вы знаете?* **3.** *Наведите примеры взаимодействия биологии с другими науками.*

Подумайте. *Прочтите очерк об истории развития биологической науки. Какие изобретения человечества способствовали развитию биологии?*



Задание для занятия в группах

Проведите семинарское занятие, на котором, используя разнообразные источники информации, подготовьте краткие сообщения о жизни и деятельности всемирно известных ученых, сделавших весомый вклад в развитие украинской биологической науки: А.О. Ковалевского, И.И. Мечникова, С.Г. Навашина, В.И. Вернадского, И.И. Шмальгаузена, А.В. Фомина, Н.Г. Холодного, Н.Н. Гришко, К.Ф. Кесслера, В.А. Караваева, В.А. Топачевского, А.В. Палладина, С.М. Гершензона, Д.К. Заболотного, А.А. Богомольца, В.Ю. Чаговца, П.Г. Костюка, А.П. Маркевича.

ОЧЕРК ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ

Человек как составная часть природы издавна стремился изучать окружавших его животных и растения, ведь от этого зависело его выживание. Первые попытки упорядочить накопленные данные о строении животных и растений, процессах их жизнедеятельности и разнообразии принадлежат ученым Древней Греции – **Аристотелю** (рис. 1.2) и **Теофрасту**. Аристотель создал первую научную систему для приблизительно 500 видов известных на то время животных и заложил фундамент сравнительной анатомии (*попробуйте определить задание этой науки*). Он считал, что живая материя возникла из неживой. Теофраст (372–287 гг. до н. э.) описал разные органы растений и заложил основы ботанической классификации. Системы живой природы этих двух ученых стали основой для европейской биологической науки и существенно не изменялись вплоть до VIII ст. н. э.

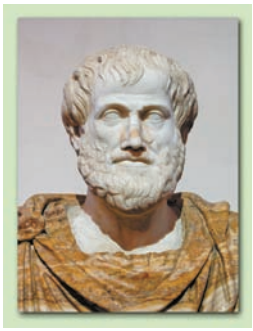


Рис. 1.2. Аристотель (384–322 гг. до н. э.)

В период средневековья (V–XV ст. н. э.) биология развивалась в основном как описательная наука. Накопленные факты в те времена часто были искажены. Так, описывали разных мифических существ, например «морского монаха», который будто являлся морякам перед штормом, или морских звезд с лицом человека и т. п.



Рис. 1.3. Роберт Гук (1635–1703)

В эпоху Возрождения стремительное развитие промышленности, сельского хозяйства, выдающиеся географические открытия поставили перед наукой новые задачи, чем стимулировали ее развитие. Так, становление цитологии связано с изобретением светового микроскопа. Световой микроскоп с окуляром и объективом появился в начале XVII ст., однако его изобретатель точно неизвестен; в частности, великий итальянский ученый Г. Галилей демонстрировал изобретенный им двухлинзовый увеличительный прибор еще в 1609 г. А в 1665 году, изучая с помощью собственноручно усовершенствованного микроскопа тонкие срезы пробки бузины, моркови и др., **Роберт Гук** (рис. 1.3) открыл клеточное строение растительных тканей и предложил сам термин «клетка». Приблизительно в это же время голландский натуралист **Антони ван Левенгук** (рис. 1.4) изготовил уникальные линзы с 150–300-кратным увеличением, через которые впервые наблюдал микроскопические организмы (одноклеточных животных и бактерий), сперматозоиды, эритроциты и их движение в капиллярах.



Рис. 1.4. Антони ван Левенгук (1632–1723)



Рис. 1.5. Карл Линней (1707–1778)

Все накопленные научные факты о многообразии живого обобщил выдающийся шведский ученый XVIII ст. **Карл Линней** (рис. 1.5). Он акцентировал внимание на том, что в природе существуют группы особей, которые напоминают друг друга по особенностям строения, требованиями к окружающей среде, населяют определенную часть поверхности Земли, способны скрещиваться между собой и давать плодовитых потомков. Такие группы, каждая из которых имеет определенные отличия от других, он считал видами. Линней положил начало современной систематике, а также создал собственную классификацию растений и животных. Он ввел латинские научные названия видов, родов и других систематических категорий, описал свыше 7500 видов растений и около 4000 видов животных.



Рис. 1.6. Теодор Шванн (1810–1882)

Важный этап в развитии биологии связан с созданием клеточной теории и развитием эволюционных идей. В частности, было обнаружено клеточное ядро: впервые его в 1828 году наблюдал в растительной клетке английский ботаник **Роберт Броун** (1773–1858), который впоследствии (1833) предложил сам термин «ядро». В 1830 году ядро яйцеклетки курицы описал чешский исследователь **Ян Пуркине** (1787–1869). Опираясь на труды этих ученых и немецкого ботаника **Маттиаса Шлейдена** (1804–1881), немецкий зоолог **Теодор Шванн** (рис. 1.6) в 1838 году сформулировал основные положения клеточной теории, впоследствии дополненные немецким цитологом **Рудольфом Вирховым** (1821–1902).



Рис. 1.7. Жан-Батист Ламарк (1744–1829)

В начале XIX ст. **Жан-Батист Ламарк** (рис. 1.7) предложил первую целостную эволюционную гипотезу (1809), обратил внимание на роль факторов окружающей среды в эволюции живых существ. Наиболее весомый вклад в последующее развитие эволюционных взглядов внес один из самых выдающихся биологов мира – английский ученый **Чарльз Дарвин** (рис. 1.8). Его эволюционная гипотеза (1859) положила начало теоретической биологии и значительно повлияла на развитие других естественных наук. Учение Ч. Дарвина впоследствии было дополнено и расширено трудами его последователей и в качестве завершенной системы взглядов под названием «дарвинизм» окончательно сформировалось в начале XX ст. Наибольшую роль в развитии дарвинизма того времени сыграл знаменитый немецкий ученый **Эрнст Геккель** (рис. 1.9), который, в частности, предложил в 1866 году название науки о взаимосвязях организмов и их сообществ между собой и с условиями окружающей среды – ***экология***. Он пытался выяснить и схематически отобразить пути исторического развития разных систематических групп животных и растений, заложив основы ***филогении***.

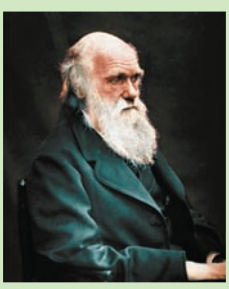


Рис. 1.8. Чарльз Дарвин (1809–1882)

Важный вклад в развитие учения о высшей нервной деятельности и физиологии пищеварения позвоночных животных и человека внесли русские ученые – **Иван Михайлович Сеченов** и **Иван Петрович Павлов** (рис. 1.10, 1.11), о чем вам уже известно из курса биологии 9-го класса.

В середине XIX ст. был заложен фундамент науки о закономерностях наследственности и изменчивости организмов – ***генетики***. Датой ее рождения считают 1900 год, когда трое ученых, которые проводили опыты по гибридизации растений, – голландец **Гуго де Фриз** (1848–1935) (ему принадлежит термин *мутация*), немец **Карл Эрих Корренс** (1864–1933) и австриец **Эрих Чермак** (1871–1962) – независимо друг от друга наткнулись на забытую работу чешского исследователя **Грегора Менделя** (рис. 1.12) «Опыты над растительными гибридами», опубликованную еще в 1865 году. Эти ученые были поражены тем, насколько результаты их опытов совпадали с полученными Г. Менделем. Впоследствии законы наследственности, установленные Г. Менделем, признали ученые разных стран, а тщательные исследования доказали их универсальный характер. Название «генетика» предложил в 1906 г. английский ученый **Уильям Бетсон** (1861–1926). Огромный вклад в развитие генетики внес американский ученый **Томас Хант Морган** (рис. 1.13) со своими сотрудниками. Итогом их исследований стало создание хромосомной теории наследственности, которая повлияла на последующее развитие не только генетики, но и биологии в целом. В настоящее время генетика стремительно развивается и занимает одно из центральных мест в биологии.

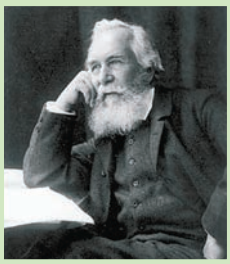


Рис. 1.9. Эрнст Геккель (1834–1919)



Рис. 1.10. И.М. Сеченов (1829–1905)

В конце XIX ст. (1892) русский ученый **Дмитрий Иосифович Ивановский** (1864–1920) открыл неклеточные формы жизни – вирусы. Это название вскоре предложил голландский исследователь Мартин Виллем Бейеринк (1851–1931). Однако развитие современной вирусологии стало возможно лишь с изобретением электронного микроскопа (30-е годы XX ст.), способного увеличивать объекты в десятки и сотни тысяч раз. Благодаря электронному микроскопу человек смог детально изучить клеточные мембраны, мельчайшие органеллы и включения.

В XX ст. бурно развивались *молекулярная биология*, *генетическая инженерия*, *биотехнология* и т. п. Американский ученый-биохимик **Джеймс Уотсон**, английские – биолог **Френсис Крик** (рис. 1.14) и биофизик **Моррис Уилкинс** (1916–2004) в 1953 году открыли структуру ДНК (за

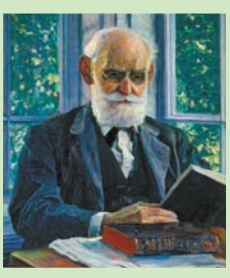


Рис. 1.11. И.П. Павлов (1849–1936)



Рис. 1.12. Грегор Мендель (1822–1884)

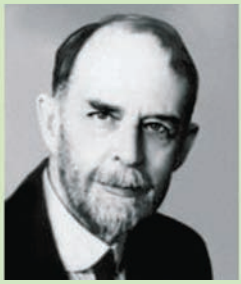


Рис. 1.13. Томас Хант Морган (1866–1945)



Рис. 1.14. Джеймс Уотсон (1928 г. р.) (1) и Френсис Крик (1916–2004) (2)



Рис. 1.15. А.О. Ковалевский (1840–1901)



Рис. 1.16. И.И. Шмальгаузен (1884–1963)



Рис. 1.17. И.И. Мечников (1845–1916)



Рис. 1.18. С.Г. Навашин (1857–1930)

это всем троим в 1962 году присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине), а впоследствии выяснили роль нуклеиновых кислот в сохранении и передаче наследственной информации.

Два биохимика – испанец **Северо Очеа** (1905–1993) и американец **Артур Корнберг** (1918–2001) стали лауреатами Нобелевской премии по физиологии и медицине в 1959 г. за открытие механизмов биосинтеза РНК и ДНК. А в течение 1961–1965 годов благодаря работам лауреатов Нобелевской премии по физиологии и медицине 1968 года американских биохимиков **Маршалла Ниренберга** (1927–2010), **Роберта Холли** (1922–1993) и индийского биохимика **Хара Гобинда Хораны** (1922–2010) был расшифрован генетический код и выяснена его роль в синтезе белков.

При разработке биотехнологических процессов часто применяют методы генетической и клеточной инженерии. ***Генетическая инженерия*** – это прикладная отрасль молекулярной генетики и биохимии, которая разрабатывает методы перестройки наследственного материала организмов исключением или введением отдельных генов или их групп. Вне организма гены впервые синтезировал в 1969 году Х.Г. Хорана. В том же году впервые удалось выделить в чистом виде гены бактерии – кишечной палочки. За последние десятилетия ученые расшифровали структуру наследственного материала разных организмов (мух-дрозофил, кукурузы и др.) и человека в частности. Это позволяет решить много проблем, например лечение разнообразных заболеваний, увеличение срока жизни человека, обеспечение человечества продуктами питания и др.

За свои исследования в отрасли биохимии в 1953 г. получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине два биохимика немецкого происхождения – английский **Ханс Адольф Кребс** (1900–1981) и американский **Фриц Альберт Липман** (1899–1986) за открытие цикла биохимических реакций во время кислородного этапа энергетического обмена (назван циклом Кребса). Американский химик **Мелвин Калвин** (1911–1997) изучил этапы превращения оксида углерода в углеводы во время темновой фазы фотосинтеза (цикл Кельвина), за что получил Нобелевскую премию по химии в 1961 году. В 1997 г. американскому врачу-биохимику **Стенли Прузинеру** (1942 г. р.) была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине за исследование прионов – белковых инфекционных частиц, способных вызывать смертельно опасные заболевания головного мозга человека и сельскохозяйственных животных («коровье бешенство» и др.).

Значительный вклад в развитие биологии сделали украинские ученые. В частности, исследования **Александра Онуфриевича Ковалевского** (рис. 1.15) и **Ивана Ивановича Шмальгаузена** (рис. 1.16) сыграли важную роль в развитии сравнительной анатомии и филогении животных, а также эволюционных взглядов. **Илья Ильич Мечников** (рис. 1.17) открыл явление фагоцитоза и развил теорию клеточного им-

мунитета, за что ему в 1908 году была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине. Он также предложил гипотезу происхождения многоклеточных животных. А.О. Ковалевского и И.И. Мечникова справедливо считают основателями эволюционной эмбриологии. Всемирную славу украинской ботанической школе принес **Сергей Гаврилович Навашин** (рис. 1.18), который в 1898 году открыл процесс двойного оплодотворения у цветковых растений.

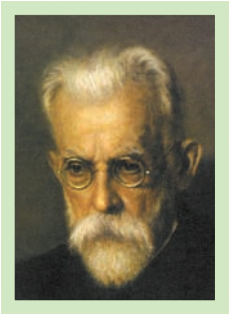


Рис. 1.19. В.И. Вернадский (1863–1945)

Трудно представить современное развитие экологии без трудов нашего выдающегося соотечественника – **Владимира Ивановича Вернадского** (рис. 1.19). Он создал учение о *биосфере* – единой глобальной экосистеме планеты Земля, а также *ноосфере* – новом состоянии биосферы, вызванном умственной деятельностью человека. Как это часто бывает, идеи В.И. Вернадского опередили свое время. Лишь теперь его прогнозы о ноосфере рассматривают как своеобразную программу, призванную обеспечить гармоничное сосуществование человека и окружающей естественной среды, которое опирается на экологизацию всех сфер деятельности человека: промышленности, транспорта, животноводства и полеводства. В.И. Вернадский основал новую науку – *биогеохимию*, которая изучает биохимическую деятельность живых организмов по преобразованию геологических оболочек нашей планеты.

Большие достижения в украинской ботанической науке принадлежат **Александру Васильевичу Фомину**, **Николаю Григорьевичу Холодному**, **Николаю Николаевичу Гришко** (1901–1964), зоологической – **Карлу Федоровичу Кесслеру** (1815–1881), **Владимиру Афанасьевичу Караваеву** (1864–1939), **Вадиму Александровичу Топачевскому** (1930–2004), биохимии – **Александру Владимировичу Палладину**, **Николаю Евдокимовичу Кучеренко** (1938–2008), гидробиологии – **Александру**



Рис. 1.20. Отечественные ученые-биологи: 1 – А.В. Фомин (1869–1935); 2 – Н.Г. Холодный (1882–1953); 3 – А.В. Палладин (1885–1972); 4 – С.М. Гершензон (1906–1998); 5 – А.А. Богомолец (1881–1946); 6 –Д.К. Заболотный (1866–1929); 7 – П.Г. Костюк (1924–2010)

Викторовичу Топачевскому (1897–1975), радиобиологии – **Дмитрию Михайловичу Гродзинскому** (в 1929 г. р.), генетике – **Сергею Михайловичу Гершензону**, микробиологии – **Даниилу Кирилловичу Заболотному**, физиологии человека и животных – **Александру Александровичу Богомольцу**, **Василию Юриевичу Чаговцу** (1873–1941), **Платону Григорьевичу Костюку**, паразитологии – **Александру Прокофьевичу Маркевичу** (1905–1999) и многим другим (рис. 1.20).

§2. УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ

Вспомните: *какие признаки присущи растениям, грибам, бактериям и животным? Что такое раздражимость? Какие организмы называют эукариотами и прокариотами? Что такое регенерация, рефлексы, размножение? Что такое популяция, экосистема, биосфера, круговорот веществ?*

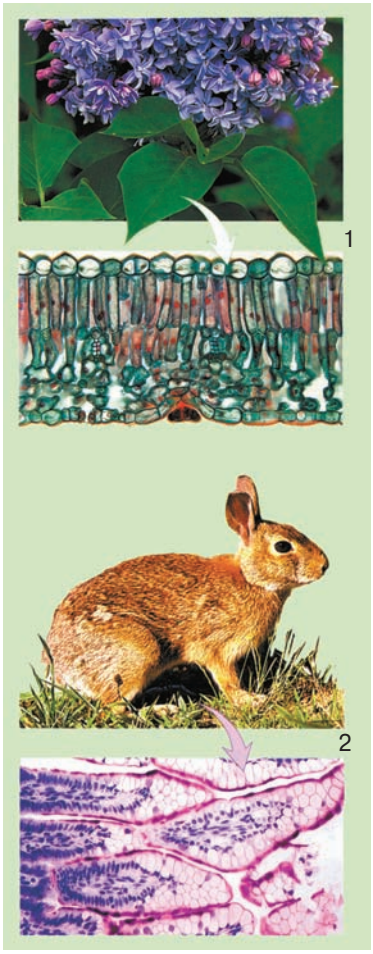


Рис. 2.1. Растение и клеточное строение листа (1); животное и клеточное строение его ткани (2)

• **Свойства живой материи.** Хотя биология исследует разные проявления жизни в течение многих столетий, даже на современном этапе ее развития трудно дать четкое и локаничное определение понятия «жизнь». Поэтому перечислим основные свойства, присущие живой материи. Большинство из них вам известны из предыдущих разделов курса биологии.

Каждое живое существо, или организм, состоит из отдельных частей – клеток (рис. 2.1). Неживые предметы (за исключением остатков организмов) клеточного строения не имеют. Таким образом, *клетка – это структурно-функциональная единица организации живых организмов*. Неклеточные формы жизни – вирусы – способны проявлять жизнедеятельность лишь внутри клеток организмов, в которых они паразитируют.

Организмы и неживые объекты отличаются соотношением химических элементов, входящих в их состав. В состав живых существ входят те же химические элементы, из которых состоят и неживые объекты. Однако химический состав всех организмов более-менее подобен, тогда как у разных компонентов неживой природы он отличается. Например, в водной оболочке Земли (гидросфере) преобладают водород и кислород, в газообразной (атмосфере) – кислород и азот, в твердой (литосфере) – кремний, кислород и т. п. В составе всех живых существ преобладают четыре химических элемента: водород, углерод, азот и кислород.

Живой материи присущ обмен веществами и энергией с окружающей средой. Организмы способны создавать органические соединения, причем многие из них синтезируют эти вещества из неорганических (растения, цианобактерии, некоторые бактерии и одноклеточные животные). Питательные вещества (а также H_2O, CO_2, O_2) живые существа получают из окружающей среды, то есть питаются и дышат. Соединения, которые поступили в живые организмы, изменяются. Часть из них используется для обеспечения собственных потребностей организма в энергии, а другая часть – в качестве строительного материала, необходимого для роста и обновления отдельных клеток и организма в целом. Напомним, что энергия освобождается в результате расщепления органических соединений.

Обмен веществ *(метаболизм)* – это совокупность физических и химических процессов, которые происходят как в отдельных клетках, так и в целостном многоклеточном организме. Конечные продукты обмена веществ организмы выводят в окружающую среду. Туда же выделяется и часть энергии. Следовательно, любой организм является ***открытой системой***. Это значит, что он может длительное время функционировать лишь при условиях поступления извне энергии, питательных и других веществ.

Каждая биологическая система способна к саморегуляции. Обмен веществ обеспечивает одно из самых главных условий существования живых существ – поддержание гомеостаза – способности биологических систем сохранять относительное постоянство своего состава и свойств при изменениях условий окружающей среды. Поддержание гомеостаза обеспечивают системы, регулирующие жизненные функции. У многих животных к регуляторным системам относятся нервная, иммунная и эндокринная, у растений – отдельные клетки, которые выделяют биологически активные вещества (фитогормоны, фитонциды и др.). Все процессы жизнедеятельности клетки или организма согласованы между собой.

Биологическим системам присуща способность к поддержанию своей специфической структуры. Например, многие многоклеточные организмы способны к ***регенерации*** – восстановлению потерянных или поврежденных частей. Иногда способность к регенерации может быть очень ярко выражена: некоторых губок можно растереть в ступке до кашицеобразного состояния; при помещении такой «кашки» в водную среду отдельные клетки опять объединяются, формируя целостный организм. Из прикопанного небольшого побега ивы со временем вырастает новое дерево.

Характерная черта организмов – способность к движениям. Движения свойственны не только животным, но и растениям (рис. 2.2). Различные микроскопические одноклеточные водоросли, животные или бактерии двигаются в воде с помощью органелл движения – жгутиков.

Живой материи присуща раздражимость – способность воспринимать раздражители внешней и внутренней (то есть те, которые возникают внутри живой системы) **среды и определенным образом на них реагировать.** Например, прикосновение к ли-



Рис. 2.2. Круговые движения лиан вокруг ствола дерева

сту мимозы стыдливой (произрастает в Крыму) вызывает его провисание. У животных реакции на раздражители, осуществляемые при участии нервной системы, называют ***рефлексами***.

Все биологические системы способны к самовоспроизведению (производить себе подобных). Организмы могут воспроизводить себе подобных, то есть размножаться. Благодаря способности к размножению существуют не только отдельные виды, но и жизнь в целом.

Живые организмы способны к росту и развитию. Благодаря росту они увеличивают свои размеры и массу. При этом одни организмы (например, растения, рыбы) растут в течение всей жизни, другие (например, птицы, млекопитающие, человек) – на протяжении лишь определенного времени. Рост обычно сопровождается развитием – качественными изменениями, связанными с приобретением новых черт строения и особенностей функционирования.

Существование организмов тесно связано с сохранением наследственной информации и ее передачей потомству при размножении. Это обеспечивает стабильность существования видов, ведь потомки обычно похожи на своих родителей. В то же время живым существам присуща также ***изменчивость*** – способность приобретать новые признаки во время индивидуального развития. Благодаря изменчивости организмы способны приспосабливаться к изменениям окружающей среды. Изменчивость – необходимая предпосылка как для возникновения новых видов, так и для исторического развития жизни на нашей планете, то есть эволюции.

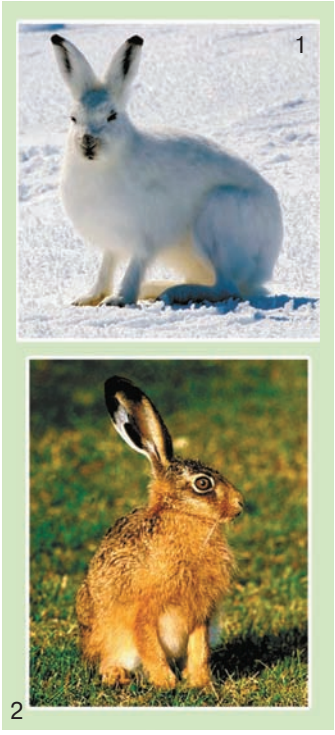


Рис. 2.3. Зимний (1) и летний (2) «наряд» зайца-беляка

Биологические системы способны к адаптациям. Напомним, что ***адаптациями*** называют появление приспособлений у живых систем в ответ на изменения, происходящие в их внешней или внутренней среде. На рисунке 2.3 показаны две формы зайца-беляка – летняя и зимняя. Смена темной летней расцветки на белую зимнюю – приспособление к обитанию на фоне снежного покрова, которое делает животное менее заметным для врагов. Адаптации могут быть связаны с изменениями особенностей строения (вспомните плавательные перепонки у водоплавающих птиц или крокодилов), процессов жизнедеятельности (зимняя спячка бурых медведей), поведения (перелеты птиц) и т. д. Адаптации определяют возможность обитания живых существ в разнообразных условиях окружающей среды.

Таким образом, ***организмы и надорганизменные формы организации живой материи – это целостные биологические системы, способные к самообновлению, саморегуляции и самовоспроизведению.***

Живая материя может находиться на разных уровнях организации, которые сформировались в процессе ее исторического развития.

• **Уровни организации живой материи.** Различают такие уровни организации живой материи: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный, или биогеоценотический, и биосферный (рис. 2.4).

На молекулярном уровне (рис. 2.4, 1) происходят химические процессы и превращение энергии, а также сохраняется, изменяется и реализуется наследственная информация. Взаимодействия молекул неорганических (вода, соли, неорганические кислоты) и органических (белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и т. п.) соединений лежат в основе процессов жизнедеятельности организмов, в частности обмена веществ. На молекулярном уровне существуют элементарные биологические системы, например вирусы. Этот уровень организации живой материи исследуют *молекулярная биология, биохимия, генетика, вирусология*.

Клеточный уровень организации живой материи (рис. 2.4, 2) характеризуется тем, что в каждой клетке как одноклеточных, так и многоклеточных организмов происходят обмен веществ и превращение энергии, сохраняется и реализуется наследственная информация. Клетки способны к размножению и передаче наследственной информации дочерним клеткам. Следовательно, клетка является элементарной единицей строения, жизнедеятельности и развития живой материи. Клеточный уровень организации живой материи изучают *цитология, гистология, анатомия растений*.

Организменный уровень (рис. 2.4, 3). У многоклеточных организмов во время индивидуального развития клетки специализируются по строению и выполняемым функциям, часто формируя ткани. Из тканей формируются органы. Разные органы взаимодействуют между собой в составе определенной системы органов (например, пищеварительной, кровеносной). Этим обеспечивается функционирование целостного организма как интегрированной биологической системы (у одноклеточных организмов организменный уровень совпадает с клеточным).

Организменный уровень организации живой материи изучают много наук. Отдельные группы организмов исследуют *ботаника* (объект исследования – растения), *зоология* (объект исследования – животные), *микология* (объект исследования – грибы), *бактериология* (объект исследования – бактерии). Строение организмов изучает *анатомия*, а процессы жизнедеятельности – *физиология*.

Популяционно-видовой уровень. Все живые организмы относятся к определенным биологическим видам. Организмы одного вида имеют общие особенности строения и процессов жизнедеятельности, экологические требования к среде обитания. Они способны оставлять плодовитых потомков. Особи одного вида объединяются в группы – популяции, которые обитают на определенных частях территории распространения данного вида (рис. 2.4, 4). Популяции одного вида более или менее отграничены от других. Популяции являются не только элементарными единицами вида, но и эволюции, поскольку в них происходят все самые элементарные эволюционные процессы, способные обеспечить формирование новых видов. Это поддерживает биологическое многообразие нашей планеты. На нашей планете обитает почти 2,5 млн видов бактерий, цианобактерий, растений, грибов, животных.

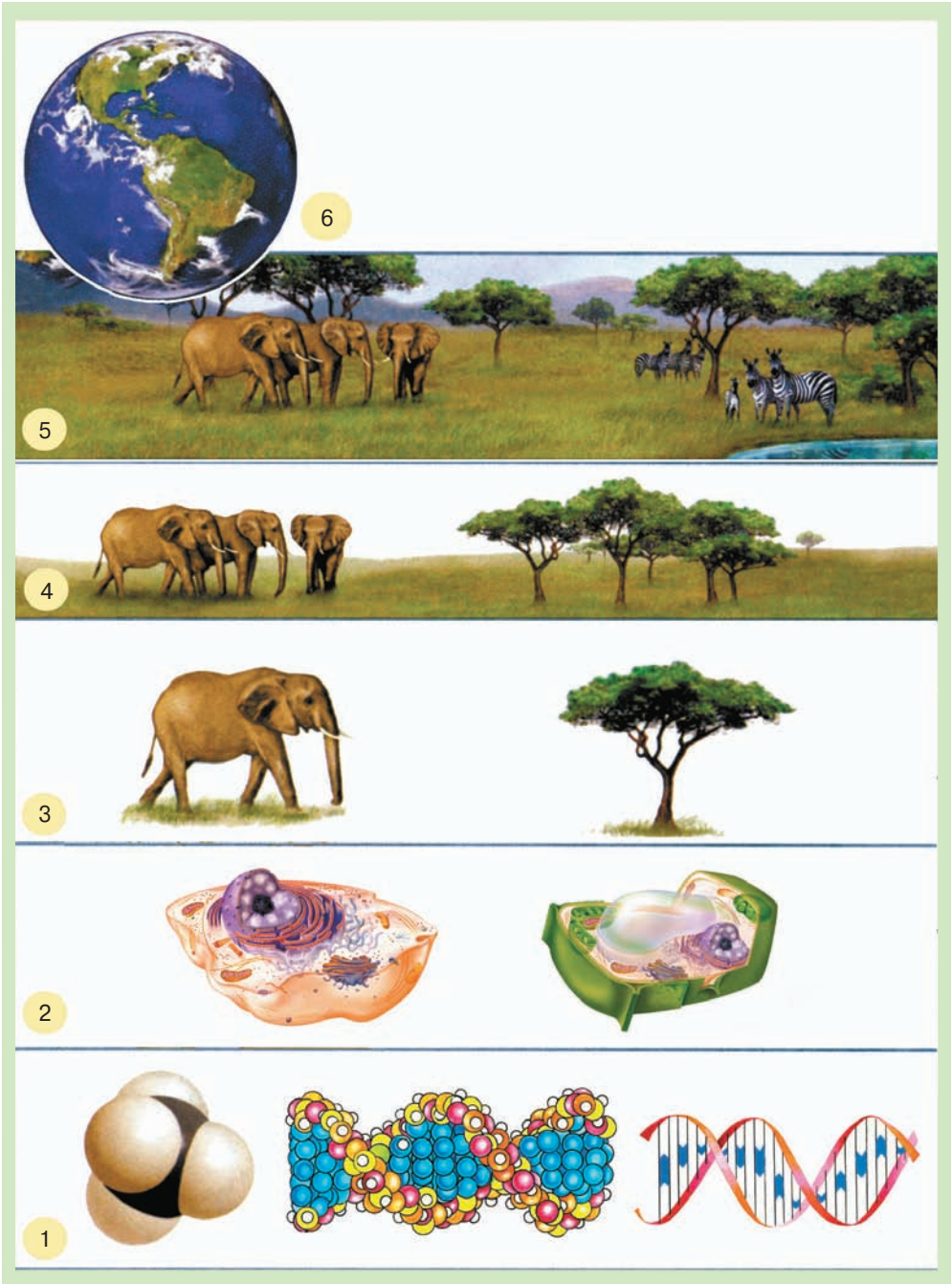


Рис. 2.4. Уровни организации живой материи: 1 – молекулярный (происходят биохимические реакции, кодируется наследственная информация); 2 – клеточный (клетки состоят из молекул); 3 – организменный (многоклеточные организмы состоят из клеток); 4 – популяционно-видовой (виды состоят из популяций, а популяции – из отдельных особей); 5 – экосистемный, или биогеоценотический (состоит из разных видов); 6 – биосферный (биосфера – совокупность всех экосистем планеты)

Экосистемный, или биогеоценотический, уровень. Популяции разных видов, которые населяют общую территорию, взаимодействуют между собой и с факторами неживой природы, входят в состав надвидовых биологических систем – ***экосистем*** (рис. 2.4, 5). Напомним, что экосистемы, которые занимают территорию с подобными физико-климатическими условиями, называют также биогеоценозами. Биогеоценозы способны к самовоспроизведению. Для них характерны постоянные потоки энергии между популяциями разных видов, а также постоянный обмен веществом между живой и неживой частями биогеоценоза, то есть круговорот веществ.

Биосферный уровень. Отдельные экосистемы нашей планеты в совокупности образуют ***биосферу*** – часть оболочек Земли, населенную живыми организмами (рис. 2.4, 6). Биосфера – это целостная экосистема нашей планеты. Биосферный уровень организации живой материи характеризуется глобальным круговоротом веществ и потоками энергии, которые обеспечивают функционирование биосферы. Надорганизменные уровни организации живой материи – популяции, экосистемы и биосферу в целом – изучает *экология*.

Запомните: *все уровни организации живой материи взаимосвязаны между собой: низшие уровни входят в состав более высоких.*

Ключевые термины и понятия. ***Гомеостаз, открытая система, адаптация, биологическая система, популяция, круговорот веществ.***

Кратко о главном

Основные свойства живой материи:

- Каждое живое существо, или организм, состоит из отдельных структурно-функциональных единиц – клеток. Неклеточные формы жизни – вирусы – паразитируют внутри клеток других организмов.
- Живые организмы и неживые объекты отличаются соотношением химических элементов, входящих в их состав. В живых организмах преобладают четыре химических элемента: водород, углерод, азот и кислород.
- Живые системы открыты, то есть способны к обмену веществ и энергией с окружающей средой.
- Каждая биологическая система способна к саморегуляции путем поддержания гомеостаза.
- Характерная черта большинства живых организмов – способность к движениям.
- Живой материи присуща раздражимость, то есть способность воспринимать раздражители внешней и внутренней среды и определенным образом на них реагировать. Для всех биологических систем характерна способность к самовоспроизведению.
- Организмам свойственны рост и развитие.
- Существование организмов тесно связано с сохранением наследственной информации и ее передачей потомкам во время размножения.

- Биологические системы способны к адаптациям – приспособлениям к изменениям, которые происходят во внешней или во внутренней средах.
- Различают такие уровни организации живой материи: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный, или биогеоценотический, и биосферный.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие химические элементы наиболее распространены в живых организмах? 2. Почему биологические системы относятся к открытым? 3. Что такое гомеостаз? 4. Какие вы знаете уровни организации живой материи? 5. Как соотносятся разные уровни организации живой материи между собой? 6. Чем обеспечивается функционирование биосферы?

Подумайте. *1. Чем можно объяснить наличие разных уровней организации живой материи? 2. Пользуясь материалом параграфа, попробуйте сформулировать понятие «жизнь». Можно ли считать его полным?*

§ 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В БИОЛОГИИ. ЗНАЧЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Вспомните: *с помощью каких методов исследуют одноклеточные организмы?*

• Основные методы биологических исследований. Живую материю на разных уровнях организации изучают с помощью различных методов, основные из которых – сравнительно-описательный, экспериментальный, мониторинг и моделирование. Полученные результаты обрабатывают математически с помощью методов статистического анализа.

Сравнительно-описательный метод служит для описания организмов, процессов или явлений. Его основал древнегреческий ученый Аристотель. Однако часто недостаточно просто описать новый вид организмов, процесс, ранее неизвестное явление и т. п. Чтобы установить своеобразие объекта исследований, его необходимо сравнить с другими подобными объектами, процессами или явлениями. Например, открытие новых для науки видов невозможно без анализа их сходства и отличия относительно близких форм. То же касается органических соединений, биохимических процессов, строения и функций клеток, тканей, организмов, экосистем и т. п.

Для научного исследования любой биологический объект нужно ***классифицировать***, то есть определить его принадлежность к той или иной группе (например, органических веществ – к белкам, липидам, углеводам или нуклеиновым кислотам и т. п., живых существ – к соответствующему виду, роду, семейству и т. д.). Сравнение объектов исследования возможно лишь в пределах определенного уровня организации (например, сравнение определенной молекулы с другими молекулами, клетки – с другими клетками, вида – с другими видами и т. п.).

Экспериментальный метод заключается в том, что исследователи активно вмешиваются в строение объектов исследований, ход естественных






Рис. 3.1. Современные биологические лаборатории

процессов или явлений и наблюдают результаты такого вмешательства. Эксперименты бывают полевые и лабораторные. ***Полевые эксперименты*** проводят в естественных условиях: на экспериментальных участках изучают действие определенных веществ на рост растений, испытывают методы борьбы с вредителями, исследуют влияние хозяйственной деятельности человека на естественные экосистемы и т. п. ***Лабораторные эксперименты*** проводят в специально оборудованных помещениях (лабораториях) (рис. 3.1). В таких исследованиях часто используют подопытные организмы, которых ученые размножают и содержат также в искусственных условиях (лабораторные культуры). Некоторые лабораторные культуры дали начало промышленным культурам, которые используют для получения необходимых человеку продуктов. Это одно из направлений исследований в биотехнологии (например, использование дрожжей в хлебопекарском деле; бактерий и грибов – для получения антибиотиков и т. п.).

Мониторинг – постоянное наблюдение за ходом определенных процессов в отдельных популяциях, экосистемах, биосфере в целом или за состоянием определенных биологических объектов. Его осуществляют в основном на популяционно-видовом, биогеоценотическом или биосферном уровнях. Мониторинг позволяет не только определять состояние определенных объектов, но и прогнозировать возможные изменения, анализировать их последствия. Например, изменения в климате нашей планеты возможны в связи с накоплением в атмосфере углекислого газа. Осуществляя мониторинг этого явления, можно предположить, как оно будет влиять на изменения климата отдельных частей нашей планеты. Таким образом, мониторинг помогает своевременно обнаруживать и спрогнозировать негативные изменения в структуре и функционировании отдельных популяций, экосистем или биосфере и вовремя разработать мероприятия по устранению таких изменений.

Моделирование – метод исследования и демонстрации структур, функций, процессов с помощью их упрощенной имитации. Моделирование является обязательным этапом многих научных исследований, потому что позволяет изучать объекты и процессы, которые невозможно непосредственно наблюдать или воспроизводить экспериментально. Любая модель неминуемо упрощена. Она не может показать всю сложность объектов,



Рис. 3.2. Аквариум в качестве модели водной экосистемы

процессов или явлений, наблюдаемых в природе, а отображает лишь их общие черты или вероятный ход. С помощью моделирования ученые прогнозируют возможные последствия тех или иных процессов или явлений, создают определенные идеальные объекты или явления и сравнивают с ними реальные. Например, для исследования многих опасных болезней человека имитируют модели этих процессов у подопытных животных.

Модели могут быть статическими и динамическими. Примеры *статических моделей* вам не раз демонстрировали на уроках биологии, например модели строения цветка, головного мозга или других органов. Их можно рассматривать, не вмешиваясь в их структуру. А вот с помощью аквариума (рис. 3.2) можно создать *динамическую модель* водной экосистемы. Изменяя видовой состав организмов, химические показатели воды, концентрацию отдельных растворенных в ней веществ и т. п., можно наблюдать за результатами такого вмешательства.

Теоретические основы математических моделей биологических процессов и явлений разрабатывает *математическая биология*. ***Математическая модель*** – это численное выражение парных связей (в виде системы дифференциальных уравнений) в пределах определенного объекта, процесса или явления. Изменяя числовое значение одного из показателей, введенных в модель, можно наблюдать, как будут изменяться и другие, то есть, как поведет себя данная система при определенных условиях. Например, можно создать модель пищевых связей в экосистеме, описывая связи между отдельными видами: растение – травоядный вид, травоядный вид – хищник и т. д. (рис. 3.3).

Математическое моделирование в биологии – *совокупность математических методов анализа сложных количественных взаимосвязей и закономерностей в биологических системах*. Его осуществляют с помощью компьютерной техники, которая позволяет хранить огромные объемы данных и быстро их обрабатывать с помощью специальных программ. Математическое моделирование дает возможность наблюдать за возмож-

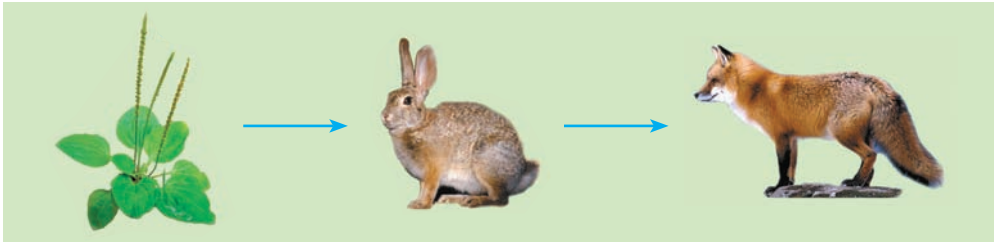


*Рис. 3.3. Пищевые связи между организмами можно описать с помощью математической модели. (**Решите задачу**. Зайцу, для того чтобы увеличить массу на 5 кг, надо съесть 50 кг растений. Лисица, если съест одного зайца массой 5 кг, увеличит свою массу только на 500 г. Определите, какая часть пищи усваивается в организме, а какая – теряется)*



ными вариантами хода событий, выделять отдельные связи, комбинировать их и т. д. Предпосылкой создания правильной математической модели служит накопление базы данных наблюдений или экспериментов об определенных явлениях или процессах.

Математическую модель создают в несколько этапов. Последовательно выдвигают рабочую гипотезу и формулируют вопросы, ответы на которые должна предоставить модель; разрабатывают соответствующий математический аппарат; на его основе высчитывают определенные данные; сравнивают их с результатами наблюдений и экспериментов, проверяя правильность модели. В случае существенных расхождений результатов моделирования с реальными данными модель основательно переделывают или отбрасывают, поскольку это свидетельствует об ошибочности рабочей гипотезы или неправильном применении математического аппарата.

Математические модели, например, позволяют определять оптимальное количество особей промысловых животных, которое можно изымать из естественных популяций, чтобы не подорвать их численность; прогнозировать массовые размножения вредителей; последствия антропогенного влияния на отдельные экосистемы и биосферу (например, как увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере влияет на отдельные группы организмов и климат планеты в целом) и т. п.

Статистический метод. Любой накопленный материал, полученный в результате наблюдений, экспериментов или моделирования, нуждается в статистической (математической) обработке. Масса собранных фактов, не проанализированных и не обработанных статистически, не позволяет обнаружить весь объем информации, установить определенные закономерности. Перед обработкой результатов исследователи определяют задания, которые нужно решить, и в зависимости от этого избирают метод математической статистики. Математическая обработка необходима для определения степени достоверности и правильного обобщения полученных результатов.

Статистически достоверную закономерность в биологии можно считать ***правилом*** либо ***научным законом***. **Биологические законы** – это статистически выверенные закономерности, которые обычно не имеют исключений и могут быть истолкованы лишь определенным образом (*вспомните законы, какие вы изучали по другим предметам*). Со временем вы ознакомитесь с основными биологическими законами, в частности эволюционными, наследственности и др.

• **Значение биологии в жизни человека.** Бурное развитие наук о жизни во второй половине XX ст. способствовало многим открытиям в различных направлениях биологии. Это, в частности, открытие и расшифровка генетического кода, главных звеньев синтеза белка, многих процессов обмена веществ в живой клетке; продолжается интенсивная работа по расшифровке наследственной информации человека, растений и животных.

С участием ученых-биологов достигнут значительный прогресс в своевременном установлении причин (диагностике) разнообразных заболеваний человека, домашних животных и культурных растений, их профилактике и лечении. На основе биологически активных веществ, которые вырабатывают различные организмы, исследователи создают эффективные лекарственные препараты. Современные ученые способны искус-

ственно изменять наследственный материал организмов. Например, в геном клетки бактерии кишечной палочки введены гены, которые отвечают за образование гормонов, необходимых для лечения ряда заболеваний человека (карликовость, сахарный диабет и др.) (*вспомните о причинах этих заболеваний*). Раньше эти вещества добывали из животных в небольших количествах, а теперь их можно получать в микробиологических лабораториях соответственно потребностям.

Организмы с измененным наследственным материалом (их называют *генетически модифицированными организмами*, или ГМО) отличаются устойчивостью к заболеваниям, высокой продуктивностью и т. п. Однако применение этих организмов для производства продуктов питания в настоящее время ограничено, поскольку еще недостаточно исследовано влияние их потребления на здоровье человека и домашних животных.

Современные исследования в областях молекулярной биологии и генетики позволяют обнаруживать дефектные гены, которые приводят к наследственным заболеваниям, и заменять их нормальными копиями.

Экология – наука, призванная своими исследованиями убедить людей в необходимости заботливого отношения к природе, жить по ее законам, а не пытаться их изменить любым способом. Поэтому она служит теоретической базой для планирования и осуществления охраны окружающей природной среды. На базе экологических исследований создаются новые направления охраны как отдельных видов организмов, так и их сообществ.

• **Задачи современной биологии** в первую очередь заключаются в решении важнейших проблем человечества: увеличение продовольственного потенциала планеты; улучшение экологического состояния среды обитания человека, сохранения его здоровья и долголетия; получение альтернативных источников энергии. Поэтому актуальными в ближайшем будущем будут такие направления исследований:

– установление контроля над самовоспроизведением биоресурсов;

– создание искусственных биологических систем с нужными человеку компонентами, без нарушения экологического равновесия;

– изучение сложных физиолого-генетических функций организма для лечения и предупреждения онкологических и других опасных заболеваний человека;

– использование генетически модифицированных организмов для получения от них белков, антител, ферментов, гормонов, вакцин для нужд пищевой промышленности, медицины и ветеринарии;

– изучение энергетических и синтетических процессов в клетке для внедрения их в промышленные биотехнологии.

Ключевые термины и понятия. ***Мониторинг, моделирование.***

Кратко о главном

Живую материю на разных уровнях организации исследуют различными методами, основные из которых – сравнительно-описательный, экспериментальный, мониторинг и моделирование. Полученные в результате исследований результаты обрабатывают с помощью математико-статистического анализа.



Вопросы для самоконтроля

1. *Какие вы знаете методы исследований в биологии?* **2.** *Для чего применяют сравнительно-описательный метод исследования?* **3.** *Чем характеризуется экспериментальный метод?* **4.** *Какое значение имеет мониторинг?* **5.** *Что собой представляет математическое моделирование?*

Подумайте. *1. Какие возможности открывает компьютерная графика в биологических исследованиях? 2. Ознакомьтесь с коротким очерком развития биологической науки (с. 7–12). Какие современные достижения биологической науки, по вашему мнению, помогут решить такие главные проблемы настоящего, как обеспечение человечества продовольствием и энергией?*

ТЕСТ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

I. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРАВИЛЬНЫЙ

1. **Укажите, как называют совокупность процессов поступления питательных веществ из внешней среды, их превращения в организме и выделения продуктов жизнедеятельности:** *а) фагоцитоз; б) метаболизм; в) гомеостаз; г) раздражимость.*
2. **Определите, как называют способность биологических систем сохранять относительное постоянство состава и свойств своей внутренней среды:** *а) фагоцитоз; б) метаболизм; в) гомеостаз; г) адаптация.*
3. **Отметьте биологические системы, которые находятся на молекулярном уровне организации живой материи:** *а) грибы; б) растения; в) цианобактерии; г) вирусы.*
4. **Определите наивысший уровень организации живой материи:** *а) популяционно-видовой; б) биосферный; в) организменный; г) экосистемный.*

II. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ДВА ПРАВИЛЬНЫХ

1. **Укажите биологические системы, способные к саморегуляции:** *а) популяция в дикой природе; б) порода животных; в) поле пшеницы; г) биогеоценоз.*
2. **Назовите объекты, которые относятся к надорганизменным биологическим системам:** *а) экосистема; б) хлоропласт; в) популяция; г) митохондрия.*
3. **Укажите особенности биологических систем, которые отличают их от неживых объектов:** *а) способность к саморегуляции; б) способность к росту; в) наличие особенных химических элементов; г) способность к восприятию раздражителей.*
4. **Укажите, какие надвидовые уровни организации живой материи изучает экология:** *а) клеточный; б) популяционно-видовой; в) экосистемный; г) биосферный.*

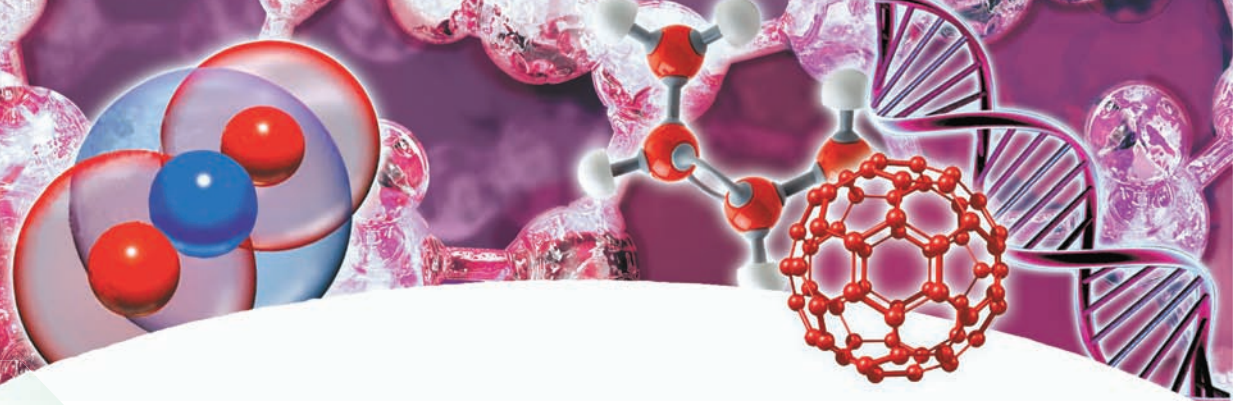
III. ЗАДАНИЕ НА УСТАНОВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

Установите соответствие между объектами, процессами, явлениями и уровнями организации живой материи, которым они отвечают.

Объекты, процессы и явления	Уровни организации живой материи
1 Деление клетки 2 Глобальный круговорот веществ 3 Лягушка остромордая 4 Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ)	А Молекулярный Б Клеточный В Популяционно-видовой Г Экосистемный Д Биосферный

IV. ВОПРОС ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

Что общего и отличного в проявлениях раздражимости у многоклеточных растений и многоклеточных животных?



РАЗДЕЛ 1. МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ

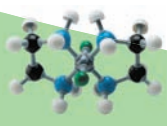
ТЕМА 1. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ОРГАНИЗМОВ

- *Химический состав живых организмов и особенности молекулярного уровня организации живой материи;*
- *свойства и функции неорганических соединений живых организмов;*
- *необходимость контроля химического состава питья и еды человека;*
- *нормы употребления воды человеком в различных условиях окружающей среды;*
- *возможности устранения заболеваний человека, возникших из-за недостатка или избытка в его рационе некоторых химических элементов.*

§ 4. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ОРГАНИЗМОВ

Вспомните: *что общего между живыми и неживыми системами? Какие гормоны выделяет щитовидная железа? Какая их биологическая роль?*

Вы уже знаете, что науку, изучающую химический состав живых организмов, строение, свойства и роль обнаруженных в них соединений, пути их возникновения и превращения, называют биологической химией, или ***биохимией***. Она исследует процессы обмена веществ и превращение энергии в организмах на молекулярном уровне. Одна из основных задач биохимии – выяснение механизмов регуляции жизнедеятельности клеток и организма в целом, которые обеспечивают единство процессов обмена веществ и превращение энергии в организме.



• **Элементный состав живых организмов.** Химический состав организмов, в отличие от объектов неживой природы, относительно постоянный. Из более 100 разных типов атомов химических элементов и их изотопов в живых организмах обнаружено почти 60. Одни из них являются обязательными для всех без исключения организмов, другие – лишь для отдельных видов. Вместе с тем в живых организмах не обнаружен ни один из химических элементов, какого бы не было в неживой природе. Это одно из свидетельств единства живой и неживой природы.

Более всего в организмах так называемых ***макроэлементов***, то есть химических элементов, суммарная доля которых составляет около 99,9 % массы организма. К ним относятся водород, углерод, азот, кислород, кальций, калий, натрий, железо, магний, сера, хлор, фосфор. Первые четыре из них относят к ***органогенным элементам***, поскольку их суммарная доля составляет почти 98 % массы живых существ. Кроме того, эти элементы являются основными составляющими органических соединений.

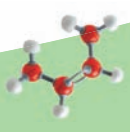
Трудно переоценить роль органогенных элементов в обеспечении нормального функционирования организмов. Например, из атомов **водорода** и кислорода состоят молекулы воды. Стоит вспомнить роль **кислорода** (O_2) в процессе дыхания организмов. Поступая в организм живого существа во время дыхания, он окисляет разные органические соединения. В результате этих процессов высвобождается энергия, которая обеспечивает разнообразные процессы жизнедеятельности. Лишь некоторые организмы, преимущественно бактерии и паразитические одноклеточные животные, могут существовать при отсутствии кислорода; их называют анаэробными.

Атомы **азота** входят в состав минеральных соединений, которые потребляют из почвы растения. Соединения азота способствуют росту растений, повышению их холодоустойчивости. Азот (N_2) преобладает среди других атмосферных газов (около 79 %). И хотя для большинства живых существ этот газ инертен, его могут усваивать из атмосферы некоторые организмы (азотфиксирующие бактерии, цианобактерии). Они поставляют соединения азота в почву, повышая ее плодородие (рис. 4.1).

Поскольку азот входит в состав белков и других органических веществ, его соединения необходимы для нормального роста организмов. А еще вспомните, что азот входит в состав хитина – составляющего компонента клеточной стенки грибов и внешнего скелета членистоногих (рис. 4.2), который придает им дополнительную прочность.

Углерод в составе углекислого газа CO_2 обеспечивает воздушное питание растений и некоторых других организмов, способных к фотосинтезу (пурпурные и зеленые серобактерии, цианобактерии, некоторые одноклеточные животные). Эти автотрофные организмы фиксируют CO_2 и используют углерод для синтеза собственных органических веществ. А далее по цепям питания созданные ими органические соединения передаются гетеротрофным организмам, например грибам и животным.

Соединения **кальция** входят в состав раковин моллюсков, некоторых одноклеточных животных (фораминифер), панцирей раков, костей и зубов позвоночных животных и др. Важное значение имеет достаточное поступление соединений кальция в организм детей и беременных женщин. Недостаток соединений кальция у детей может привести к искривлению



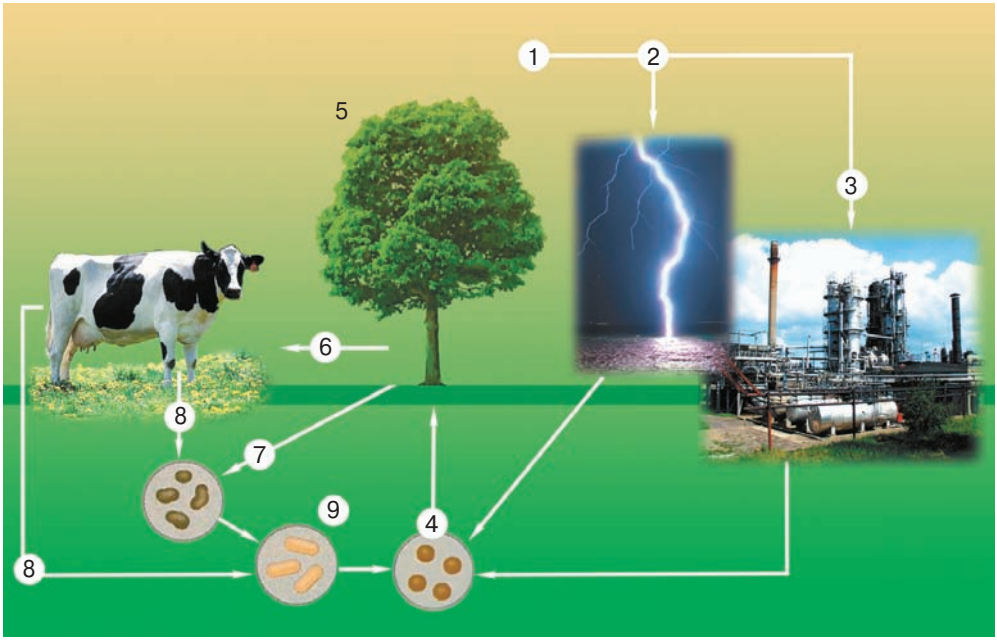


Рис. 4.1. Круговорот азота в природе: атмосферный азот (1) в результате ряда химических реакций (2, 3) превращается в нитрат-ионы (4); растения (5) поглощают их с помощью корневой системы и синтезируют молекулы, которые потребляют животные (6); останки растений (7) и животных (8) разлагают бактерии (9), возвращая соединения азота в виде нитрат-ионов в почву (4)



Рис. 4.2. Азот входит в состав хитина – компонента клеточных стенок грибов (1) и внешнего скелета членистоногих (2)

костей – рахиту. Повышенный расход соединений кальция в организме беременных женщин связан с тем, что в это время формируется скелет зародыша. Кальций содержится в куриных яйцах, молочных продуктах.

Соединения **калия** необходимы для нормальной деятельности нервной и сердечно-сосудистой систем, мускулатуры. Важная роль калия и кальция в регуляции работы сердца: повышенная концентрация ионов Ca^{2+} ускоряет работу сердца, а ионов K^{+} – замедляет. Эти особенности влияния ионов K^{+} используют для создания лекарств, которые замедляют сокращения сердечной мышцы. Много калия содержится в картофеле, фруктах (абрикосах, сливах и др.).

Соединения калия и **меди** повышают холодоустойчивость растений, что помогает им лучше пережить зимний период.

Вы уже знаете, что атом **железа** входит в состав дыхательного пигмента – гемоглобина (рис. 4.3, 2). Гемоглобин способен связывать газы (*вспомните, какие*) и транспортировать их по организму. Поэтому при недостатке железа в организме

или при недостаточном усвоении этого химического элемента могут нарушаться процессы синтеза гемоглобина, возникает заболевание – малокровие, или *анемия*. Соединения железа, необходимые для кроветворения, содержатся в яблоках и других продуктах растительного происхождения (абрикосах, зелени петрушки и др.), а также печени и яйцах.

Соединения железа и **магния** необходимы растениям для того, чтобы в их клетках образовывался пигмент хлорофилл. Атом магния входит в состав молекулы хлорофилла, а железо необходимо для синтеза этого соединения. При недостатке или отсутствии этих химических элементов листья растений становятся бледно-зелеными или вообще теряют зеленый цвет. В результате процессы фотосинтеза нарушаются или прекращаются, и растение в конечном итоге погибает. Такое заболевание получило название *хлороз* (рис. 4.3, 2).

Фосфор способствует работе головного мозга, участвует в формировании скелета и т. п. Соединения фосфора в значительных количествах нужны и растениям. В частности, они способствуют более быстрому созреванию плодов и обеспечивают холодоустойчивость. Соединения фосфора поступают в наш организм с молоком и молочными продуктами, рыбой, яйцами и др.

Свыше 50 химических элементов относятся к группе **микроэлементов** (йод, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк и т. д.), ведь их количество составляет 10^{-12}–10^{-3} % массы живых существ. Среди них выделяют группу *ультрамикроэлементов* (свинец, бром, серебро, золото и др.), процентное содержание которых еще ниже. Микроэлементы клетки входят в состав органических и неорганических соединений или находятся в виде ионов.

Хотя содержание микроэлементов в организмах незначительно, их роль в обеспечении нормального функционирования может быть огромной. Вспомните, **йод** необходим для того, чтобы щитовидная железа производила гормоны (тироксин, трийодтиронин). Недостаточное поступление йода в организм человека с едой или водой может повлечь нарушение синтеза этих гормонов. Как вы помните из курсов *Основы здоровья* и *Биология* 9-го класса, это может привести к тяжелым заболеваниям человека, связанным с нарушением обмена веществ, например *микседеме*,

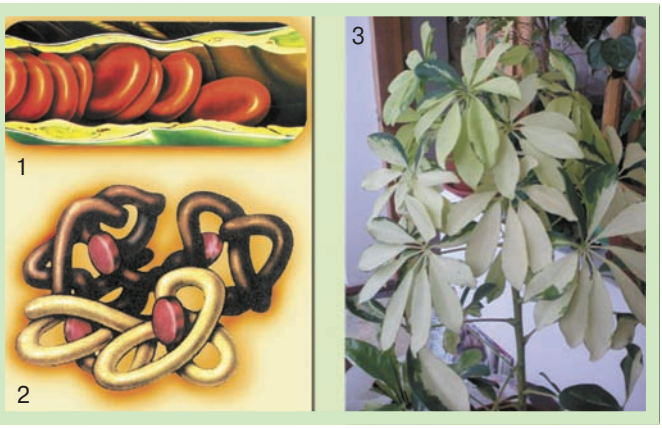


Рис. 4.3. Роль железа в жизни организмов: 1 – эритроциты, в состав которых входит пигмент гемоглобин; 2 – молекула гемоглобина, в состав которой входит атом железа; 3 – недостаток железа в почве вызывает хлороз растений



Рис. 4.4. Эндемический зоб – следствие недостатка йода в воде и пище



Рис. 4.5. Недостаток фтора приводит к кариесу – разрушению эмали зубов

кретинизму. У людей, проживающих в местностях, где вода и почва содержат мало йода, часто развивается заболевание ***эндемический зоб*** (*эндемический* в переводе из греческого – местный, присущий данной местности), когда разрастаются ткани щитовидной железы (рис. 4.4). При этом железа синтезирует меньше нормы гормона тироксина. Для профилактики йододефицита в таких местностях йодируют соль: к поваренной соли добавляют йодид калия. Много соединений йода содержат бурые водоросли, например ламинария, или морская капуста.

Вы уже знаете, что в состав эмали зубов входит **фтор**, который придает ей прочность. Недостаток этого элемента в организме ведет к разрушению эмали. Это заболевание называют *кариесом* (рис. 4.5). Поэтому, выбирая зубную пасту, обращайте внимание на содержание в ней фтора и кальция, которые укрепляют зубы. Эти элементы есть и в продуктах питания: молоке, сырах, шпинате и др. **Цинк** необходим для образования гормонов поджелудочной железы, **бром** – гормонов гипофиза. (*Вспомните, какие гормоны производят эти железы.*)

Кобальт и **медь** необходимы для процессов кроветворения (*вспомните, в состав дыхательных пигментов каких животных входит медь*). Кобальт – составляющая витамина B_{12} (цианкобаламина), недостаток которого в организме приводит к злокачественному малокровию (анемии). Для человека основным источником поступления витамина B_{12} служат продукты питания животного происхождения – печень крупного рогатого скота, почки, мясо, сыр, рыбные продукты и т. п.

Соединения **кремния** входят в состав опорных структур некоторых организмов: клеточных стенок хвощей, панцирей диатомовых водорослей, внутриклеточного скелета радиолярий, скелета некоторых губок и др. Вместе с тем попадание соединений кремния в органы дыхания может нарушить их функционирование. Так, в результате продолжительного вдыхания производственной пыли, содержащей SiO_2, возникает опасное заболевание легких – *силикоз*. Поэтому людям, работа которых связана с промышленной пылью (например, шахтерам), следует защищать дыхательные пути марлевыми повязками или респираторами.

Ключевые термины и понятия. ***Макроэлементы, микроэлементы, органогенные элементы.***

Кратко о главном

- Химический состав живых организмов, в отличие от объектов неживой природы, относительно постоянный. В зависимости от содержания в организмах химические элементы делят на макро- (свыше 99,9 %) и микроэлементы (меньше чем 0,1 %).
- Водород, углерод, азот, кислород относят к органогенным элементам, поскольку их суммарная доля составляет почти 98 % химического состава живых существ.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие группы разделяют химические элементы в зависимости от их процентного содержания в составе живых существ? 2. Какие химические элементы относят к макроэлементам? Приведите примеры их биологических функций. 3. Какие химические элементы называют органогенными и почему? 4. Какие химические элементы относят к микроэлементам? Какова их роль в организмах?

Подумайте. *О чем может свидетельствовать тот факт, что в организмах отсутствуют химические элементы, которые не найдены в неживой природе?*

§ 5. РОЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМОВ

Вспомните: *какие основные классы неорганических соединений обнаруживают в живых организмах? Каковы их функции? Что такое радионуклиды, изотопы?*

Вам уже известно, что все химические вещества делят на органические и неорганические. Общее содержание неорганических веществ (кроме воды) в разных клетках варьирует в пределах от одного до нескольких процентов. Среди неорганических веществ важную роль в обеспечении функционирования отдельных клеток и целостных организмов играют вода, неорганические кислоты, щелочи и соли.

• **Соли неорганических кислот** внутри живых организмов растворены в воде (в виде ионов) или находятся в твердом состоянии (например, соли кальция и фосфора в составе скелета человека и большинства позвоночных животных) (рис. 5.1).

Ионы образованы катионами металлов (калия, натрия, кальция, магния и др.) и анионами неорганических кислот (Cl^-, HSO_4^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} и др.).

Разная концентрация ионов Na^+ и K^+ снаружи и внутри клеток приводит к возникновению разницы электрических потенциалов на окружающих клетки мембранах. Это обеспечивает транспорт веществ через мембраны, а также передачу нервных импульсов. В состав многих ферментов входят ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, которые обеспечивают их активность. Присутствие в плазме крови ионов Ca^{2+} – необходимое условие свертывания крови. При недостатке солей кальция нарушается работа сердечной и скелетных мышц (в частности, возникают судороги).

Постоянное содержание хлорида натрия (0,9 %) в плазме крови необходимо для поддержания гомеостаза нашего организма. Раствор хлорида

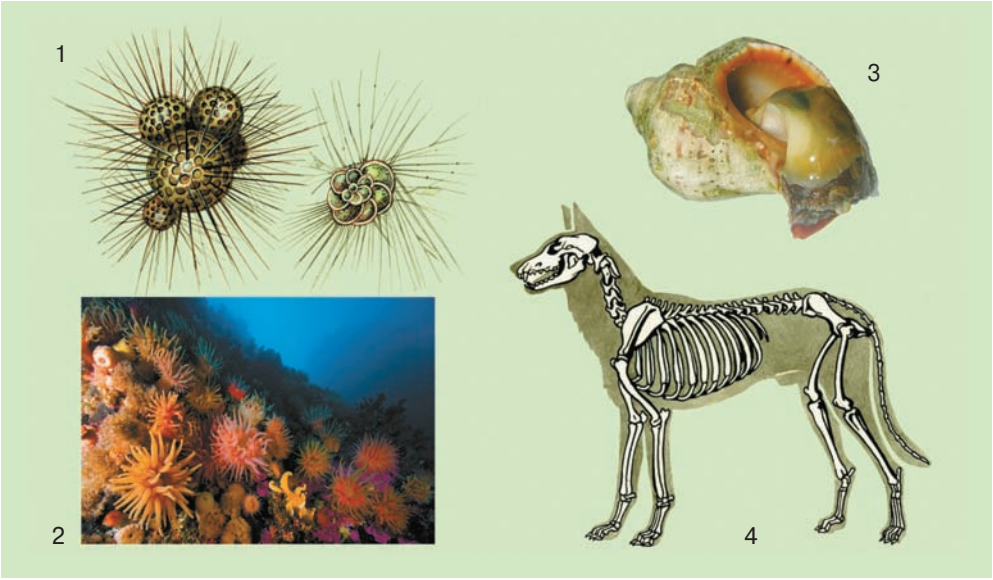


Рис. 5.1. Соли кальция входят в состав: 1 – раковин фораминифер; 2 – колоний коралловых полипов; 3 – раковин моллюсков; 4 – внутреннего скелета позвоночных животных

натрия такой концентрации называют *физиологическим*. Его используют при инъекциях определенных лекарств или вводят при незначительных кровопотерях (*вспомните, с какой целью*). Ежесуточно в организм человека должно поступать 12–15 г поваренной соли (NaCl).

Всасывание солей начинается еще в желудке, а завершается в кишечнике. Рецепторы, расположенные в стенках кровеносных сосудов и тканях, способны определять концентрацию солей. Импульсы от этих рецепторов поступают к гипоталамусу, который, в свою очередь, регулирует деятельность желез внутренней секреции. В зависимости от содержания солей в организме в результате нейрогуморальной регуляции изменяется их содержание в моче.

Из-за нарушения обмена веществ соли могут откладываться в суставах, что приводит к тяжелым заболеваниям – *остеохондрозу* и *подагре*. Эти заболевания могут привести к снижению подвижности суставов и позвоночника и потере работоспособности. Чтобы избежать этого, необходимо вести активный образ жизни, не злоупотреблять мясными и жирными блюдами, солью и другими приправами, отказаться от алкоголя.

В полостях органов или их выводных протоков могут формироваться плотные образования – «камни». Чаще всего они образуются в желчном пузыре, почечных лоханках и мочевом пузыре при откладывании там солей органических (мочевой) или неорганических (угольной и фосфорной) кислот. В результате развивается мочекаменная болезнь.

Важные функции выполняют в организме и неорганические кислоты. Мы уже вспоминали, что соляная кислота создает кислую среду в желудке позвоночных животных и человека, обеспечивая активность ферментов желудочного сока. У людей, клетки стенки желудка которых производят недостаточное количество соляной кислоты, нарушаются процессы

переваривания белков, увеличивается риск размножения большого количества вредных бактерий и т. п. Увеличение секреции соляной кислоты также опасно для организма человека, так как вызывает изжогу, а со временем – язву желудка.

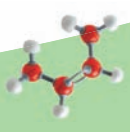
Остатки серной кислоты, присоединяясь к нерастворимым в воде соединениям, обеспечивают их растворимость. Это способствует выведению таких веществ в растворенном состоянии из клеток и организма. Фосфорная кислота необходима для синтеза АТФ (универсальный накопитель энергии в клетке) и разных типов нуклеиновых кислот.

• **Кислотно-щелочной баланс.** Внутренняя среда человека имеет определенное соотношение положительных и отрицательных ионов – кислотно-щелочной баланс. При его нарушении могут возникать тяжелые заболевания. В частности, при повышении содержания положительных ионов организм плохо усваивает кальций, натрий, калий, а при возрастании содержания отрицательных – медленнее усваивается еда, что негативно влияет на функции печени и почек, способствуют возникновению аллергических состояний, обострению хронических болезней и т. п.

• **Экологические заболевания.** Не все вещества, поступающие в организм с питьем и едой, полезны. Например, для организма человека опасно поступление солей тяжелых металлов (свинца, хрома и др.) и радионуклидов. Большое количество тяжелых металлов содержится в транспортных выбросах. Поэтому на обочинах автомобильных трасс не следует собирать грибы: они способны накапливать в своем теле эти вещества, а также радионуклиды. Эти соединения могут сыграть роль канцерогенных, то есть способствовать образованию в организме доброкачественных и злокачественных опухолей; приводят к массовому размножению клеток крови: лейкоцитов (лейкозы), реже – эритроцитов (эритроцитозы). Попадая в организм беременных женщин, радионуклиды могут вызвать нарушения развития плода.

Для организма человека и животных опасны радиоактивные изотопы многих химических элементов: йода, цезия, стронция, урана и др. Попадая в организм, стронций-90 может откладываться в костях, замещая кальций. В результате этого кости становятся хрупкими. Изотоп йода нарушает функции щитовидной железы. Растения также способны накапливать значительные концентрации радионуклидов. С растительной пищей эти вещества впоследствии попадают в организмы животных и человека.

В результате аварии на ЧАЭС радионуклидами загрязнено свыше 8,4 млн гектаров земель Украины, из них 3,5 млн гектаров пахотные. Если учесть загрязненность почв Украины также тяжелыми металлами и ядохимикатами (пестицидами), то в настоящее время в неудовлетворительном состоянии находится около 20 % территории нашей страны. Наивысший уровень загрязненности почв тяжелыми металлами зафиксирован в Донецкой и Закарпатской областях. В Донецкой области это связано с деятельностью промышленных предприятий и горнодобывающих шахт, а в Закарпатской – неоднократными авариями на горнодобывающих предприятиях Румынии, в результате чего значительное количество тяжелых металлов попали в р. Тису, а во времена ее разливов – на сельскохозяйственные угодья.



Следует отметить, что вокруг больших промышленных предприятий радиус загрязнения токсичными веществами составляет от 1 до 20 км, и их концентрация может превышать предельно допустимую в 5–10 раз. Существенным фактором загрязнения почв являются выбросы выхлопных газов транспортом. Содержание свинца в почве даже на расстоянии 50 км от трассы может превышать допустимый уровень в 3–4 раза.

Вредно для организма человека и высокое содержание нитратов в питье и пище. Поэтому за содержанием нитратов, например в овощах, должен осуществляться постоянный контроль. Разработаны специальные государственные нормы содержания нитратов и других вредных соединений в продуктах питания и воде. Согласно им определены так называемые ***предельно допустимые концентрации*** (ПДК). Если содержание вредных веществ в питье или продуктах питания превышает показатели ПДК, то их к потреблению населением не допускают.

Атмосферу загрязняют выбросы вредных для здоровья человека и других организмов отходов промышленных предприятий, выхлопных газов автомобильного транспорта (соединения серы, азота, угарный газ CO, тяжелые металлы и т. п.). Предприятия строительной и угольной промышленности (цементные и гипсовые заводы, открытые угольные карьеры и др.) являются источниками загрязнения атмосферы пылью.

Особую опасность для окружающей среды составляют кислотные дожди, вызванные загрязнением атмосферы сернистым газом SO_2 (промышленные предприятия и автотранспорт выбрасывают в атмосферу свыше 160 млн тонн сернистого газа ежегодно) и оксидами азота (N_2O, N_2O_3 и NO_2). При соединении с водой эти вещества образуют сильные неорганические кислоты. На обширных территориях промышленно развитых стран выпадают осадки, кислотность которых превышает нормальную от 10 до 1000 раз. Из-за кислотных дождей разрушаются экосистемы пресных водоемов, погибают леса (рис. 5.2), резко снижается плодородие почв.

Под руководством Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП) в настоящее время разработаны стратегические принципы построения экологически стабильного общества, согласованные с правительствами большинства стран мира. Одним из условий по-



Рис. 5.2. Промышленные объекты выбрасывают в атмосферу сернистый газ (1); следствием этого являются кислотные дожди, которые уничтожают леса (2)

строения такого общества является четкое ограничение (квотирование) промышленных выбросов каждой страной. При этом страны, которые не полностью используют свои квоты (это касается, в частности, Украины), могут продавать оставшуюся часть другим. Полученные средства используют для разработки и внедрения технологий, направленных на улучшение состояния окружающей среды.

Кратко о главном

Общее содержание неорганических веществ (кроме воды) в клетках разных типов варьирует в пределах от одного до нескольких процентов. Среди этих соединений важную роль в обеспечении нормального функционирования отдельных клеток и целостных организмов играют кислоты, щелочи и соли.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие неорганические соединения входят в состав живых организмов?* **2.** *Какова роль неорганических соединений в обеспечении функционирования организмов?* **3.** *Как радионуклиды влияют на живые организмы?*

Подумайте. *Во время Чернобыльской катастрофы 1986 г. детям и взрослым из пострадавших территорий давали препараты, содержащие соединения йода. С какой целью это делали?*

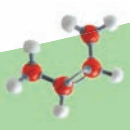
§ 6. ФУНКЦИИ ВОДЫ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМОВ

Вспомните: *какое строение молекулы воды? Как происходит водно-солевой обмен в организме человека? Что такое адаптация, транспирация, ковалентный и водородный типы связей между молекулами?*

Из всех химических соединений исключительная роль в обеспечении процессов жизнедеятельности организмов принадлежит воде. Именно в водной среде изначально появилась жизнь на нашей планете, без воды невозможно существование живой материи.

Содержание воды в организмах составляет 60–70 %, а в некоторых случаях – до 98 %. Цитоплазма большинства клеток содержит приблизительно 80 %, а кровь и лимфа человека – свыше 90 % воды. Следовательно, вода ***образует основу внутренней среды*** клеток и организмов (цитоплазмы, крови, лимфы, полостной жидкости многоклеточных животных, соков растений и т. п.). В водной среде происходят процессы обмена веществ и превращений энергии. Вода непосредственно участвует в реакциях расщепления органических соединений.

• **Структура, свойства и функции воды.** Воде присущи уникальные химические и физические свойства. Взгляните на рисунок 6.1: молекула воды (H_2O) состоит из двух атомов водорода, соединенных с атомом кислорода ковалентными связями. На полюсах молекулы воды находятся положительные и отрицательные заряды, то есть она полярная. Благодаря этому две соседние молекулы обычно взаимно притягиваются за счет сил электростатического взаимодействия между отрицательным зарядом атома кислорода одной молекулы и положительным зарядом атома водорода дру-



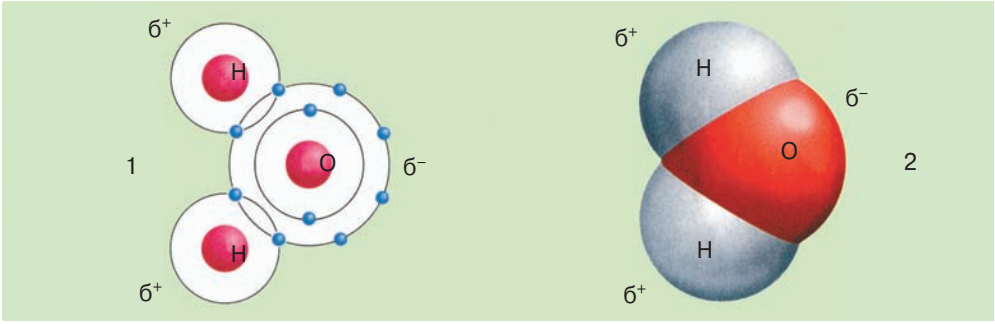


Рис. 6.1. Молекула воды состоит из атома кислорода и двух атомов водорода: 1 – электронная модель; 2 – масштабная модель

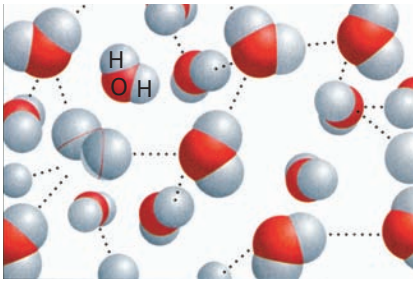


Рис. 6.2. Образование водородных связей (....) между молекулами воды

гой. При этом возникает водородная связь (рис. 6.2), которая в 15–20 раз слабее ковалентной. Когда вода находится в жидком состоянии, ее молекулы непрерывно движутся, и водородные связи постоянно то разрываются, то образуются опять.

Часть молекул воды формирует оболочку вокруг некоторых соединений. Такую воду называют ***связанной***, или ***структурированной*** (4–5 % общего количества воды в организмах). Структурированная вода предотвращает межмолекулярное взаимодействие и участвует в поддержании структуры некоторых молекул, например белков. Остальные 95–96 % молекул имеют общее название ***свободной воды***: она не связана с другими соединениями.

В зависимости от температуры среды вода способна изменять агрегатное состояние. При понижении температуры вода из жидкого состояния может переходить в твердое, а при повышении – в газообразное.

Образование кристалликов льда разрушает клеточные структуры. Это приводит к гибели клеток и всего организма. Именно поэтому млекопитающих и человека невозможно заморозить, а затем – разморозить без потери способности возобновления процессов жизнедеятельности.

Под воздействием растворенных в ней веществ вода может изменять свои свойства, в частности точки температур замерзания (плавления) и кипения, что имеет важное биологическое значение. Например, в клетках растений с наступлением зимы повышается концентрация растворов углеводов, членистоногих – глицерина, рыб – белков и т. п. Это снижает температуру, при которой вода переходит в твердое состояние, что предотвращает ее замерзание. Представьте себе: среди насекомых известны ледничники (рис. 6.3), способные не только сохранять активность, но и спариваться на снежном покрове (они обитают и в Украине).

Молекулам воды присуща способность к ионизации, когда они расщепляются на ионы водорода и гидроксила. При этом между молекулами воды и ионами устанавливается динамическое равновесие:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$



Рис. 6.3. Ледничник

Хотя ионизация химически чистой воды очень слабая (при температуре +25 °С из 10 млн молекул только одна находится в ионизированном состоянии), она играет важную биологическую роль. От концентрации ионов водорода, которую оценивают по водородному показателю (pH – значение негативного десятичного логарифма концентрации ионов H^+), зависят структурные особенности, активность макромолекул и т. п. Нейтральной реакции раствора отвечает pH 7,0. Если его значение ниже – реакция раствора кислая, выше – щелочная. В разных частях организма и даже одной клетки значения водородного показателя весьма изменчивы. Это важно для протекания процессов обмена веществ, поскольку одни ферменты активны в щелочной среде, другие – в кислой. Например, у инфузории-туфельки пищеварительные вакуоли периодически «путешествуют» по клетке, оказываясь то в кислой, то в щелочной среде. При этом последовательно активизируются то одни ферменты, то другие, что способствует лучшему перевариванию питательных веществ. Вспомните: у человека и млекопитающих ферменты желудочного сока активны в кислой среде, а поджелудочного – в щелочной.

Растворы, способные противостоять изменению собственного показателя pH при добавлении определенного количества кислоты или щелочи, называют буферными системами. Они состоят из слабой кислоты (донора H^+) и основания (акцептора H^+), способных соответственно связывать ионы гидроксила (OH^-) и водорода (H^+), благодаря чему pH внутри клетки почти не меняется.

Вода определяет физические свойства клеток – объем и внутриклеточное давление (тургор). По сравнению с другими жидкостями у нее относительно высокие температуры кипения и плавления, которые обусловлены водородными связями между молекулами воды.

Вода – значительно ***лучший растворитель***, чем большинство других известных жидкостей. Поэтому все вещества делят на хорошо растворимые (***гидрофильные***) и нерастворимые (***гидрофобные***) в воде. К гидрофильным соединениям относится много кристаллических солей, например поваренная соль (NaCl), а также глюкоза, фруктоза, тростниковый сахар и т. п. Гидрофильные соединения содержат полярные (частично электрически заряженные) группы, способные взаимодействовать с молекулами воды или ионизироваться (образовывать ионы из нейтральных частей своей молекулы). Это, например, аминокислоты и белки, которые содержат карбоксильные группы (–COOH) и аминогруппы ($-NH_2$). Гидрофобные вещества (почти все липиды, некоторые белки) содержат неполярные группы, которые не взаимодействуют с молекулами воды. Они растворяются преимущественно в неполярных органических растворителях (хлороформ, бензол и др.).

В состав живой материи также входят ***амфифильные вещества***, например фосфолипиды (соединения липидов с остатками фосфорной кислоты), липопротеиды (соединения липидов с белками), многие белки. Одна часть молекулы этих соединений проявляет гидрофильные свойства, другая – гидрофобные.

Когда определенное соединение переходит в раствор, его молекулы начинают двигаться и их химическая активность возрастает. Именно поэтому большая часть биохимических реакций происходит в водных растворах.

Вода как универсальный растворитель играет важную роль в обмене веществ. Проникновение в клетку веществ и выведение из нее продуктов жизнедеятельности возможно в основном в растворенном состоянии.

Вода как универсальный растворитель играет чрезвычайно важную роль в транспорте разных соединений в живых организмах. Так, растворы органических и неорганических веществ растения транспортируются по проводящим тканям. У животных такую функцию выполняют кровь, лимфа, тканевая жидкость и т. п.

Вода участвует в сложных биохимических превращениях. Например, при ее участии происходят реакции гидролиза – расщепления органических соединений с присоединением к местам разрывов ионов H^+ или OH^-.

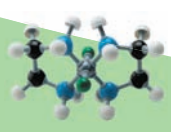
С водой связана способность организмов регулировать свой тепловой режим. Для нее характерна высокая теплоемкость, которая обусловливает способность поглощать тепло при незначительных изменениях собственной температуры. *Теплоемкость* – количество тепла, необходимого для нагревания тела или среды на 1 °С. Благодаря этому вода предупреждает резкие изменения температуры в клетках и организме при ее значительных колебаниях в окружающей среде. Поскольку на испарение воды тратится много теплоты, организмы таким образом защищают себя от перегрева (например, транспирация у растений, потоотделение у млекопитающих, испарение влаги со слизистых оболочек или через кожу у многих животных).

Благодаря высокой теплопроводимости ***вода обеспечивает равномерное распределение теплоты между тканями и органами организма*** через кровообращение, лимфообращение, циркуляцию жидкости полости тела у животных, движение растворов по телу растений и т. п.

Водные растворы определенных соединений служат смазкой, которая защищает поверхности, постоянно испытывающие трение. Например, жидкость, выделяемая внутренней поверхностью суставных сумок, облегчает скольжение суставных поверхностей, уменьшая трение между ними. Она также питает хрящ, который покрывает суставные поверхности костей.

Всем организмам присущ ***водный баланс*** – определенное соотношение между поступлением и расходом воды. Если расход воды превышает ее поступление в организм, развивается *водный дефицит*, который отрицательно влияет на разные процессы жизнедеятельности (у растений – на фотосинтез, транспирацию; у растений и животных – терморегуляцию, протекание и интенсивность физиологических процессов и т. п.). Поэтому поддержание водного баланса – одно из условий нормального функционирования любого организма.

• **Водный баланс человека.** Содержание воды в организме человека составляет около 65 %. То есть, если масса человека составляет 60 кг, то из них 39 кг приходится на воду. Следует отметить, что содержание воды зависит и от возраста: у новорожденных оно составляет около 75–80 %, в пе-



риод завершения роста – 65–70 %, а у пожилых людей – лишь 55–60 %. Между различными органами и тканями человека вода распределена неравномерно: больше всего ее в крови и почках – 82–83 %, головном мозге – до 80 %, печени – 75 %, мышцах – 70–76 %, в жировой ткани – около 30 %, костях – около 20 %.

Поскольку организм человека ежедневно тратит приблизительно 2–2,5 л воды (она выводится с непереваренными остатками пищи, мочой, потом, испаряется с поверхностей слизистых оболочек ротовой полости и дыхательных путей), то такое же ее количество должно постоянно поступать туда. Пути поступления воды в организм человека разные. Около 1 л воды попадает с продуктами питания, еще почти 300 мл образуется в результате окисления жиров, белков и углеводов (так называемая метаболическая вода), остальная часть поступает в виде питья.

Количество потребленной за сутки воды зависит от условий, в которых находится человек. Так, в зной или при тяжелом физическом труде затраты воды возрастают из-за усиленного потоотделения и значительного испарения через слизистые оболочки. Обезвоживание организма (дегидратация) также возможно в результате нарушений работы кишечника (сильный понос), значительных кровопотерь и т. п. При таких условиях потребление воды необходимо увеличить до 4–7 л на сутки. Вследствие обезвоживания замедляются процессы пищеварения и всасывания питательных веществ, нарушается теплорегуляция; сгущается кровь, нарушается ее транспортная функция, в сосудах могут образовываться сгустки (тромбы). Для человека смертельно опасна потеря свыше 20 % воды.

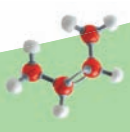
Человек, который выполняет тяжелый физический труд в условиях повышенной температуры (например, в доменном цехе), теряет лишь в результате усиленного потоотделения до 1,6 л воды за час! Поэтому суточная потребность в воде у него может возрасти до 20 л.

Первым сигналом недостатка воды в организме является ощущение жажды, которое возникает при возбуждении соответствующего центра в гипоталамусе (структура промежуточного мозга). Его специфические рецепторы возбуждаются при увеличении концентрации солей в жидкостях организма или повышении концентрации ионов натрия. Ощущение жажды появляется, если организм человека теряет около 1 % влаги, и исчезает после потребления определенного количества воды, в среднем 0,25–0,5 л.

Таким образом, основные потребности в воде человек удовлетворяет за счет питьевой воды. Поэтому рассмотрим требования к ее качеству.

• Питьевая вода и требования к ее качеству. В Украине требования к качеству питьевой воды определены Государственным стандартом. Согласно ему питьевая вода должна быть эпидемиологически безопасной и безвредной по химическому составу. Безопасность воды в эпидемиологическом отношении определяют как общим количеством микроорганизмов (не более 100 в 1 $см^3$ воды), так и концентрацией клеток кишечной палочки (не больше 3 в 1 $дм^3$ воды). Питьевая вода не должна содержать водные организмы, заметные невооруженным глазом, и пленку на поверхности.

Основными загрязнителями водных объектов в нашей стране являются промышленность (свыше 55 % от общего сброса) и жилищно-коммунальное хозяйство (свыше 40 %). Опасно загрязнение водоемов радионуклидами.



Сточные воды с высокой радиоактивностью (100 и больше Кюри на 1 л воды) должны быть захоронены в подземных бессточных бассейнах или резервуарах.

Кюри (Ki) отвечает активности элемента радона, который находится в состоянии радиоактивного равновесия с 1 г радия-226. 1 Ki = 3,7 · 10^{10} Беккерелей (Бк). 1 Бк равен скорости распада, когда за секунду распадается ядро радиоактивного изотопа.

Вам уже известно, что в реках, озерах и других водоемах происходят естественные процессы самоочищения. В них участвуют разнообразные организмы: бактерии, водоросли, одноклеточные животные, губки, двустворчатые моллюски и др. Скорость этих процессов довольно низкая, поэтому при интенсивном постоянном загрязнении неочищенными бытовыми и промышленными стоками водные экосистемы не успевают самостоятельно очиститься.

Методы очистки сточных вод делят на механические, физико-химические и биологические (рис. 6.4). *Механические методы* заключаются в очистке воды от взвешенных в ней частиц отстаиванием и фильтрацией. Эти методы позволяют удалять из бытовых сточных вод до 2/3 нерастворимых примесей, а из промышленных – до 9/10.

С помощью разнообразных *физико-химических методов* из сточной воды удаляют растворимые неорганические и органические примеси, а также взвешенные в ней мельчайшие частицы.

Завершающим этапом очистки сточных вод является применение *биологических методов* с использованием искусственно созданных цепей питания, в которые входят определенные виды бактерий, одноклеточных и многоклеточных животных.

Сырая вода из естественных водоемов, а также недостаточно очищенная питьевая вода может стать источником возбудителей разнообразных заболеваний: дизентерии, холеры, брюшного тифа (сальмонеллеза), зара-



Рис. 6.4. Пример современного очистительного сооружения: 1 – распределительный колодец; 2 – отделитель твердых частиц; 3 – отделитель жиросодержащих веществ; 4 – сорбционный фильтр; 5 – контрольный колодец

жения паразитическими червями (гельминтами) и т. п. Поэтому перед употреблением воду из колодцев, ручьев, бюветов следует хорошо прокипятить, а водопроводную – профильтровать через специальные очистительные бытовые фильтры.

Для ограничения потерь и сохранения качества пресной воды необходимы такие мероприятия:

– уменьшение расходов воды для обеспечения работы промышленности, транспорта и объектов сельского хозяйства;

– уменьшение расходов пресной воды для бытовых потребностей;

– охрана малых рек, которые играют важную роль в общем водном балансе планеты, в частности – питают большие реки, поддерживают уровень подземных вод;

– создание условий для самоочищения водоемов;

– проведение лесоохранных мероприятий, поскольку в результате уничтожения лесов часто мелеют реки и другие водоемы;

– внедрение эффективных методов очистки сточных вод, осуществление постоянного контроля за санитарным состоянием водоемов и качеством питьевой воды;

– создание замкнутых систем водоснабжения промышленных, аграрных и энергетических объектов.

Ключевые термины и понятия. ***Гидрофильные, гидрофобные и амфифильные соединения, гидролиз, водный баланс.***

Кратко о главном

- Вода составляет основу внутренней среды живых организмов, где происходят процессы обмена веществ и превращения энергии. Вода непосредственно участвует в реакциях расщепления органических соединений.
- Водный баланс – это определенное соотношение между поступлением и расходованием воды живой системой.
- Вода – универсальный растворитель. Вещества, способные хорошо растворяться в воде, называют гидрофильными (полярными), нерастворимые – гидрофобными (неполярными).
- Вода играет ведущую роль в транспорте разных соединений в живых организмах, участвует в сложных биохимических реакциях и процессах теплорегуляции.

Вопросы для самоконтроля

1. *Почему воду считают универсальным растворителем?* **2.** *Каковы свойства воды как основы внутренней среды живых организмов?* **3.** *Какова роль воды в процессах теплорегуляции организмов?* **4.** *Что такое водный баланс?* **5.** *Какие соединения называют гидрофильными, гидрофобными и амфифильными?* **6.** *Какие требования предъявляют к качеству питьевой воды?*

Подумайте. *1. Почему ученые считают, что жизнь на нашей планете возникла именно в водной среде? 2. Какие процессы обеспечивают самоочищение естественных водоемов?*

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В СОБСТВЕННОМ ОРГАНИЗМЕ

(выполняют учащиеся академического уровня обучения)

Цель: *исследовать зависимость содержания воды в организме человека от возрастных изменений.*

Оборудование: *весы, таблицы «Возрастные изменения содержания воды в организме человека».*

Ход работы

1. С помощью напольных весов измерьте собственную массу тела.
2. Используя таблицу «Возрастные изменения содержания воды в организме человека», определите содержание воды в собственном организме, учитывая, что в организме подростков в среднем содержится 70 % воды от массы тела.
3. Подобным образом определите содержание воды в организмах ваших родителей, дедушек и бабушек.
4. Сделайте выводы.

ТЕСТ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

I. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРАВИЛЬНЫЙ

1. **Укажите металл, атом которого входит в состав молекулы гемоглобина:** *а) медь; б) кальций; в) калий; г) железо.*
2. **Укажите элемент, который входит в состав гормонов щитовидной железы:** *а) медь; б) бор; в) йод; г) фтор.*
3. **Укажите элемент, который входит в состав молекулы хлорофилла:** *а) медь; б) бор; в) йод; г) магний.*
4. **Укажите, как называют растворимые в воде соединения:** *а) гидрофобные; б) гидрофильные; в) неорганические; г) органические.*

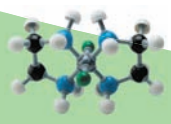
II. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ДВА ПРАВИЛЬНЫХ

1. **Укажите химические элементы, которые относятся к органогенным:** *а) фтор; б) железо; в) азот; г) водород.*
2. **Укажите химические элементы, которые относятся к макроэлементам:** *а) фосфор; б) бор; в) кобальт; г) сера.*
3. **Укажите химические элементы, которые относятся к микроэлементам:** *а) кальций; б) железо; в) фтор; г) цинк.*

III. ЗАДАНИЯ НА УСТАНОВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

1. **Установите соответствие между недостатком приведенного химического элемента в организме человека и последствиями этого явления.**

Химический элемент	Последствия недостатка химического элемента
1 Калий (K) 2 Железо (Fe) 3 Йод (I) 4 Фтор (F)	А Эндемический зоб Б Нарушение образования гормонов поджелудочной железы В Малокровие Г Нарушение регуляции работы сердца Д Разрушение эмали зубов



2. Установите соответствие между свойствами воды и ее функциями в живых организмах.

Свойства воды	Функции в живых организмах
1 Полярность молекулы 2 Способность к обратимой ионизации 3 Высокая теплоемкость 4 Способность изменять агрегатное состояние	А Создание определенного pH среды Б Универсальный растворитель В Охлаждение организма в жаркую погоду Г Источник энергии Д Предотвращение резких изменений температуры организма

IV. ВОПРОСЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

1. *Какие особенности строения молекул воды обеспечивают ее свойства?*

2. *В чем заключается роль физико-химических свойств воды в обеспечении процессов жизнедеятельности отдельных клеток и всего организма?*

ТЕМА 2. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

- *Строение, свойства и функции основных групп органических соединений: липидов, углеводов, белков, нуклеиновых кислот;*
- *роль органических соединений в обеспечении жизнедеятельности организма человека;*
- *связь между строением молекул органических веществ и их функциями;*
- *применение ферментов в хозяйстве человека.*

§ 7. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ОРГАНИЗМОВ. ЛИПИДЫ

Вспомните: *какие элементы называют органогенными, какие вещества – органическими, гидрофильными и гидрофобными? Какую связь называют ковалентной? Какие функции жиров в живых организмах? Какие вещества называют гормонами? Какие функции в организме человека выполняют гормоны коры надпочечников и половые гормоны? Каковы функции желчи? Что такое жировое тело членистоногих?*

• **Органические вещества** – это соединения углерода с другими элементами, которые образовались в живых существах. Органические вещества находятся в атмосфере, поверхностных и подземных водах, осадках, почвах и горных породах. В составе органических соединений преобладают органогенные химические элементы (водород, кислород, азот и углерод), а ковалентно соединенные атомы углерода образуют цепочки или ряды колец (так называемый скелет молекулы).

В состав клеток входят различные органические соединения: липиды, углеводы, белки, нуклеиновые кислоты и др. Многие молекулы органических веществ (макромолекулы) имеют большую молекулярную массу.

Так, молекулярная масса большинства белков составляет от 6000 до 1 000 000, некоторых нуклеиновых кислот достигает нескольких миллиардов дальтон (1 дальтон отвечает 1/12 атомной массы изотопа C^{12}, или $1{,}67 \cdot 10^{-21}$ г). Высокомолекулярные органические соединения могут состоять из большого количества одинаковых или разных по химическому строению звеньев (простых молекул – мономеров). Такие соединения называют ***биополимерами***, или ***макромолекулами***. Например, молекулы белков состоят из остатков аминокислот, нуклеиновых кислот – из нуклеотидов, а сложных углеводов (полисахаридов) – из моносахаридов (см. таблицу 7.1).

Таблица 7.1

Основные типы органических соединений, входящих в состав организмов

Органические соединения	Составляющие компоненты	Функции
Липиды:		
жиры	Остатки трехатомного спирта глицерина и жирных кислот	Структурная, энергетическая, защитная, регуляторная
воски	Остатки одноатомных спиртов и жирных кислот	
стероиды	Полициклические гидрофобные спирты	
Биополимеры:		
полисахариды	Моносахариды	Опорная, энергетическая
белки	Аминокислоты	Структурная, энергетическая, защитная, каталитическая (ферментативная), сигнальная, двигательная, регуляторная, транспортная
нуклеиновые кислоты	Нуклеотиды	Кодирование и хранение наследственной информации, участие в биосинтезе белка

Биологически активные вещества (ферменты, гормоны, витамины, некоторые яды и др.) влияют на процессы обмена веществ и превращения энергии в целом или на отдельные их звенья. Многие из них осуществляют гуморальную регуляцию процессов жизнедеятельности разнообразных организмов. Таким образом, *органическими соединениями называют вещества, образованные атомами углерода, соединенными крепкими ковалентными связями*. Содержание органических соединений в клетках составляет в среднем 20–30 %. Обзор основных классов этих веществ начнем с липидов.

Липиды – преимущественно гидрофобные органические соединения, которые растворяются в неполярных веществах (эфире, хлороформе, ацетоне и др.). Молекулярная масса липидов обычно составляет 50–1500. Большинство липидов – производные высших жирных кислот, спиртов или альдегидов.

• **Разнообразие липидов.** Среди липидов различают простые и сложные. К простым липидам относятся вещества, состоящие из соединенных

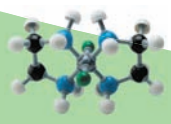




Рис. 7.1. Воски покрывают поверхность плодов и входят в состав кутикулы листьев (1); из восков медоносные пчелы строят соты (2)

между собой остатков жирных кислот (или альдегидов) и спиртов, например жиры и воски.

Сложные липиды – соединения, образованные в результате взаимодействия молекул простых липидов с другими веществами. К ним относятся липопротеиды (соединения липидов и белков), гликолипиды (липидов и углеводов), фосфолипиды (липидов и фосфорной кислоты).

Жиры – сложные эфиры, образованные трехатомным спиртом глицерином и тремя остатками жирных кислот. Они откладываются в виде жировых включений в растительных и животных клетках. Повышенное содержание жиров (до 90 %) характерно для клеток почек, подкожной клетчатки позвоночных, желтого тела членистоногих. У некоторых растений (подсолнечника, грецкого ореха, маслин и др.) много жиров содержится в семенах и плодах.

Воски выполняют в основном защитную функцию. У млекопитающих воски выделяют сальные железы кожи: они придают эластичность коже и уменьшают износ волосяного покрова. У птиц воск выделяет копчиковая железа, расположенная над основой хвоста. Ее секрет придает водоотталкивающие свойства перьевому покрову (вспомните: эта железа хорошо развита именно у водоплавающих птиц). Восковый слой покрывает листья наземных растений и поверхность внешнего скелета членистоногих – обитателей суши, предотвращая избыточное испарение воды поверхностью тела. Хорошо развитые восковые железы расположены в брюшке медоносных рабочих пчел. Как вы помните, из воска пчелы строят соты (рис. 7.1). Воск широко используют в медицине, промышленности и других сферах деятельности человека.

Еще одна важная группа липидов – гидрофобные спирты **стероиды**. Углеродная цепочка стероидов образует несколько колец, потому они относятся к так называемым циклическим органическим соединениям. Стероидную природу, в частности, имеют половые гормоны человека – эстрогены (женские) и андрогены (мужские), а также гормоны надпочечников (кортикостероиды) (рис. 7.2, 1).

Один из самых известных стероидов – *холестерин* (рис. 7.2, 2). В организме млекопитающих и человека он служит предшественником при синтезе половых гормонов. В плазме крови холестерин находится в виде сложных эфиров с жирными кислотами, которые он транспортирует. Холестерин синтезируют клетки печени; он входит в состав желчи. Но это соединение попадает в организм и с жирной едой. Избыток холестерина в



Рис. 7.2. Стероиды: 1 – половые гормоны: женский – эстроген (а) и мужской – тестостерон (б) – влияют на формирование вторичных половых признаков (обратите внимание на яркий хвост самца); 2 – холестерин

результате неправильного питания или повышенной функции печени нарушает нормальное функционирование организма.

• **Функции липидов.** Одна из важнейших функций липидов – ***энергетическая***. При полном расщеплении 1 г жиров выделяется 38,9 кДж энергии – в два раза больше, чем при полном расщеплении аналогичного количества углеводов или белков.

Не менее важна ***строительная***, или ***структурная***, ***функция***. Фосфолипиды входят в состав клеточных мембран (рис. 7.3, 7.4), жиры – в состав защитной миелиновой оболочки нервных волокон и т. д.

Резервная функция заключается в том, что липиды содержатся в цитоплазме клеток в виде включений (например, в клетках жировой ткани, семян подсолнуха и др.). Запасы жиров организмы используют в качестве резерва питательных веществ и как источник метаболической воды: при окислении 1 г жиров образуется почти 1,1 г воды.

Благодаря запасам жира некоторые животные в течение определенного времени могут существовать без поступления воды извне. Например, верблюды в пустыне выдерживают без воды до 16 суток; медведи, сурки и другие животные во время спячки не потребляют воду свыше двух месяцев.

Жировые включения повышают плавучесть мелких одноклеточных организмов (например, радиолярий, парящих в толще воды).

Запасы жира могут выполнять и ***защитную функцию***. Так, они защищают внутренние органы от механических повреждений. Например,

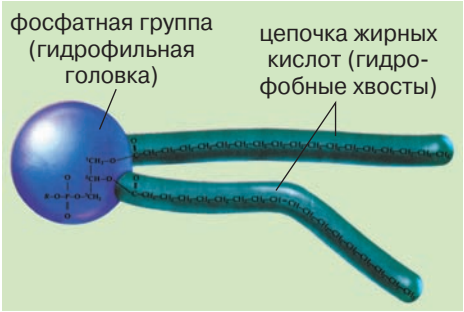


Рис. 7.3. Строение фосфолипидов

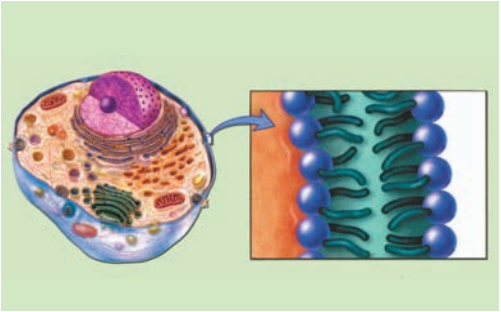


Рис. 7.4. Расположение фосфолипидов в составе клеточной мембраны

почки человека и млекопитающих покрыты упругим жировым слоем. Накапливаясь в подкожной жировой клетчатке животных – обитателей территорий с прохладным климатом (китов, тюленей, пингвинов и др.), жиры защищают организм от действия резких изменений температуры (***теплоизоляционная функция***). Например, у синего кита слой жира в подкожной клетчатке может превышать 50 см. Эта функция жиров определяется их низкой теплопроводимостью. Ранее мы упоминали о защитных свойствах восков, связанных с их гидрофобностью.

Важна и ***регуляторная функция*** липидов. Вы помните, что липидную природу имеют некоторые биологически активные вещества: стероидные гормоны, витамины группы D. Они участвуют в регуляции жизненных функций организмов: обмена веществ у позвоночных животных и человека, линьки насекомых и др.

Ключевые термины и понятия. ***Органические соединения, макромолекулы, биополимеры, мономеры, липиды.***

Кратко о главном

- В состав клеток входят различные органические соединения: липиды, углеводы, белки, нуклеиновые кислоты и др. Высокомолекулярные органические соединения, состоящие из большого количества одинаковых или разных по химическому строению звеньев (простых молекул – мономеров), называют биополимерами.
- Липиды – преимущественно гидрофобные органические соединения, которые растворяются в неполярных растворителях. Среди липидов различают простые и сложные. Простые липиды состоят из соединенных между собой остатков жирных кислот (или альдегидов) и спиртов, например жиры, воски. Сложные липиды – соединения, образованные в результате взаимодействия молекул простых липидов с другими соединениями (например, липопротеиды, гликолипиды, фосфолипиды).
- Липиды выполняют энергетическую, строительную, или структурную, резервную, защитную и регуляторную биологические функции.

Вопросы для самоконтроля

1. *Чем органические соединения отличаются от неорганических?* **2.** *Какие вы знаете основные классы органических соединений?* **3.** *Какие вещества называют липидами? Какие основные группы липидов вам известны?* **4.** *Каковы свойства липидов?* **5.** *Каковы функции липидов в организмах?*

Подумайте. *Верблюды имеют значительные запасы жира, который служит источником метаболической воды. Ведь они обитают в знойных пустынях, где температура днем может достигать +40 °С и выше. Синие киты в основном обитают в прохладных водах, и значительные запасы подкожного жира защищают их тело от переохлаждения. Чем отличается характер распределения жировых отложений в теле этих животных?*

§ 8. УГЛЕВОДЫ: РАЗНООБРАЗИЕ, СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ

Вспомните: *какие организмы называют автотрофными и гетеротрофными? Какие группы автотрофных организмов вы знаете?*

Углеводы – это соединения, в которых соотношение атомов C, H, O в основном отвечает формуле $(CH_2O)_n$, где n равно трем и более. Однако есть углеводы, в которых соотношение упомянутых химических элементов несколько иное, а некоторые содержат также атомы азота, фосфора или серы. В клетках животных и грибов углеводы содержатся в незначительных количествах (около 1 % сухой массы, в клетках печени и мышц – до 5 %), а в растительных клетках их значительно больше (до 60–90 %).

• Строение и свойств углеводов. В зависимости от количества мономеров, которые входят в состав молекул, углеводы разделяют на моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

Моносахариды имеют общую формулу $C_nH_{2n}O_n$. Они могут содержать от 3 до 10 атомов углерода: триозы (3 атома углерода), тетрозы (4), пентозы (5), гексозы (6) и так далее до дексоз (10). В природе наиболее распространены гексозы и пентозы. Примерами гексоз являются глюкоза, фруктоза и др. (рис. 8.1). Эти соединения придают сладкий вкус плодам, меду, а глюкоза является очень важным соединением для осуществления метаболизма. К пентозам относятся, например, рибоза и дезоксирибоза, входящие в состав рибонуклеиновых (РНК) и дезоксирибонуклеиновой (ДНК) кислот. Моносахариды хорошо растворяются в воде.

Олигосахариды – полимерные углеводы, у которых 2–10 моносахаридных звеньев соеденены ковалентными (гликозидными) связями. В частности, дисахариды образованы соединением остатков двух молекул моносахаридов. Примеры дисахаридов: мальтоза (солодовый сахар) – состоит из двух остатков глюкозы; сахароза (свекольный или тростниковый сахар) – состоит из остатков глюкозы и фруктозы; лактоза (молочный сахар) – состоит из глюкозы и галактозы; трегалоза (грибной сахар) –

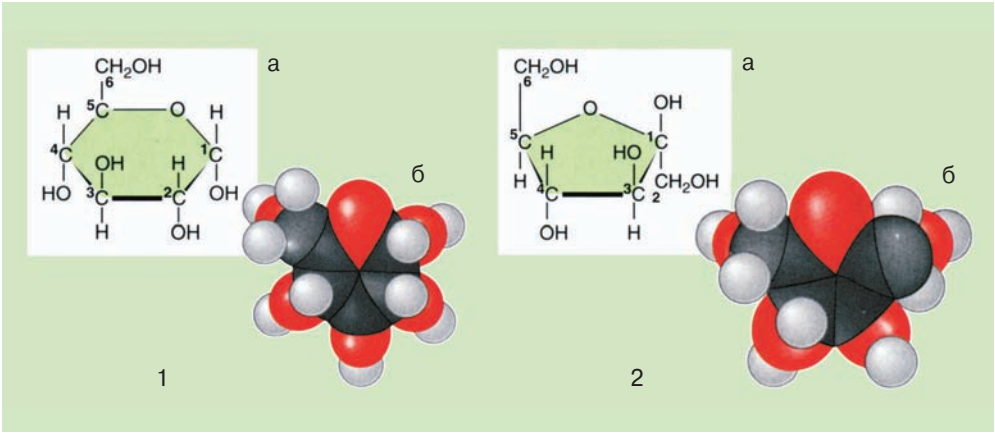


Рис. 8.1. Моносахариды глюкоза (1) и фруктоза (2): а – химическая формула; б – пространственная модель

состоит из двух остатков глюкозы (рис. 8.2). Они имеют сладкий вкус и хорошо растворяются в воде.

Полисахариды – это биополимеры, молекулярная масса некоторых из них может достигать нескольких миллионов. Полисахариды отличаются друг от друга не только составом мономеров, но также длиной и степенью разветвленности цепей. Одни полисахариды состоят из остатков одного и того же моносахарида, другие – разных. Примеры полисахаридов: крахмал, целлюлоза, гликоген, пектин, лигнин, хитин и др. (рис. 8.3, 8.4). Они почти не растворяются в воде и не имеют сладкого привкуса.

Углеводы могут вступать в связь с другими соединениями. Такие углеводы называют сложными. Примеры: гликопротеиды (соединения углеводов с белками), гликолипиды (соединения углеводов с липидами).

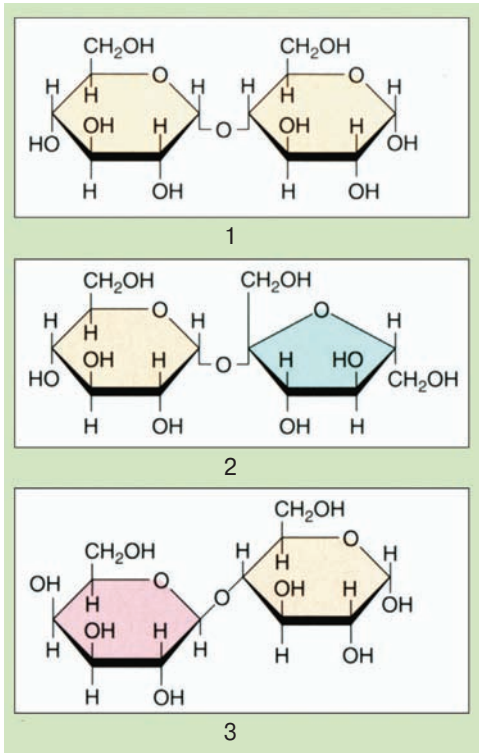


Рис. 8.2. Дисахариды: 1 – мальтоза; 2 – сахароза; 3 – лактоза

• **Функции углеводов** достаточно разнообразны: энергетическая, резервная, строительная, защитная.

Энергетическая функция. При расщеплении 1 г полисахаридов или олигосахаридов до моносахаридов выделяется 17,6 кДж тепловой энергии. Углеводы играют ведущую роль в энергетическом обмене: они способны как к окислению, так и к расщеплению (гликолизу) в бескислородных условиях. Это чрезвычайно важно для организмов, которые обитают в условиях дефицита кислорода (например, паразиты внутренних органов человека и животных) или при его полном отсутствии (анаэробы, например дрожжи, некоторые виды бактерий).

Резервная функция. Полисахариды могут откладываться в клетках, чаще всего в виде зерен. В клетках растений накапливается крахмал, животных и грибов – гликоген (рис. 8.3). Эти запасные соединения являются резервом питательных веществ и энергии.

Строительная (структурная) функция углеводов заключается в том, что полисахариды входят в состав определенных структур. Так, азотсодержащий полисахарид хитин входит в состав наружного скелета членистоногих и клеточной стенки грибов; клеточные стенки растений образованы из целлюлозы (рис. 8.4).

В состав надмембранных структур клеток животных (гликокаликса) и прокариот (клеточной стенки) входят углеводы, связанные с белками и липидами. Они обеспечивают прочное соединение клеток между собой.

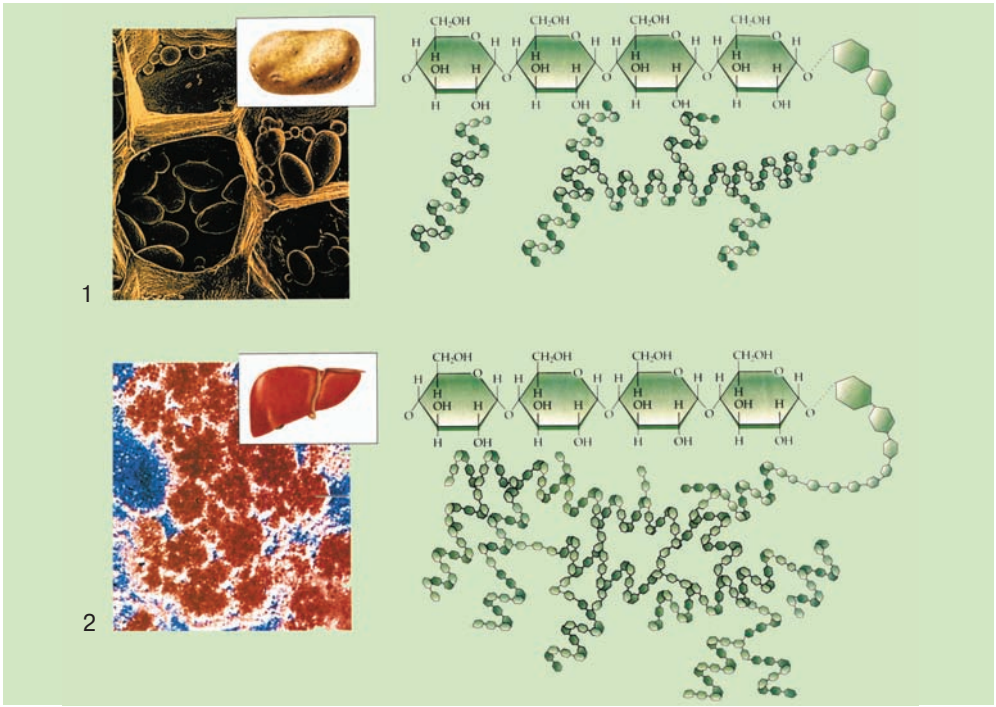


Рис. 8.3. Крахмал в клетках клубней картофеля (1); гликоген в клетках печени (2)

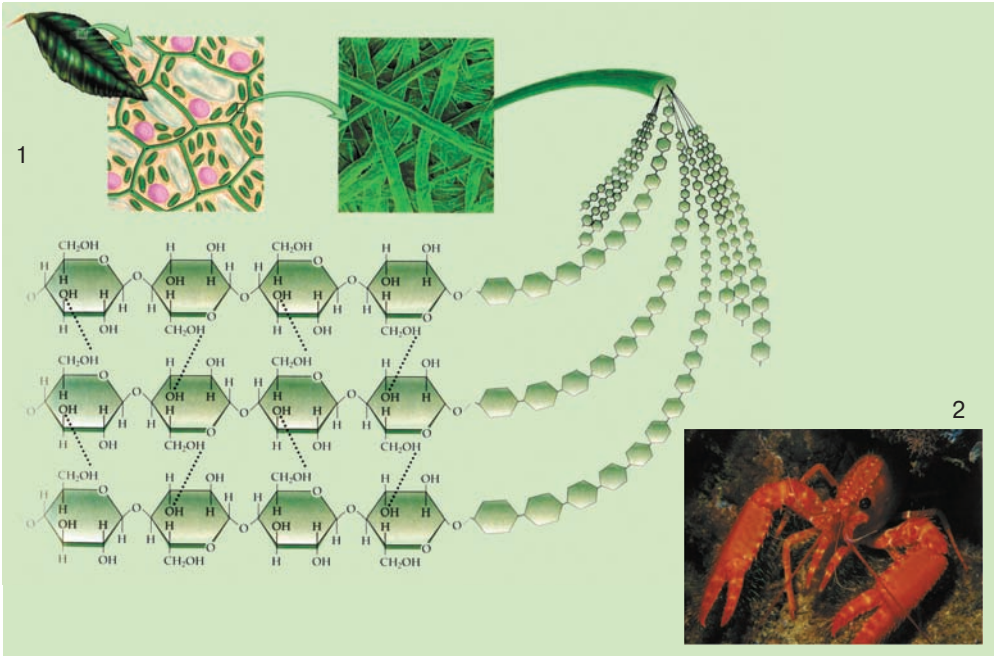


Рис. 8.4. Целлюлоза в составе клеточных стенок растений (1); хитин в составе покровов членистоногих (2)

Особые соединения углеводов с белками (мукополисахариды) выполняют в организмах позвоночных животных и человека ***функцию смазки***, входя в состав жидкости, которая смазывает суставные поверхности.

Защитная функция. Полисахариды пектины способны связывать некоторые токсины и радионуклиды, предупреждая попадание их в кровь. Мукополисахарид гепарин предотвращает свертывание крови, повышает проницаемость сосудов, устойчивость организма к недостатку кислорода (гипоксии), а также влиянию вирусов и токсинов, снижает уровень концентрации сахара в крови.

Ключевые термины и понятия. ***Моносахариды, дисахариды, олигосахариды, полисахариды.***

Кратко о главном

- Углеводы – это соединения углерода, которые в основном отвечают формуле $(CH_2O)_n$, где n равняется трем и более. Углеводы делят на моносахариды, олигосахариды и полисахариды.
- Функции углеводов: энергетическая, резервная, строительная (структурная) и защитная.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие соединения называют углеводами?* **2.** *Какие вы знаете основные классы углеводов? Каковы их свойства?* **3.** *Какие углеводы называют простыми и сложными?* **4.** *Какие основные функции углеводов в организмах?*

Подумайте. *1. Что общего в физико-химических свойствах и функциях углеводов и липидов и чем эти соединения отличаются друг от друга? 2. Почему паразиты внутренних органов животных и человека часто запасают больше гликогена по сравнению с теми, которые обитают на покровах хозяина?*

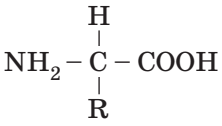
§ 9. БЕЛКИ: СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА

Вспомните: *какие вещества называют макромолекулами, мономерами и биополимерами? Какая роль белков в жизни организмов? Что такое гемоглобин и ферменты, каковы их функции?*

Среди органических соединений белки играют ведущую роль. Они часто преобладают в клетках и в количественном соотношении: например, в клетках животных составляют до 40–50 % сухой массы, растений – до 20–35 %.

• **Строение белков.** Белки – высокомолекулярные азотсодержащие биополимеры, мономерами которых являются остатки аминокислот. Аминокислоты – это органические кислоты, содержащие *аминогруппу* ($-NH_2$), которой присущи щелочные свойства, и *карбоксильную группу* ($-COOH$) с кислотными свойствами. Эти группы, как и атом водорода, связаны с одним и тем же атомом углерода. В составе аминокислот всегда присутствуют специфические для каждой из них части. Их назы-

вают *радикалами* (R-групами). Общая формула аминокислоты имеет вид:

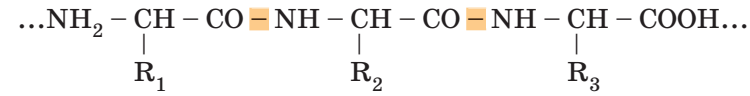


В тканях живых существ обнаружено свыше 100 аминокислот, но в состав белков входят лишь 20 из них, так называемые *основные*, которые встречаются почти во всех белках. *Неосновные аминокислоты*, каждая из которых – производная одной из основных, являются компонентами лишь отдельных типов белков.

В таблице 9.1 приведены полные и сокращенные названия основных аминокислот. Различные комбинации соединенных в цепочки 20 основных и неосновных аминокислот обеспечивают почти бесконечное разнообразие белковых молекул (число возможных вариантов – около $2 \cdot 10^{18}$). В частности, в организме человека найдено свыше 5 млн типов белковых молекул. Молекула каждого определенного белка характеризуется специфическими составом и последовательностью аминокислотных остатков, которые определяют неповторимость ее функциональных свойств.

Аминокислоты делят на заменимые и незаменимые. *Заменимые аминокислоты* способны синтезироваться из продуктов обмена веществ в организмах человека и животных. *Незаменимые аминокислоты* в организмах человека и животных не образуются, а поступают вместе с пищей. Эти аминокислоты синтезируют растения, грибы или бактерии. Белки, которые содержат все незаменимые аминокислоты, называют *полноценными*, в отличие от *неполноценных*, в состав которых входят не все из этих аминокислот. Следует отметить, что для разных видов животных набор незаменимых аминокислот неодинаков, к тому же он может меняться с возрастом. Например, аргинин или гистидин – заменимые для взрослых и незаменимы для детей. Отсутствие или недостаток одной или нескольких незаменимых аминокислот в организме приводят к нарушениям баланса азота и биосинтеза белков, замедлению роста и развития.

Остатки молекул аминокислот в составе белков соединены между собой крепкой ковалентной связью, которая возникает между карбоксильной группой одной аминокислоты и аминогруппой другой. Этот тип связи называют ***пептидной*** (от греч. *пептос* – сваренный). Так образуется соединение, состоящее из остатков двух аминокислот, – **дипептид**. Структуры, которые состоят из большого количества остатков аминокислот (от свыше 50 до нескольких тысяч), относятся к **полипептидам** (пептидная связь обозначена цветом):



Полипептиды с высокой молекулярной массой (от 6000 до нескольких миллионов) называют **белками**. Они состоят из одной или нескольких полипептидных цепей и могут содержать до нескольких тысяч аминокислотных остатков.

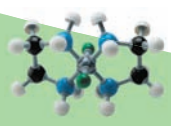


Таблица 9.1

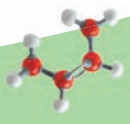
Названия основных аминокислот и их сокращенные обозначения

Название аминокислоты	Сокращенное название
Аланин	Ала
Аргинин	Арг
Аспарагин	Асн
Аспарагиновая кислота	Асп
Валин	Вал
Гистидин	Гис
Глицин	Гли
Глутамин	Глн
Глутаминовая кислота	Глу
Изолейцин	Иле
Лейцин	Лей
Лизин	Лиз
Метионин	Мет
Пролин	Про
Серин	Сер
Тирозин	Тир
Треонин	Тре
Триптофан	Три
Фенилаланин	Фен
Цистеин	Цис

Название аминокислоты часто происходит от названия субстрата, из которого она была выделена, или определенных свойств. Например, аспарагин впервые обнаружен в растении аспарагус, глицин назван благодаря сладкому привкусу (от греч. гликос – сладкий).

• **Уровни пространственной организации белков.** Известно четыре уровня пространственной организации, или *конформации*, белков: первичный, вторичный, третичный и четвертичный (рис. 9.1).

Первичную структуру белков определяет та или иная последовательность аминокислотных остатков. Ее образуют пептидные связи. Именно первичная структура определяет свойства и функции той или иной белковой молекулы. Часто молекула белка в виде такой цепи не пригодна к выполнению своих функций. Для этого она, например, должна полностью или частично приобрести вид спирали, то есть ***вторичную структуру***. Это обеспечивают водородные связи, возникающие между атомами водо-



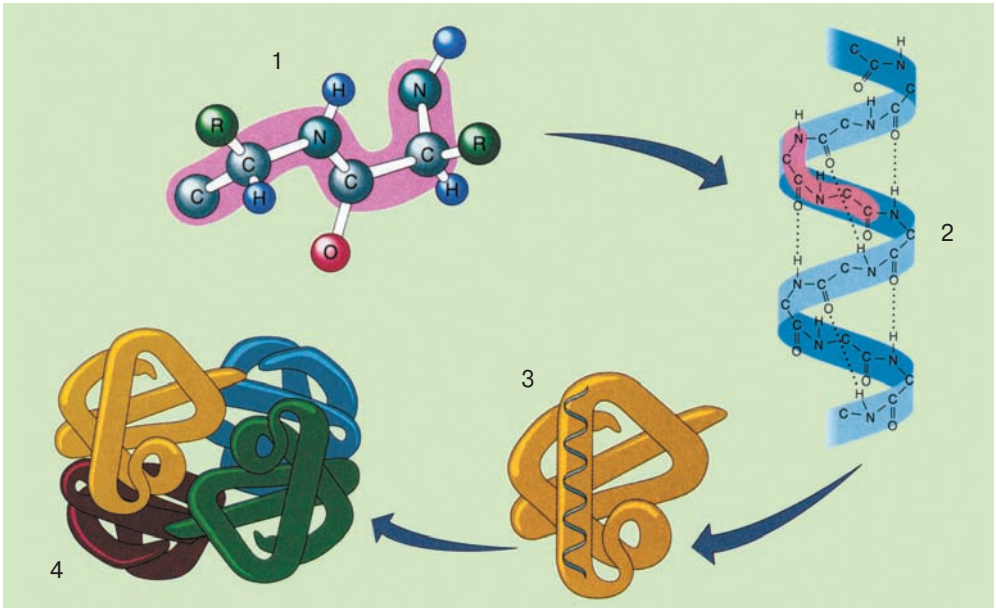


Рис. 9.1. Уровни пространственной организации белковых молекул: 1 – первичный; 2 – вторичный; 3 – третичный; 4 – четвертичный

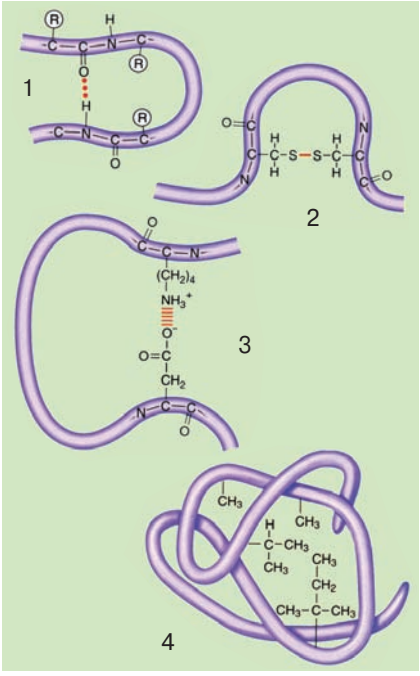
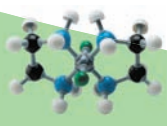


Рис. 9.2. Связи, поддерживающие конформации белковой молекулы: 1 – водородные; 2 – дисульфидные; 3 – ионные взаимодействия; 4 – гидрофобные взаимодействия

рода NH-группы одного витка спирали и кислорода CO-группы другого витка спирали. Хотя эти связи значительно слабее пептидных, однако в совокупности они поддерживают достаточно стойкую структуру.

Третичная структура обусловлена способностью полипептидной спирали закручиваться определенным образом в клубок, или глобулу, благодаря связям, возникающими между остатками аминокислоты цистеина (так называемые дисульфидные связи). Поддержание третичной структуры обеспечивают гидрофобные, электростатические и другие взаимодействия, а также водородные связи (рис. 9.2). Гидрофобные взаимодействия – это силы притяжения между неполярными участками молекул в водной среде. Гидрофобные остатки некоторых аминокислот в водном растворе сближаются, как бы «слипаются», и стабилизируют структуру белка.

Электростатические связи возникают между отрицательно и положительно заряженными радикалами остатков аминокислот.



Четвертичная структура белков возникает при объединении нескольких глобул. Например, молекула гемоглобина состоит из четырех остатков молекул белка миоглобина.

В зависимости от химического состава белки разделяют на простые и сложные. **Простые**, или *протеины*, состоят лишь из аминокислотных остатков, а **сложные**, или *протеиды*, содержат также небелковые компоненты – остатки фосфорной и нуклеиновых кислот, углеводов, липидов, атомы железа, цинка, меди и т. п. Такие сложные белки называют *гликопротеидами* (соединения с углеводами), *липопротеидами* (с липидами), *нуклеопротеидами* (с нуклеиновыми кислотами) и др. Многие белки образуют сложные комплексы с пигментами – окрашенными в разные цвета органическими соединениями.

• **Свойства белков.** Функциональные свойства белков обусловлены их аминокислотным составом и пространственной структурой. По форме молекул различают фибриллярные (нитевидные) и глобулярные (шаровидные) белки. Фибриллярные белки обычно нерастворимы в воде и выполняют структурную (например, кератин входит в состав волос человека или шерсти животных) или двигательную (мышечные белки – актин и миозин) функции. Глобулярные белки в основном водорастворимые и выполняют другие функции: например, гемоглобин обеспечивает транспорт газов, пепсин – расщепление белков пищи, иммуноглобулины (антитела) – защитную. Глобулярные белки менее устойчивы (вспомните из собственного опыта: белок куриных яиц даже при незначительном повышении температуры легко изменяет свою структуру и становится нерастворимым).

Одно из основных свойств белков – их способность под воздействием разных факторов (действие концентрированных кислот и щелочей, тяжелых металлов, высокой температуры и т. п.) изменять свою структуру и свойства. Процесс нарушения естественной структуры белков, который сопровождается развертыванием белковой молекулы без изменения ее первичной структуры, называют ***денатурацией*** (рис. 9.3). Обычно денатурация необратима. Но если на начальных стадиях денатурации прекращается действие факторов, которые к ней привели, то белок может восстановить свое изначальное состояние. Это явление называют ***ренатурацией***. У организмов обратимая денатурация часто связана с выполнением определенных функций белковыми молекулами: обеспечением движений, передачей в клетку сигналов из окружающей среды, ускорением

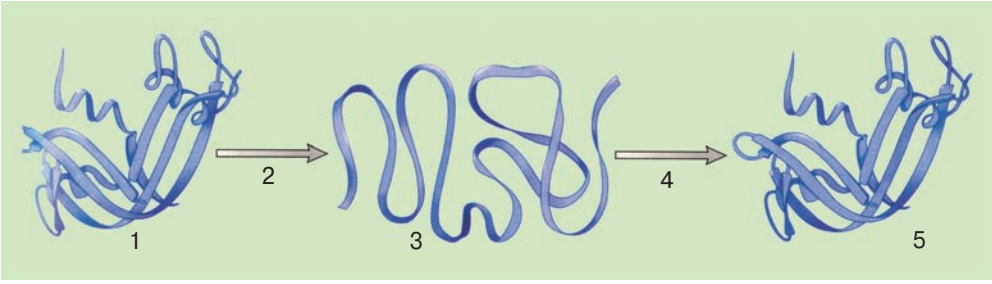


Рис. 9.3. Денатурация (2) и ренатурация (4) белковой молекулы: 1, 5 – активные молекулы белка; 3 – неактивная молекула белка

биохимических реакций и т. п. Необратимый процесс разрушения первичной структуры белков называют ***деструкцией***.

Ключевые термины и понятия. ***Белки, полипептиды, денатурация, ренатурация, деструкция.***

Кратко о главном

- Белки – высокомолекулярные биополимеры, мономерами которых являются остатки аминокислот. Двадцать основных аминокислот могут соединяться между собой в разных сочетаниях с помощью пептидной связи.
- Известны четыре уровня пространственной организации белков (конформации): первичный, вторичный, третичный и четвертичный.
- Белки способны к денатурации и ренатурации (изменению и восстановлению своих высших структур). Необратимый процесс нарушения первичной структуры белков называют деструкцией.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие вещества относят к аминокислотам, полипептидам и белкам?* **2.** *Каково строение аминокислот?* **3.** *Какие аминокислоты называют заменимыми и незаменимыми?* **4.** *Каково строение белков? Как аминокислоты соединяются в полипептидную цепь?* **5.** *Какие белки называют простыми, а какие – сложными?* **6.** *Какие вы знаете уровни пространственной организации белков?* **7.** *Какие свойства присущи белкам?* **8.** *Как свойства белков зависят от их пространственной структуры?*

Подумайте. *1. Что общего и отличного в процессах денатурации и деструкции? 2. Какую роль в жизни организмов играет способность молекул белков к денатурации? 3. Почему отсутствие в пище белков животного происхождения отрицательно влияет на жизнедеятельность организма человека?*

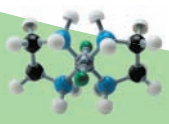
§ 10. ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

Вспомните: *что такое органеллы, эндосперм, хромосомы, антитела и антигены? Что такое катионы и анионы? Что такое гликопротеиды? Какие клетки относятся к эукариотическим?*

Вы уже знаете, насколько разнообразными могут быть белковые молекулы. А разнообразие молекул, в свою очередь, определяет многообразие их функций.

• **Строительная,** или **структурная, функция** заключается в том, что белки являются компонентом клеточных мембран. Из белков построены структуры скелета клеток (микротрубочки и микронити), которые закрепляют в определенном положении органеллы или же обеспечивают их передвижение по клетке. Белки также входят в состав рибосом, хромосом и почти всех других клеточных структур.

Главным компонентом хрящей и сухожилий является упругий и прочный белок коллаген. Волокна этого белка есть и в других разновидностях тканей внутренней среды. Эластин, который входит в состав связок, спо-



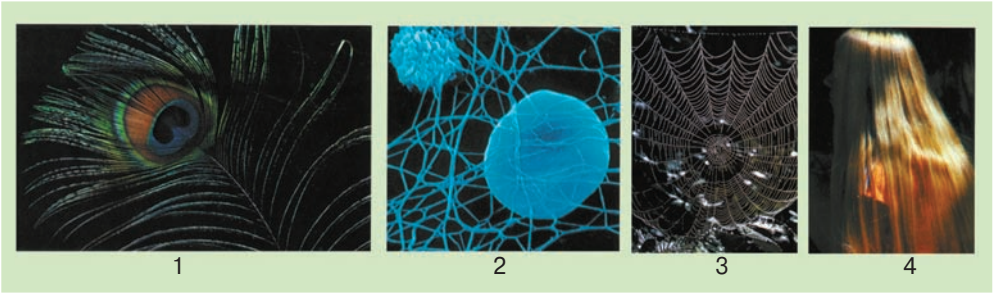


Рис. 10.1. Структуры, в состав которых входит белок: 1 – бородки пера птицы; 2 – кровяной сгусток (тромб); 3 – паутина; 4 – волосы человека

собен растягиваться; упругость костям придает белок коллаген. Кератин, как вам известно, входит в состав таких образований позвоночных животных, как когти, ногти, рога, копыта, клювы, волосы, иглы и т. п. Основой шелковых нитей и паутины служит белок фиброин (рис. 10.1).

• **Энергетическая функция белков** заключается в том, что при полном расщеплении 1 г белков в среднем освобождается 17,2 кДж энергии.

• **Защитная функция белков.** Структуры, в состав которых входят белки (наружный скелет членистоногих, кости, хрящевые образования), предотвращают повреждение тканей и органов. Белки защищают организмы от проникновения извне чужеродных веществ и болезнетворных микроорганизмов. **Иммуноглобулины** (или антитела) позвоночных животных – специализированные белки, способные распознать и обезвредить бактерии, вирусы, другие посторонние для организма структуры и вещества – антигены, воспринимаемые им как инородные. Они вызывают специфический иммунный ответ. Иммуноглобулинам присуща специфичность – определенное антитело образуется в ответ на поступление в организм того или иного антигена. **Интерферон** – это белок, который подавляет жизнедеятельность и размножение вирусов. На его основе созданы лечебные антивирусные препараты. Белки крови (*вспомните, какие*) участвуют в процессах ее свертывания и образования тромбов, предотвращая кровопотери при повреждении стенок кровеносных сосудов. Защитную функцию могут выполнять некоторые ферменты, например **лизоцим**, который содержится в слюне, слизистых оболочках, слезной жидкости и обезвреживает различные болезнетворные агенты.

• **Сигнальная функция белков** заключается в том, что некоторые сложные белки (гликопротеиды) клеточных мембран способны «распознавать» специфические химические соединения и определенным образом на них реагировать. Связывая их или изменяя свою структуру, они тем самым передают сигналы об этих веществах на другие участки мембраны или внутрь клетки. Эта функция белков обеспечивает важное свойство клеток – раздражимость.

• **Сократительная, или двигательная, функция.** Некоторые белки обеспечивают способность клеток, тканей или целого организма изменять форму, двигаться. Например, белки **актин** и **миозин**, входящие в состав мышечных клеток, обеспечивают их способность к сокращению. Белок

тубулин входит в состав микротрубочек, жгутиков и ресничек клеток эукариот.

• **Резервная функция.** Некоторые белки откладываются впрок и могут служить запасом питательных веществ для организма. Например, белки накапливаются в яйцеклетках животных, клетках эндосперма растений. Эти белки зародыш потребляет на ранних этапах своего развития.

• Еще одна из функций белков – **транспортная.** Вспомните, гемоглобин и другие подобные ему дыхательные пигменты крови человека и многоклеточных животных способны образовывать неустойчивые соединения с кислородом или углекислым газом и благодаря циркуляции крови и других жидкостей транспортировать эти вещества, обеспечивая процессы клеточного и тканевого дыхания.

Кроме того, гемоглобин позволяет сохранять резерв кислорода в организме в связанном состоянии. Это имеет значение для животных – обитателей богатых органикой водоемов в условиях дефицита кислорода (личинки комаров-дергунов – мотыль, малощетинковые черви – трубочники и т. п.).

Транспортные белки переносят липиды, синтезирующиеся на мембранах эндоплазматической сети, к другим органеллам. Белки, встроенные в плазматическую мембрану, обеспечивают транспорт веществ в клетку и из клетки наружу.

• **Функция противодействия неблагоприятным температурам.** В плазме крови некоторых рыб содержатся белки, которые предотвращают ее замерзание в условиях низких температур. У организмов, обитающих в горячих источниках, есть белки, которые не денатурируют даже при температурах +50...90 °С.

• Многие белки выполняют **регуляторную функцию.** Белковую природу имеют некоторые гормоны и нейрогормоны, регулирующие активность обмена веществ, процессы роста и развития организмов (например, гормон роста).

• **Каталитическая функция** присуща особенным белкам – ***ферментам***, или ***энзимам***, влияющим на протекание биохимических реакций (рис. 10.2).

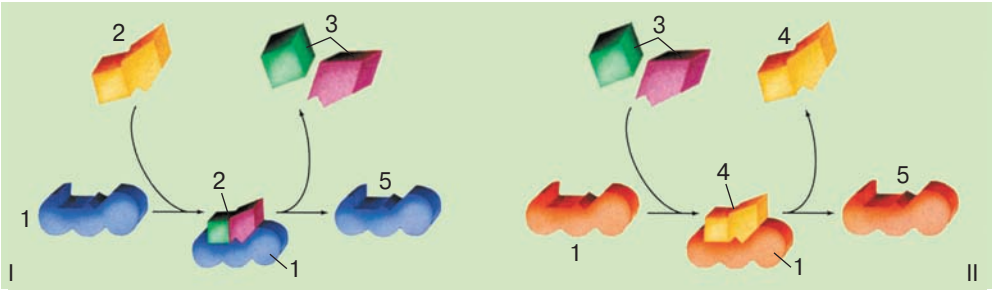
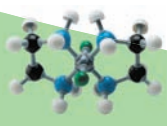


Рис. 10.2. Функции ферментов. I. Фермент (1) временно соединяется с веществом (2) и обеспечивает его расщепление на простые соединения (3). II. Фермент (1) вступает во временный комплекс с двумя молекулами (3) и обеспечивает их реакцию с образованием более сложного вещества (4). После реакции структура фермента не изменяется (5) и он готов обеспечивать новые реакции



Катализ (от греч. *катализ* – прекращение) – изменение скорости протекания химических реакций под действием определенных химических соединений.

Ферменты бывают простыми и сложными. *Простые ферменты* – это белковые молекулы (пепсин, трипсин и т. п.), состоящие лишь из аминокислотных остатков. *Сложные ферменты*, кроме белковой части, содержат еще и небелковую, которую называют ***кофактором***. Кофакторами могут быть неорганические катионы или анионы, а также органические вещества (***коферменты***), например производные витаминов. Белковый компонент определяет, какую именно реакцию катализирует данный сложный фермент. Активность сложных ферментов проявляется лишь тогда, когда их белковая и небелковая части соединены.

Каталитическая активность фермента определена не всей его молекулой, а лишь ее небольшим участком – ***активным центром***. Его пространственная структура отвечает химическому строению вступающих в реакцию веществ. Активный центр отвечает за присоединение и превращение этих соединений. Именно поэтому действие фермента специфично. Часто в состав активного центра входят производные витаминов или атомы металлов. В одной молекуле фермента может быть несколько активных центров.

Ферменты образуют неустойчивые комплексы с веществами, вступающими в реакцию. Ферментативная реакция осуществляется в 10^6–10^{12} раз быстрее, чем в среде без ферментов. За несколько секунд или даже доли секунды в организме происходит сложная последовательность реакций, для осуществления которых с применением обычных химических катализаторов нужны дни, недели или даже месяцы и годы. Это объясняют тем, что для осуществления любой химической реакции необходим контакт между реагентами. Чтобы состоялась реакция без участия ферментов, нужны высокая концентрация реагирующих веществ в среде или повышенная температура, при которой ускоряется движение молекул и возрастает вероятность контактов молекул реагирующих соединений. Но в организмах концентрация веществ часто очень низкая, а высокие температуры для них опасны. Именно поэтому биохимические реакции не могут происходить без участия ферментов.

При контакте с ферментом вещество (субстрат), вступающее в реакцию, располагается в непосредственной близости к специфическим группам его активного центра. При этом уменьшается стабильность химических связей в молекуле субстрата. Известно, что для протекания химической реакции молекула субстрата должна перейти в так называемое активированное состояние, когда облегчается разрыв химических связей. Энергию, необходимую для такого перехода, называют ***энергией активации*** (на разрыв определенной связи тратится энергии не меньше, чем потрачено на его образование). Другими словами, энергия активации необходима для того, чтобы началась соответствующая химическая реакция. Образовавшийся комплекс «фермент – вещества, вступающие в реакцию» снижает энергию активации. Такой комплекс быстро распадается с образованием продуктов реакции. Сам фермент при этом не теряет своей активности и может катализировать следующую подобную реакцию.

Одни ферменты обеспечивают расщепление, другие – синтез определенных веществ. Например, фермент целлюлаза обеспечивает расщепление клетчатки (целлюлозы).

Активность фермента проявляется лишь в определенных условиях: тех или иных значениях температуры, давления, pH и т. п. Существуют и специальные вещества, способные снижать активность ферментов (ингибиторы). Они связываются с активными центрами ферментов и блокируют их активность. В роли ингибиторов могут выступать ионы тяжелых металлов: свинца (Pb), мышьяка (As) и серебра (Ag).

Ферментативные реакции происходят в виде ряда (до нескольких десятков) последовательных этапов. Цепи взаимосвязанных ферментативных реакций обеспечивают обмен веществ и превращение энергии в отдельных клетках и организме в целом.

Ферменты располагаются в определенных местах как в пределах отдельной клетки, так и организме в целом. В клетке много ферментов связано с плазматической мембраной или мембранами отдельных органелл (митохондрий, пластид и др.).

Ключевые термины и понятия. ***Ферменты, биокатализ, кофактор.***

Кратко о главном

Разнообразные белковые молекулы в живых организмах осуществляют функции: строительную, или структурную, энергетическую, защитную, сигнальную, сократительную, или двигательную, резервную, транспортную, регуляторную, каталитическую.

Вопросы для самоконтроля

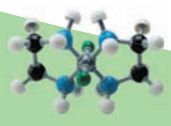
***1.** Каковы основные биологические функции белков? **2.** В чем заключается защитная функция белков? **3.** Чем определяется двигательная функция белков? **4.** Что собой представляют ферменты? **5.** Какие функции выполняют ферменты? **6.** Благодаря чему ферменты способны осуществлять свои функции? **7.** На каких свойствах белков основана способность организмов воспринимать раздражители? **8.** Почему без участия ферментов ход большинства биохимических процессов в клетке был бы невозможен?*

Подумайте. *В результате ферментативных реакций, в отличие от безферментных, не образуются побочные продукты, то есть происходит почти 100 %-й выход конечного продукта. Какое это имеет значение для нормального функционирования организма?*

§ 11. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ РНК. АТФ

Вспомните: *какие соединения называют биополимерами? Какие существуют уровни пространственной организации белковых молекул?*

Вы помните, что все живые существа способны сохранять наследственную информацию и передавать ее потомству при размножении. Эту функцию выполняют нуклеиновые кислоты. Некоторые виды нуклеиновых кислот участвуют в реализации наследственной информации.



• **Нуклеиновые кислоты** – сложные высокомолекулярные биополимеры, мономерами которых являются нуклеотиды. В составе одной молекулы нуклеиновой кислоты может находиться от 200 до 200 млн нуклеотидов. Вначале нуклеиновые кислоты обнаружили в ядре клеток, откуда и происходит название этих соединений (от лат. *нуклеус* – ядро). Но позже эти вещества нашли и в других частях клетки.

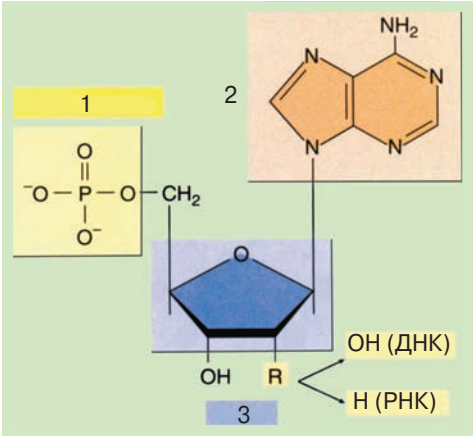


Рис. 11.1. Строение нуклеотида: 1 – остаток фосфорной кислоты; 2 – азотистое основание; 3 – моносахарид (пентоза)

Молекула нуклеотида состоит из трех частей: остатков азотистого основания, пятиуглеродного моносахарида (пентозы) и фосфорной кислоты (рис. 11.1). В зависимости от вида пентозы в составе нуклеотида различают два типа нуклеиновых кислот: **дезоксирибонуклеиновую** (ДНК) и **рибонуклеиновые** (РНК). В состав ДНК входит остаток дезоксирибозы, а РНК – рибозы.

В молекулах ДНК и РНК содержатся остатки различных азотистых оснований. В молекуле ДНК – остатки аденина (сокращенно обозначается буквой **А**), гуанина (**Г**), цитозина (**Ц**) и тимина (**Т**); в молекуле РНК – аденина (**А**), гуанина (**Г**), цитозина (**Ц**) и урацила (**У**). Обратите внимание: три типа азотистых оснований для молекул ДНК и РНК общие (нуклеотиды с аденином, гуанином и цитозином), зато тимин содержится лишь в молекулах ДНК, тогда как урацил – только в молекулах РНК (рис. 11.2).

Как и молекулам белков, молекулам нуклеиновых кислот присущи различные уровни пространственной организации (конформации).

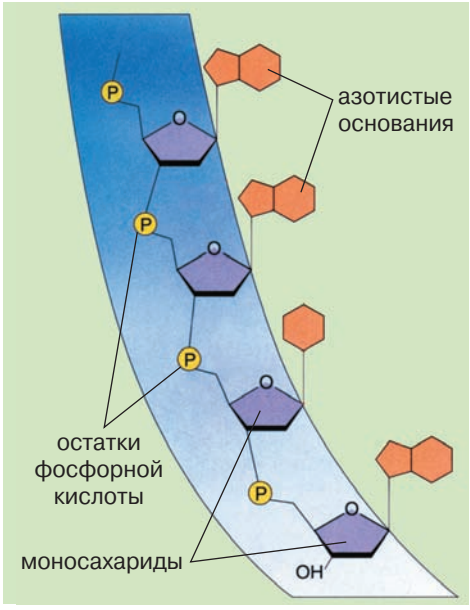
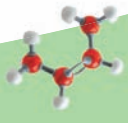


Рис. 11.2. Схема строения нуклеиновой кислоты

• **Типы РНК.** Молекулы РНК клеток прокариот и эукариот состоят из одной цепи. Существуют три основных типа РНК, которые отличаются местом расположения в клетке, размерами и функциями.

Информационная, или ***матричная, РНК*** (иРНК, или мРНК) представляет собой копию определенного участка молекулы ДНК. Такая молекула переносит наследственную информацию от ДНК к месту синтеза полипептидной цепи, а также непосредственно участвует в ее сборке.

Транспортная РНК (тРНК) имеет наименьшие размеры среди всех РНК



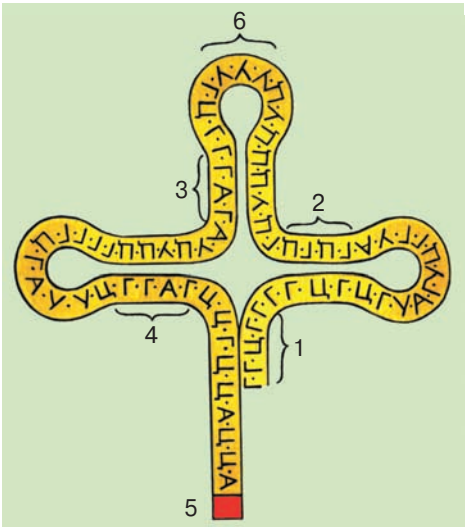


Рис. 11.3. Строение тРНК: 1–4 – участки соединения нуклеотидов с помощью водородных связей; 5 – участок, к которому присоединяется аминокислота; 6 – антикодон

(состоит из 70–90 нуклеотидов). Она присоединяет аминокислоты и транспортирует их к месту синтеза белковых молекул. Там молекула тРНК «узнает» соответствующий участок иРНК. Этот участок состоит из трех нуклеотидов и кодирует одну из аминокислот. Так определяется порядок расположения аминокислотных остатков в молекуле синтезирующегося белка.

Каждую из аминокислот транспортирует к месту синтеза белка определенная тРНК. В перемещении комплекса «молекула тРНК – остаток аминокислоты» участвуют микротрубочки и микронити цитоплазмы.

Транспортная РНК может иметь вторичную структуру (напоминает лист клевера). Такое строение объясняют тем, что в определенных участках молекулы тРНК (4–7 последовательных звеньев) между соответствующими нуклеотидами возникают водородные связи. Около верхушки «листа» находятся три нуклеотида, или триплет, который по генетическому коду отвечает определенной аминокислоте. Этот триплет называют ***антикодон***. Около основы молекулы тРНК имеется участок, к которому с помощью ковалентной связи присоединяется соответствующая аминокислота (рис. 11.3).

Молекула тРНК может образовывать и более сложную конформацию (третичную), напоминающую латинскую букву «L» или славянскую «Г» (рис. 11.4).

Рибосомальная РНК (рРНК) входит в состав особых органелл клетки – рибосом. Вместе с белками она выполняет структурную функцию, обеспечивая определенное пространственное расположение иРНК и тРНК во время биосинтеза белковой молекулы. В клетках эукариот рРНК синтезируется в ядрышке.

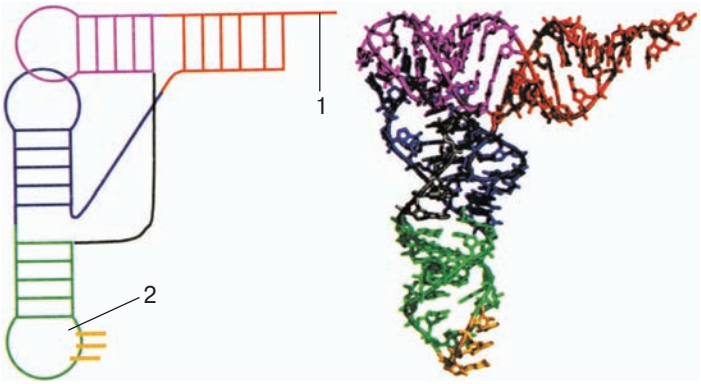


Рис. 11.4. Г-образная конформация тРНК: 1 – место присоединения аминокислоты; 2 – антикодон

• **Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)** по своему составу является нуклеотидом. Молекула АТФ состоит из остатков азотистого основания (аденина), пентозы (рибозы) и трех остатков фосфорной кислоты (рис. 11.5). АТФ имеет необычные для других органических соединений химические связи и свойства. Это две высокоэнергетические (*макроэргические*) химические связи между последовательно расположенными остатками фосфорной кислоты, в которых запасено значительное количество энергии. Если при участии соответствующего фермента отщепляется один остаток фосфорной кислоты, то АТФ превращается в ***аденозиндифосфорную кислоту*** (АДФ), при этом освобождается около 40 кДж энергии.

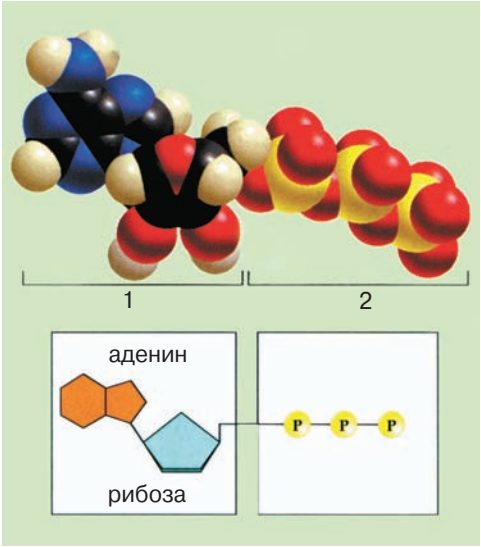


Рис. 11.5. Молекула АТФ: 1 – аденозин; 2 – трифосфат

В зависимости от условий внутренней среды клетки количество энергии, которая выделяется при отщеплении одного остатка фосфорной кислоты, может варьировать от 33 до 50 кДж/моль глюкозы.

Если же отщепляются два остатка молекул фосфорной кислоты, АТФ превращается в ***аденозинмонофосфорную кислоту*** (АМФ). При этом высвобождается свыше 84 кДж энергии. Соответственно, при присоединении к АМФ остатка фосфорной кислоты снова запасается около 40 кДж энергии в виде макроэргической связи и образуется молекула АДФ. Также около 40 кДж энергии запасается при присоединении еще одного остатка фосфорной кислоты к молекуле АДФ и ее превращении в молекулу АТФ. Итак, ***запомните:*** *молекулы АТФ служат универсальным химическим аккумулятором энергии в клетках.*

Энергия, которая высвобождается в процессе расщепления молекул АТФ, используется для синтеза необходимых организму соединений, поддержания определенной температуры тела, обеспечения других процессов жизнедеятельности.

Ключевые термины и понятия. ***Нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.***

Кратко о главном

- Нуклеиновые кислоты – сложные высокомолекулярные биополимеры, мономерами которых являются нуклеотиды. Молекула нуклеотида состоит из остатков азотистого основания, пятиуглеродного моносахарида (пентозы) и фосфорной кислоты.
- Различают дезоксирибонуклеиновую (ДНК) и рибонуклеиновые (РНК) кислоты. В состав ДНК входит остаток пентозы дезоксирибозы, в состав РНК – рибозы.
- В молекулах РНК содержатся четыре типа нуклеотидов: с азотистыми основаниями аденином (А), гуанином (Г), цитози-

ном (Ц) и урацилом (У). В молекуле ДНК также встречаются четыре типа нуклеотидов, но вместо урацила – тимин (Т).

Кратко о главном

- Существуют три основных типа РНК: информационная, или матричная (иРНК, или мРНК), транспортная (тРНК) и рибосомальная (рРНК).
- Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) – универсальный химический аккумулятор энергии в клетках.

Вопросы для самоконтроля

1. *Каковы особенности строения нуклеиновых кислот? Какие два типа нуклеиновых кислот вам известны?* **2.** *Какие вы знаете виды РНК?* **3.** *Какое строение и функции молекул иРНК?* **4.** *Как строение тРНК связано с ее функциями?* **5.** *Какие функции молекул рРНК?* **6.** *Какова структура молекулы АТФ?* **7.** *В чем заключается роль АТФ в превращении энергии в клетке?*

Подумайте. *В каких процессах, происходящих в клетке, участвуют молекулы РНК?*

§ 12. СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И ФУНКЦИИ ДНК

Вспомните: *что называют хромосомами, генами, моносахаридами, биополимерами? Где в клетках сохраняется наследственная информация? Какие организмы называют эукариотами и прокариотами? Какие процессы называют денатурацией, ренатурацией и деструкцией? Что собой представляют антитела и антигены?*

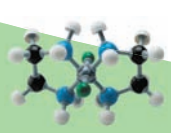
• Строение ДНК. Молекулы ДНК в клетках эукариот находятся в ядре, пластидах и митохондриях, а прокариот – в особых участках цитоплазмы. Расшифровка структуры ДНК имеет свою историю. В 1950 году американский ученый украинского происхождения Эрвин Чаргафф (1905–2002) и его коллеги обнаружили такие количественные закономерности содержания азотистых оснований в молекуле ДНК:

во-первых, количество нуклеотидов, содержащих аденин в любой молекуле ДНК, равно числу нуклеотидов, содержащих тимин (**А = Т**), а число нуклеотидов с гуанином – числу нуклеотидов с цитозином (**Г = Ц**);

во-вторых, сумма нуклеотидов с аденином и гуанином равна сумме нуклеотидов с тимином и цитозином (**А+Г = Т+Ц**). Как вы уже знаете, это открытие способствовало установлению в 50-х годах XX века пространственной структуры молекулы ДНК (рис. 12.1).

Молекула ДНК состоит из двух цепей нуклеотидов, которые соединены между собой с помощью водородных связей. Эти связи возникают между двумя нуклеотидами, которые как бы дополняют друг друга по размерам. Установлено, что остаток аденина (А) нуклеотида одной цепи молекулы ДНК всегда соединяется с остатком тимина (Т) нуклеотида другой цепи (между ними возникают две водородные связи), а гуанина (Г) – с цитозином (Ц) (между ними возникают три водородные связи).

Четкое соответствие нуклеотидов в двух цепях ДНК имеет название ***комплементарность*** (от лат. *комплементум* – дополнение). При этом



две цепи нуклеотидов обвивают друг друга, создавая закрученную вправо спираль диаметром приблизительно 2 нм [*1 нм (нанометр) равен 10^{-6} мм*]. Так возникает вторичная структура молекулы ДНК, тогда как первичная – это определенная последовательность остатков нуклеотидов, расположенных в виде двойной цепи. При этом отдельные нуклеотиды соединены между собой в цепь за счет особой разновидности прочных ковалентных связей, образующихся между остатком углевода одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого.

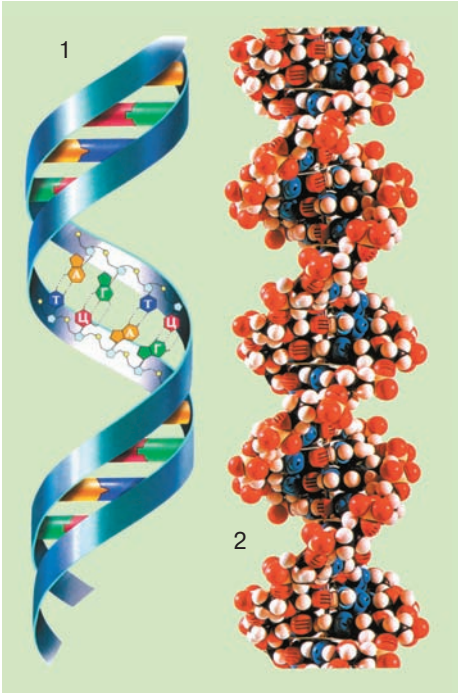


Рис. 12.1. Молекула ДНК: 1 – схема строения; 2 – пространственная модель; обратите внимание: между комплементарными нуклеотидами Г–Ц образуется три водородные связи, а между А–Т – только две. Обе цепи ДНК закручены вокруг общей оси, а также одна вокруг другой

Молекулы ДНК в клетке образуют компактные структуры. Например, длина ДНК наибольшей хромосомы человека составляет 8 см, но она свернута таким образом, что вмещается в хромосоме длиной всего 5 мкм. Это происходит благодаря тому, что двойная спираль ДНК пространственно уплотняется, формируя третичную структуру – суперспираль. Такое строение характерно для ДНК хромосом эукариот и обусловлено взаимодействием между ДНК и ядерными белками. В ядерной зоне клеток прокариот молекула ДНК имеет форму кольца и не вступает в комплекс с белками. Итак, ***запомните***: *в клетках прокариот и эукариот молекулы ДНК всегда состоят из двух цепей*.

• **Свойства ДНК**. Подобно белкам, молекулы ДНК способны к денатурации, ренатурации и деструкции. При определенных условиях (действие кислот, щелочей, высоких температур и т. п.) водородные связи между комплементарными нитратными основаниями разных цепей молекулы ДНК разрываются. При этом молекула ДНК полностью или частично распадается на отдельные цепи и соответственно теряет свою биологическую активность. После прекращения негативных воздействий структура молекулы может восстановиться благодаря восстановлению водородных связей между комплементарными нуклеотидами.

Важное свойство молекул ДНК – их способность к самоудвоению. Это явление еще называют ***репликацией***. Оно основывается на принципе комплементарности: последовательность нуклеотидов во вновь созданной цепи определяется их расположением в цепи материнской молекулы ДНК, которая служит **матрицей**.

Репликация ДНК – полуконсервативный процесс, то есть две дочерние молекулы ДНК содержат по одной цепи, унаследованной от материнской

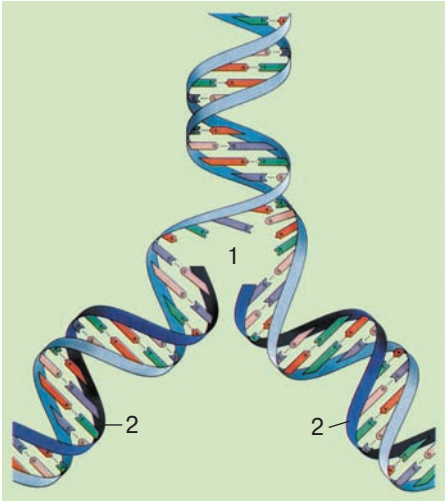


Рис. 12.2. Процесс самоудвоения молекулы ДНК: при участии фермента разрываются водородные связи (1) и на каждой материнской цепи по принципу комплементарности достраивается дочерняя (2)

молекулы, и по одной – синтезированной заново (рис. 12.2). Благодаря этому дочерние молекулы ДНК являются точной копией материнской. Это явление обеспечивает точную передачу наследственной информации от материнской молекулы ДНК дочерним.

• **Функции ДНК.** Основные функции ДНК – это кодирование, сохранение и реализация наследственной информации, передача ее дочерним клеткам при размножении. Кроме того, отдельные цепи молекулы ДНК служат матрицей для синтеза разных типов молекул РНК (рис. 12.3). Этот процесс называется ***транскрипцией***.

Единицей наследственности всех организмов является **ген** – участок молекулы ДНК (у некоторых вирусов – РНК), который несет наследственную информацию о структуре определенного белка или нуклеиновой кислоты. Функционально ген – целостная единица наследственности, так как любые нарушения его строения изменяют закодированную в нем информацию или приводят к ее потере.

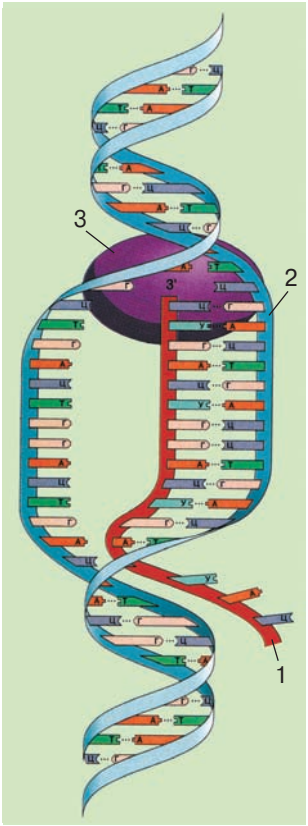


Рис. 12.3. Синтез молекулы РНК (1) на одной из цепей молекулы ДНК (2). Эти процессы обеспечивает специфический фермент – РНК-полимераза (3)

Гены делят на ***структурные***, кодирующие строение белков и нуклеиновых кислот, и ***регуляторные***, служащие местом присоединения ферментов и других биологически активных веществ. Эти соединения влияют на активность структурных генов и участвуют в процессах удвоения ДНК и переписывания наследственной информации на молекулы РНК.

Совокупность генетической информации, закодированной в генах определенной клетки или целостного организма, называется **геномом**. Это интегрированная система, в которой отдельные гены взаимодействуют между собой.

Количество генов у различных организмов значительно колеблется. Проще всего организован геном вирусов, в котором насчитывают от одного до нескольких сот исключительно структурных генов. Геном прокариот имеет более сложное строение и включает как структурные, так и регуляторные гены. Обнаружено, что у бак-

терии кишечной палочки молекула ДНК состоит из 3 800 000 пар нуклеотидов, а структурных генов у нее – около тысячи. Установлено также, что почти половина длины этой молекулы не несет никакой наследственной информации.

Геном эукариот имеет еще более сложную структуру: количество ДНК в их ядре очень велико, а следовательно, и количество структурных и регуляторных генов.

Исследование геномов разных эукариот показало, что количество ДНК в их ядре во много раз превышает необходимое для кодирования всех структурных генов. Причин этого явления несколько. *Во-первых*, ДНК содержат немало последовательностей, каждая из которых повторяется до сотен тысяч раз. *Во-вторых*, значительная часть участков ДНК вообще не несет генетической информации. *В-третьих*, имеется большое количество регуляторных генов. В некоторых случаях неинформационные (некодирующие) участки молекулы ДНК могут составлять 80–90 %, тогда как кодирующие структуру белков или РНК – только 10–20 %. Участки некодирующей ДНК обнаружены и в составе структурных генов. Было доказано, что ген состоит из отдельных блоков (частей). Одни из них копируются в иРНК и несут информацию о структуре определенных соединений, а другие – нет.

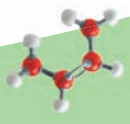
Итак, ***запомните***, *что гены эукариот имеют мозаичное строение*: их участки, кодирующие наследственную информацию, называют ***экзонами***, а не кодирующие – ***интронами***. Отдельные интроны могут вмещать от 100 до 1 000 000 пар нуклеотидов и больше. Количество интронов в составе генов разное: в гене гемоглобина – 2, белка куриного яйца – 7, белка-коллагена курицы – 51. Число и расположение интронов специфичны для каждого гена.

Раньше считали, что место каждого гена в молекуле нуклеиновой кислоты четко определено. Но в 60-х годах XX века было выявлено перемещение фрагментов ДНК из одного участка в другой. Если такой фрагмент оказывается в кодирующей последовательности нуклеотидов определенного гена, то этот ген теряет свою функцию. Если же такой «прыгающий» ген оказывается рядом с другим, то функции одного или обоих могут измениться.

Считают, что в геноме закодированы особые программы, которые определяют перестройку отдельных участков молекулы ДНК. В определенных случаях такая самоперестройка молекул ДНК может иметь для организма важное значение. Например, молекулярный анализ показал, что разнообразие антител у млекопитающих и человека может быть достигнуто именно вследствие этого явления.

Поврежденные молекулы ДНК способны к восстановлению. При этом при участии специфических ферментов поврежденные участки ДНК вырезаются, а на их местах с помощью другого фермента (ДНК-полимеразы) восстанавливается соответствующая последовательность нуклеотидов. Еще один фермент помогает встроить восстановленный фрагмент в цепь ДНК. Этот процесс назвали ***репарацией*** (от лат. *репаратион* – восстановление).

Ключевые термины и понятия. ***Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), принцип комплементарности, гены структурные и регуляторные, экзоны и интроны.***



Кратко о главном

- Молекула ДНК состоит из двух цепей нуклеотидов, которые соединяются между собой с помощью водородных связей. Четкое соответствие нуклеотидов в цепях ДНК, между которыми возникают водородные связи, называется комплементарность.
- Молекулы ДНК способны к денатурации, ренатурации и деструкции, а также к репликации (самоудвоению).
- Основные функции ДНК – это кодирование, сохранение наследственной информации, передача ее дочерним клеткам при размножении.
- Гены подразделяют на структурные, кодирующие строение белков и нуклеиновых кислот, и регуляторные, служащие местом присоединения ферментов и других биологически активных веществ, влияющих на активность структурных генов.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие особенности строения ДНК?* **2.** *Что общего и отличного в строении молекул ДНК и РНК?* **3.** *Какова пространственная структура молекулы ДНК? Кто ее предложил?* **4.** *В чем заключаются функции ДНК в клетке?* **5.** *Дайте определение понятиям «ген» и «геном». Какие известны разновидности генов?* **6.** *Каково строение структурных генов эукариот?*

Подумайте. *Какие связи будут в первую очередь разрушаться при воздействии на молекулу ДНК разных факторов: между соседними нуклеотидами, входящими в состав одной цепи, или между комплементарными нуклеотидами разных цепей? Ответ обоснуйте.*

§ 13. БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА. ВИТАМИНЫ, ГОРМОНЫ, ФАКТОРЫ РОСТА

Вспомните: *какие соединения называют биологически активными? Что такое ферменты, витамины и гормоны, железы внутренней секреции? Какова их роль в организме? Каковы строение и функции синапсов?*

• **Биологически активные вещества** – это органические соединения разной химической природы, способные влиять на обмен веществ и превращения энергии в живых существах. Одни из них регулируют процессы метаболизма, роста и развития организмов, другие служат средством влияния на особей своего или других видов. К биологически активным веществам относят ферменты, витамины, гормоны, нейрогормоны, факторы роста, фитогормоны, антибиотики и т. п. (рис. 13.1).

• **Витамины** – биологически активные низкомолекулярные органические соединения различной химической природы. Они необходимы для обеспечения процессов жизнедеятельности всех живых организмов. Витамины участвуют в обмене веществ и превращении энергии в основном в качестве компонентов сложных ферментов. Суточная потребность человека в витаминах составляет миллиграммы, а иногда и микрограммы.

Этот класс органических соединений открыл в 1880 г. русский врач М.И. Лунин (1853–1937), а сам термин, который означает «необходимый

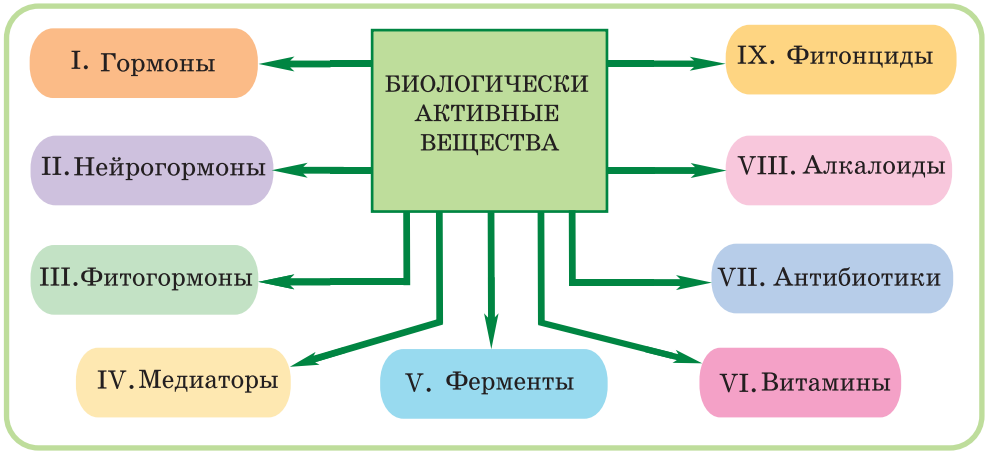


Рис. 13.1. Биологически активные вещества, которые вырабатывают бактерии (V, VI, VII), грибы (III, V, VI, VII), растения (III, V, VI, VIII, IX) и животные (I, II, IV, V, VI)

для жизни амин», предложил в 1912 г. польский биохимик К. Функ (1884–1967), поскольку исследованный им витамин (B_1) имел в своем составе аминогруппу. Теперь известно приблизительно 20 разных витаминов и витаминоподобных соединений, которые по-разному влияют на организмы. Следует отметить, что не все они имеют в своем составе аминогруппу.

Витамины являются жизненно необходимыми компонентами сбалансированного питания человека и животных. Их основной источник – продукты питания, в первую очередь растительного происхождения. Но некоторые витамины содержатся лишь в продуктах животного происхождения (например, витамины А и D). Некоторые витамины в незначительном количестве синтезируются в организмах человека и животных из веществ-предшественников – провитаминов (так, витамин D образуется в коже человека под воздействием ультрафиолетового облучения) или симбиотическими микроорганизмами (в частности, в кишечнике человека бактерии синтезируют витамины К, B_6, B_{12}).

Когда еще не были известны химическое строение и механизм действия витаминов, их помечали буквами латинского алфавита – А, В, С, D и др. Теперь применяют и химические названия (например, витамин С также называют аскорбиновой кислотой).

Витамины, в зависимости от того, растворяются они в воде или жирах, делят на две группы: *водорастворимые* и *жирорастворимые*. К водорастворимым относятся витамины групп В, С и др., а к жирорастворимым – групп А, D, К, витамин Е.

При недостатке определенных витаминов, их полном отсутствии, а также избытке развиваются опасные для здоровья человека и животных заболевания. Например, при недостатке определенных витаминов в организме возникает ***гиповитаминоз***, при их полном отсутствии – ***авитаминоз***, а при избытке – ***гипервитаминоз*** (например, избыточное содержание витамина А в организме человека, превышающее норму в 20–30 раз, вызывает отравление). Явления гипо- и авитаминоза могут проявляться и в результате нарушения обмена веществ. Это так называемая вторичная

витаминная недостаточность, связанная с невосприятием организмом определенных витаминов.

К другой группе биологически активных веществ, которые играют важную роль в обеспечении нормальной жизнедеятельности организмов человека и животных, относятся гормоны и нейрогормоны.

• **Гормоны** – органические вещества, способные включаться в циклы биохимических реакций и регулировать процессы обмена веществ и превращений энергии. Их производят железы внутренней и смешанной секреции человека и животных. Как вы помните из прошлогоднего курса биологии, такие железы еще называют эндокринными.

В особенных нервных (нейросекреторных) клетках синтезируются гормоноподобные вещества – **нейромедиаторы** (адреналин, норадреналин) и нейрогормоны (окситоцин, вазопрессин) и др. **Нейрогормоны** синтезируются в некоторых нервных клетках, они влияют на организм так же, как и гормоны. И гормоны, и нейрогормоны поступают в кровь или другие жидкости тела (например, полостную жидкость беспозвоночных животных), которые транспортируют их к разным тканям и органам. Эти биологически активные вещества участвуют в регуляции обмена веществ, деятельности эндокринных желез, поддержании тонуса гладких мышц, гомеостаза внутренней среды организма и т. п.

По химической природе гормоны и нейрогормоны подразделяют на три основные группы:

- белковой природы (гормон роста – соматотропин, инсулин, глюкагон);
- производные аминокислот (адреналин, норадреналин, тироксин);
- липидной природы (половые гормоны, кортикостероиды).

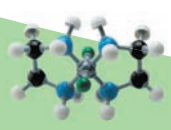
Под контролем гормонов и нейрогормонов происходят все этапы индивидуального развития человека и животных и все процессы их жизнедеятельности. Эти соединения обеспечивают приспособления к изменениям условий внешней и внутренней среды, поддержание постоянства внутренней среды организма, регуляцию активности ферментов. Если определенные гормоны производятся в недостаточном количестве или не производятся вообще, наблюдают нарушения развития и обмена веществ разной степени тяжести. Избыточная выработка определенных гормонов также негативно влияет на организм. Вы помните, что при недостаточном образовании в организме ребенка гормона роста развивается карликовость, а при избыточном – гигантизм.

По сравнению с работой нервной системы, которая обеспечивает передачу сигналов на значительные расстояния за короткое время, действие гормонов отличается меньшей скоростью, но производит более длительный эффект.

Характерные особенности действия гормонов и нейрогормонов – дистанционность, высокие биологическая активность и специфичность действия, короткое время существования.

Дистанционность действия: гормоны и нейрогормоны с током крови или других жидкостей могут перемещаться на значительные расстояния от мест своего биосинтеза к клеткам-мишеням, на деятельность которых они влияют.

Высокая биологическая активность состоит в том, что эти соединения влияют на клетки, ткани и органы в незначительных концентрациях.



Высокая специфичность действия заключается в том, что гормоны и нейрогормоны влияют лишь на определенные биохимические процессы, происходящие в тех или иных тканях и органах. Гормоны «узнают» клетки-мишени, которые имеют особенные молекулы-рецепторы. Гормоны разной химической природы по-разному взаимодействуют с клетками-мишенями. Стероидные гормоны могут достаточно легко проникать через мембраны внутрь клетки. В цитоплазме они образуют комплексные соединения с белками-рецепторами. Дальше этот комплекс проникает в ядро клетки, связывается с молекулой ДНК и активизирует один или несколько генов, что вызывает синтез необходимых соединений (ферментов и др.).

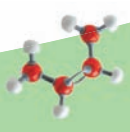
Гормоны белковой природы или производные аминокислот связываются с рецепторами, расположенными на поверхности мембран клеток-мишеней. Образованный комплекс активирует особый фермент, связанный с внутренней поверхностью клеточной мембраны. Под воздействием этого фермента в цитоплазме клетки запускается цепь биохимических реакций. Как следствие могут изменяться интенсивность обмена веществ, частота сокращений сердечной мышцы, напряжение неисчерченных мышечных волокон и т. п. Некоторые клетки одновременно обладают рецепторами к различным гормонам, то есть находятся под множественным гормональным контролем. Кроме того, у клеток разных типов есть рецепторы к одному и тому же гормону, что обеспечивает его множественное действие.

Для гормонов характерно **относительно короткое время существования** в организме: несколько минут или часов, после чего вещество теряет свою активность под воздействием специфического фермента.

В отличие от нервной системы, которая обеспечивает передачу сигнала на значительные расстояния за короткое время, работа гормональной системы характеризируется меньшей скоростью, однако вызванные ею эффекты более продолжительны.

• **Медиаторы** – биологически активные вещества, которые обеспечивают межклеточные взаимодействия в нервной системе. В частности, они участвуют в передаче нервного импульса между двумя нейронами или между нейроном и мышечной клеткой. Их производят нервные и рецепторные клетки. Молекулы медиатора выделяются в пространство синаптической щели. Интенсивность их выделения регулируют разные концентрации катиона Ca^{2+}. Разные медиаторы могут осуществлять различные синаптические эффекты, например, ускорять или замедлять прохождение нервного импульса через синапс. Роль медиаторов могут исполнять различные вещества: ацетилхолин, норадреналин, адреналин, серотонин и др.

• **Факторы роста клетки** представляют собой полипептиды с молекулярной массой $5 \cdot 10^3 – 10^4$ дальтон. Подобно гормонам, они стимулируют или подавляют деление, дифференциацию, подвижность, метаболизм, другие проявления жизнедеятельности и гибель клеток. В отличие от гормонов, факторы роста продуцируют неспециализированные клетки, которые можно встретить во всех тканях. Эти факторы поступают в кровь и попадают в другие клетки. Факторы роста взаимодействуют с рецепторными молекулами в составе клеточных мембран.



Если нервно-гуморальный контроль над развитием и ростом клеток утерян или нарушено взаимодействие между разными клетками, то это может повлечь развитие злокачественных опухолей.

Один фактор роста может влиять на разные клетки, а различные – на одну. Фактор роста, синтезированный в клетке, может не выделяться наружу и влиять на ее функции. Один и тот же фактор роста может по-разному влиять на клетки разных типов: например, стимулировать дифференциацию одних и тормозить деление других.

На уровень синтеза факторов роста влияют гормон роста, инсулин, половые гормоны и др. В частности, инсулин и половые гормоны повышают уровень выработки факторов роста клетками печени, а глюкокортикоиды (гормоны коры надпочечников), напротив, его снижают.

Ключевые термины и понятия. ***Биологически активные вещества, витамины, гормоны, нейрогормоны, медиаторы, факторы роста.***

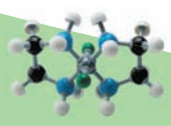
Кратко о главном

- Биологически активные вещества – это органические соединения разной химической природы, способные влиять на обмен веществ и превращение энергии в живых существах.
- Витамины – биологически активные низкомолекулярные органические соединения, которые участвуют в обмене веществ и превращении энергии в основном как компоненты сложных ферментов.
- Гормоны – органические вещества, способные включаться в циклы биохимических реакций и регулировать процессы обмена веществ и превращения энергии. Их производят эндокринные железы человека и животных. Нейрогормоны, которые секретируются некоторыми нервными клетками, влияют на организм так же, как и гормоны.
- Медиаторы – биологически активные вещества, которые обеспечивают межклеточные взаимодействия в нервной системе между нервными окончаниями и мышечными клетками и т. д.
- Факторы роста – это полипептиды, производимые клетками разных тканей. Подобно гормонам они стимулируют или подавляют деление, дифференциацию, подвижность, метаболизм, другие проявления жизнедеятельности и гибель клеток.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие группы биологически активных веществ вам известны?* **2.** *Почему при недостатке, отсутствии или избытке определенных витаминов в организме человека и животных нарушается обмен веществ?* **3.** *Какие основные свойства гормонов и нейрогормонов?* **4.** *Какой может быть химическая природа гормонов и нейрогормонов?* **5.** *Какой механизм влияния разных гормонов на клетки?* **6.** *Что такое медиаторы? Какова их роль в организме?*

Подумайте. *Как можно определить влияние на организм человека или животного недостатка определенного витамина?*



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ИХ СВОЙСТВ



Цель: *ознакомиться с лабораторными методами биохимического анализа.*

Оборудование и материалы: *штатив с пробирками, вытяжной шкаф, градуированные пипетки, капельницы, стеклянные палочки, водяная баня, часы; дистиллированная вода, концентрированная соляная кислота, раствор Люголя (1 г йода и 2 г йодистого калия растворяют в 15 мл дистиллированной воды и затем разбавляют водой до объема 300 мл), подсолнечное масло, этиловый спирт, бензол; водные 10 %-е растворы питьевой соды и гидроксида натрия, а также 1 %-е растворы сульфата меди и крахмала.*

Задание 1. *Обнаружьте полисахарид крахмал в реакции с йодом, а также моносахарид глюкозу в реакции с окисью меди при расщеплении крахмала.*

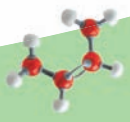
Ход работы

1. Пронумеруйте две пробирки и внесите в каждую по 2 мл раствора крахмала.
2. В первую пробирку добавьте 1–2 капли раствора Люголя, перемешайте стеклянной палочкой, нагрейте до исчезновения сине-фиолетовой окраски, а затем опять охладите до ее появления.
3. Во вторую пробирку добавьте 2–3 капли концентрированной соляной кислоты, прокипятите ее содержимое на водяной бане в течение 15 мин, после чего добавьте 2 мл раствора гидроксида натрия, 5 капель раствора сульфата меди и опять нагрейте смесь до кипения.
4. Проследите за образованием гидроксида меди желтого цвета или гемоксида меди красного цвета вследствие взаимодействия глюкозы, которая образовалась при расщеплении крахмала, с сульфатом меди.
5. Результаты опытов запишите в тетрадь. Сделайте выводы.

Задание 2. *Изучите растворимость жиров в различных растворителях.*

Ход работы

1. Пронумеруйте три пробирки и добавьте в них по 0,2 мл подсолнечного масла.
2. В пробирку № 1 добавьте 5 мл дистиллированной воды, в пробирки № 2, и 3 – соответственно по 5 мл этилового спирта и бензола.
3. Содержимое всех пробирок энергично перемешайте. В пробирке № 1 наблюдайте образование неустойчивой эмульсии с последующим быстрым разделением смеси на два слоя; в пробирке № 2 – образование мутного раствора в результате недостаточного растворения масла; раствор в пробирке № 3 почти прозрачный.
4. В пробирку № 1 добавьте еще 5 мл раствора соды и интенсивно перемешайте. Наблюдайте образование стойкой эмульсии.
5. Результаты опытов запишите в тетрадь. Сделайте выводы.





ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФЕРМЕНТОВ

Цель: *ознакомиться с действием ферментов на ход биохимических реакций.*

Оборудование и материалы: *штатив с пробирками, градуированные пипетки, капельницы, колба, стеклянные палочки, водяная баня, раствор Люголя, дистиллированная вода, стакан со льдом, 0,2 %-й водный раствор крахмала.*

Задание 1. *Изучите действие фермента слюны (амилазы) на крахмал.*

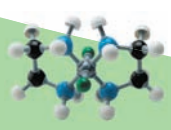
Ход работы

1. Ополосните ротовую полость 2–3 раза питьевой водой, потом прополощите ее 50 мл дистиллированной воды в течение 3–5 минут, после чего соберите образованный раствор слюны в колбу.
2. Пронумеруйте две пробирки и внесите в каждую по 2 мл раствора крахмала.
3. В пробирку № 1 добавьте 0,5 мл раствора слюны, который содержит фермент амилазу, а в пробирку № 2 – 0,5 мл дистиллированной воды.
4. Пробирки № 1 и 2 после перемешивания выдержите в течение 15 мин на водяной бане при температуре +38 °С (она оптимальна для действия амилазы). После этого добавьте к содержимому обеих пробирок по 2–3 капли раствора Люголя и взбалтывайте до появления сине-фиолетовой окраски раствора.
5. В пробирке со слюной наблюдайте обесцвечивание раствора в результате расщепления крахмала ферментом слюны амилазой, где слюны не было – сохраняется сине-фиолетовая окраска.
6. Результаты опытов запишите в тетрадь. Сделайте выводы.

Задание 2. *Исследуйте влияние температуры на активность фермента слюны (амилазы) в реакции с крахмалом.*

Ход работы

1. Пронумеруйте четыре пробирки и во все добавьте по 2 мл раствора крахмала и по 0,5 мл раствора слюны.
2. Пробирку № 1 оставьте при комнатной температуре; № 2 – выдержите на водяной бане при температуре +38 °С; № 3 – кипятите на водяной бане; № 4 – поставьте в стакан со льдом.
3. Через 10–15 мин выньте пробирки из водяных бань и стакана со льдом. Потом во все четыре пробирки добавьте по 2–3 капли раствора Люголя. В пробирке № 1 наблюдайте образование промежуточных продуктов расщепления крахмала, которые при реакции с йодом имеют желтый, красный или фиолетовый цвет; № 2 содержит прозрачный раствор, который свидетельствует о полном расщеплении крахмала амилазой при оптимальной для этого фермента температуре; № 3 и 4 – наблюдайте позитивную реакцию на крахмал (растворы приобретают сине-фиолетовую окраску), поскольку амилаза становится неактивной в результате кипячения или охлаждения.
4. Результаты опытов запишите в тетрадь. Сделайте выводы.



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

РЕШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗАДАЧ НА ТРАНСКРИПЦИЮ И РЕПЛИКАЦИЮ

Задача 1. Исследования показали, что 24 % общего количества нуклеотидов данной молекулы иРНК приходится на гуанин (Г), 38 % – на урацил (У), 22 % – на цитозин (Ц) и 16 % – на аденин (А). Определите процентное содержание азотистых оснований молекулы ДНК, на одной из цепей которой была синтезирована данная молекула иРНК.

Пример решения.

Исходя из принципа комплементарности, процентное содержание азотистых оснований цепи ДНК, на которой была синтезирована молекула иРНК, будет следующее: цитозин – 22 %, аденин – 16 %, гуанин – 24 %, тимин – 38 %. Поскольку молекула ДНК состоит из двух цепей, то процентное содержание азотистых оснований второй цепи будет таким: цитозин – 24 %, аденин – 38 %, гуанин – 22 %, тимин – 16 %. Таким образом, двойная молекула ДНК будет содержать: цитозина – 23 %, аденина – 27 %, гуанина – 23 %, тимина – 27 %.

Задача 2. Одна из цепей молекулы ДНК имеет такой вид: ГЦГ ГГТ ГГА ТАА ЦТА ГЦЦ. Какой вид будет иметь вторая цепь этой молекулы ДНК, синтезированная во время самоудвоения?

Задача 3. Молекула иРНК состоит из следующей последовательности нуклеотидов: УУЦ ГАА ЦГА УУГ УЦГ ЦЦГ ГАУ. Какое строение молекулы ДНК, на одной из цепей которой была синтезирована данная молекула иРНК?

Задача 4. Цепь молекулы ДНК содержит 34 % гуанина, 26 % цитозина, 25 % тимина и 15 % аденина. Какое процентное содержание нуклеотидов молекулы иРНК, синтезированнной на этой цепи молекулы ДНК?

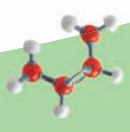
РЕШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗАДАЧ НА ТРАНСЛЯЦИЮ

Задача 5. Известно, что молекула иРНК состоит из 1535 нуклеотидов. Из скольких аминокислот будут состоять белки, которые кодируются этой молекулой иРНК, если известно, что среди ее триплетов есть один триплет УАА и два – УГА (эти триплеты не кодируют аминокислот)?

Пример решения.

Поскольку молекула иРНК состоит из 1535 нуклеотидов, то количество триплетов будет составлять 511. Два нуклеотида никакой генетической информации не несут. Также не несут генетической информации триплеты УАА и УГА (это так называемые стоп-кодоны, сигнализирующие о прекращении синтеза белковой молекулы). Таким образом, количество триплетов, которые кодируют аминокислоты, будет составлять 508. Следовательно, синтезированная молекула белка будет состоять из 508 аминокислот.

Задача 6. Сколько аминокислот кодирует молекула иРНК, если она синтезирована на участке молекулы ДНК, состоящей из таких нуклеотидов: ААГ ТЦА ГЦА ЦТЦ ЦАА АТТ?



Пример решения.

Поскольку молекула иРНК синтезируется по принципу комплементарности, то последовательность нуклеотидов, которые составляют молекулу иРНК, будет следующая: УУЦ АЦУ ЦГУ ГАЦ ГУУ УАА. Таким образом, она будет состоять из 6 триплетов, из которых последний (УАА) не кодирует ни одной аминокислоты.

Задача 7. Какой последовательностью нуклеотидов молекулы иРНК кодируется участок молекулы белка, если он имеет такое строение: СЕРИН – ГЛИЦИН – АСПАРАГИН – ЦИСТЕИН – СЕРИН – ЛИЗИН – ВАЛИН – АРГИНИН?

Задача 8. Какой последовательностью нуклеотидов молекулы ДНК кодируется участок молекулы белка, если он имеет такое строение: ЛИЗИН – ГЛИЦИН – ЦИСТЕИН – ГЛУТАМИН – АСПАРАГИН – ТРЕОНИН?

Задача 9. Какая последовательность аминокислот кодируется такой последовательностью нуклеотидов ДНК: АГЦАТТЦЦАГТЦТГЦАТГ? Какой станет последовательность аминокислот, если в результате мутации из этой молекулы выпадет первый нуклеотид?

РЕШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗАДАЧ ПО РЕПАРАЦИИ

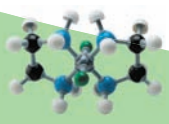
Задача 10. В результате действия повреждающего фактора изменилась одна из цепей молекулы ДНК. Обнаружьте участок, который испытал изменения, если неповрежденная цепочка молекулы ДНК имеет вид: ААТ АГЦ ТТА ЦЦТ АГЦ, а молекула иРНК, если бы она была синтезирована на измененной цепи ДНК, имела бы вид: УУА ГГЦ УАЦ ГГА УЦГ. Установите последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК после репарации.

Задача 11. В результате действия повреждающего фактора изменилась одна из цепей молекулы ДНК. После этого молекула ДНК приобрела следующий вид (первой приведена цепь, которая не подверглась изменению):
АТТ ЦАТ ГГТ ЦГА
ТАЦ ТГГ ЦАА ГЦТ.
Установите измененный участок молекулы ДНК и процентное содержание нуклеотидов в молекуле ДНК после повреждения и после репарации.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ИНСТРУКЦИЯМИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ, СРЕДСТВ БЫТОВОЙ ХИМИИ. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ЭТИХ ВЕЩЕСТВ

Цель: *овладеть навыками ознакомления с инструкциями по использованию медицинских препаратов и средств бытовой химии для предотвращения несчастных случаев в быту. Рассмотреть и проанализировать опасности, которые представляют средства бытовой химии в случае неправильного их использования.*



Оборудование и материалы: *инструкции к самым распространенным медицинским препаратам, которые имеются в каждой домашней аптечке, инструкции к средствам бытовой химии, которые содержат кислоты, щелочи и летучие вещества.*

Ход работы

1. Объединитесь в группы. Одна группа изучает инструкции к медицинским препаратам, а другая – к средствам бытовой химии.
2. Подготовьте в составе своей группы короткое выступление по соответствующей теме по плану.

   Медицинские препараты:
   - самые распространенные компоненты домашней аптечки (лекарственные препараты, термометр);
   - вещества, входящие в состав лекарств и медицинского оборудования, способные вызвать острые и хронические отравления в случае передозировки или нарушения сроков хранения;
   - обоснование необходимости соблюдения рекомендаций по использованию лекарственного препарата и медицинского оборудования;
   - правила применения и хранения лекарственных препаратов и медицинского оборудования, перечень действий при повреждении ртутного термометра;
   - неотложная помощь при отравлении лекарственными препаратами.

   Средства бытовой химии:
   - самые распространенные средства бытовой химии (уксус, сода, средства для мойки посуды и ванн, стиральные порошки, клеи, краски, растворители и т. п.);
   - основные опасные действующие вещества, которые входят в их состав (кислоты, щелочи, фосфат и т. п.);
   - правила использования и хранения средств бытовой химии;
   - неотложная помощь в случае попадания на тело, в глаза и дыхательные пути химических веществ.
3. Сделайте обобщающие выводы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ОЦЕНКА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ПО ИХ СОСТАВУ

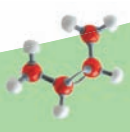
Цель: *научиться определять наличие белков, жиров, углеводов и пищевых примесей в продуктах питания.*

Материалы и оборудование: *химические колбы, пробирки, лейки, спиртовка (или газовая горелка), пробиркодержатель, пипетка, фарфоровая ступка с пестиком, промытый песок, марля, 10 %-й раствор NaOH, 1 %-й и 0,1 %-й растворы $CuSO_4$, куриное яйцо, сладкое печенье, подсолнечное масло, семена подсолнуха, этикетки нескольких пищевых продуктов.*

Ход работы

Задание I. *ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЛКОВ*

1. Подготовьте раствор белка куриного яйца. Для этого разбейте яйцо, отделите белок от желтка, белок залейте холодной водой. Полученный раствор профильтруйте через сложенную в несколько слоев марлю и налейте фильтрат в колбу № 1.



2. Фильтрат из колбы № 1 налейте в пробирку, заполнив ее объем на 25 %. К фильтрату добавляйте в количестве, равном его объему, 10 %-й раствор NaOH. Содержимое пробирки взболтайте и осторожно отдельными каплями добавляйте к нему 1 %-й раствор $CuSO_4$ до появления сине-фиолетовой окраски, которая указывает на наличие в растворе белков.
3. Сделайте выводы.

Задание II. *ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИРОВ*

1. Налейте несколько капель подсолнечного масла в пробирку и заполните ее водой. На поверхность воды всплывут капли жира.
2. На фильтровальную бумагу нанесите несколько капель масла. Обратите внимание на образование жирных пятен.
3. Раздавите на фильтровальной бумаге несколько семян подсолнечника, обратите внимание на образование жирных пятен.
4. Сделайте выводы.

Задание III. *ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕВОДОВ*

1. Сделайте экстракцию сахаров из сладостей. Для этого разотрите пестиком в фарфоровой ступке 2–3 ломтика сладкого печенья. Растертое печенье залейте небольшим количеством воды. Раствор тщательно размешайте и добавьте еще немного воды.
2. Полученный раствор профильтруйте через сложенную в несколько слоев марлю и налейте фильтрат в колбу № 2.
3. Перелейте фильтрат из колбы № 2 в пробирку, заполнив ее объем на 25 %, добавьте еще 3 мл 10 %-го раствора NaOH, 1–2 капли 0,1 %-го раствора $CuSO_4$ и немного песка (чтобы жидкость не выбрасывало из пробирки при закипании).
4. Пробирку с помощью пробиркодержателя нагрейте на пламени спиртовки (или газовой горелки) до кипения, направляя отверстие пробирки в сторону, где нет людей. При наличии сахаров раствор приобретает кирпично-красный цвет.
5. Сделайте выводы.

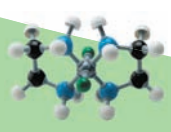
Задание IV. *ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРИМЕСЕЙ*

1. Проанализируйте содержание нескольких этикеток пищевых продуктов и определите, какие составляющие, кроме белков, жиров и углеводов, в них отмечены.
2. Найдите информацию об обнаруженных пищевых примесях относительно их химического состава, роли в соответствующем продукте и влияния на организм человека.
3. Сделайте выводы о целесообразности потребления продуктов с повышенным содержанием пищевых примесей.

ТЕСТ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

I. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРАВИЛЬНЫЙ

1. **Укажите название процесса восстановления естественной структуры белка после ее нарушения:** *а) деструкция; б) денатурация; в) ренатурация; г) биосинтез.*
2. **Назовите соединения, растворимые в воде:** *а) воск; б) глюкоза; в) крахмал; г) кератин.*



3. **Укажите соединения, при расщеплении которых выделяется больше всего энергии:** *а) липиды; б) углеводы; в) белки; г) нуклеиновые кислоты.*
4. **Назовите соединение, которое передает наследственную информацию от ядра к месту синтеза белков:** *а) ДНК; б) иРНК; в) рРНК; г) тРНК.*
5. **Укажите природу антител:** *а) белковая; б) липидная; в) углеводная; г) видоизменные нуклеиновые кислоты.*
6. **Укажите, чем обусловлена сигнальная функция белков:** *а) способностью к деструкции; б) способностью к денатурации и ренатурации; в) способностью к окислению; г) способностью к расщеплению без участия кислорода.*
7. **Укажите, как аминокислотные остатки соединяются в полипептидную цепь:** *а) благодаря водородным связям; б) благодаря ковалентным связям; в) благодаря гидрофобным взаимодействиям; г) благодаря ионным взаимодействиям.*
8. **Укажите, какой вид имеет вторичная структура белков:** *а) глобула; б) несколько соединенных между собой белковых молекул; в) спираль; г) цепь аминокислотных остатков.*
9. **Отметьте соединение, в состав которого входит нуклеотид с тимином:** *а) иРНК; б) ДНК; в) рРНК; г) тРНК.*

II. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ДВА ПРАВИЛЬНЫХ

1. **Назовите соединения, которые относятся к биополимерам:** *а) глюкоза; б) иРНК; в) жиры; г) ферменты.*
2. **Укажите соединения, в состав которых входит нуклеотид с урацилом:** *а) белки; б) иРНК; в) тРНК; г) ДНК.*
3. **Укажите соединения, которые в клетке выполняют энергетическую функцию:** *а) вода; б) углеводы; в) минеральные соли; г) липиды.*
4. **Укажите, чем определяется активность сложных ферментов**: *а) расположением в клетке; б) количеством аминокислотных остатков; в) пространственной структурой; г) наличием небелковой части.*
5. **Укажите, какие соединения могут служить составной частью сложных ферментов:** *а) витамины; б) моносахариды; в) нуклеотиды; г) ионы металлов.*
6. **Укажите структуры, в состав которых входят белки:** *а) клеточные мембраны; б) клеточные стенки растений; в) сухожилия; г) клеточные стенки грибов.*

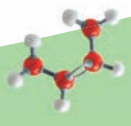
III. ЗАДАНИЯ НА УСТАНОВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

1. **Установите соответствие между биополимерами и их мономерами.**

Полимеры	Мономеры
А Полисахариды Б Белки В ДНК Г РНК	1 Жирные кислоты 2 Нуклеотиды с тимином 3 Аминокислоты 4 Нуклеотиды с урацилом 5 Моносахариды

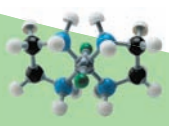
2. **Установите соответствие между типами нуклеиновых кислот и их функциями.**

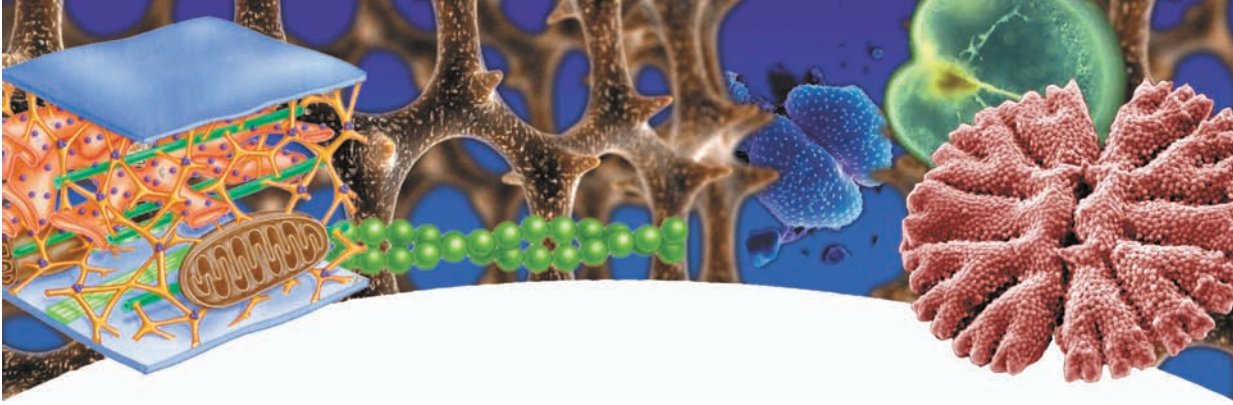
Типы нуклеиновых кислот	Функции нуклеиновых кислот
А ДНК Б иРНК В тРНК Г рРНК	1 Структурная: входят в состав субъединиц рибосом 2 Энергетическая 3 Кодирование, хранение наследственной информации 4 Транспорт аминокислотных остатков к месту синтеза белковой молекулы 5 Передача наследственной информации от ядра к месту синтеза белковой молекулы



IV. ВОПРОСЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

1. *Что общего и отличного между процессами деструкции и денатурации?*
2. *Почему ведущая роль в процессах превращения энергии в организмах принадлежит углеводам, хотя при расщеплении 1 г жиров энергии выделяется вдвое больше?*
3. *Какая существует связь между структурой молекул воды и ее свойствами?*
4. *Что определяет специфичность действия ферментов?*
5. *Как структура ДНК связана с ее свойствами и функциями в живых организмах?*
6. *Что общего и отличного между структурой АТФ и разными типами нуклеиновых кислот?*
7. *Почему биохимические процессы, происходящие в организмах, нуждаются в участии ферментов?*
8. *Какие закономерности количественного содержания остатков азотистых оснований в молекуле ДНК дали ключ для установления ее пространственной структуры?*





РАЗДЕЛ II. КЛЕТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ

ТЕМА 1. ОБЩИЙ ПЛАН СТРОЕНИЯ КЛЕТКИ. ПОВЕРХНОСТНЫЙ АППАРАТ. ЯДРО

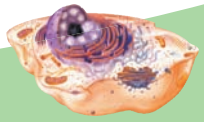
- *Особенности клеточного уровня организации живой материи;*
- *история изучения клетки;*
- *основные методы изучения клеток;*
- *типы организации клеток;*
- *строение и функции поверхностного аппарата клеток;*
- *строение и функции ядра.*

§ 14. КЛЕТКА – ОСНОВНАЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА ОРГАНИЗМОВ. МЕТОДЫ ЦИТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вспомните: *что изучает цитология? Какое строение светового микроскопа и в чем заключаются правила работы с ним? Какие составляющие части клетки вам известны? Что такое радиоактивные изотопы?*

Вы помните, что живые существа состоят из клеток. Исключение представляют вирусы, которые большинство ученых считает неклеточной формой жизни.

• **Клетка – основная структурно-функциональная единица всех организмов, элементарная биологическая система.** Это означает, что на клеточном уровне организации живой материи полностью проявляются все основные свойства живого: обмен веществ и преобразование энергии, способность к росту, размножению, движению, сохранению и передаче наследственной информации потомству и т. п.



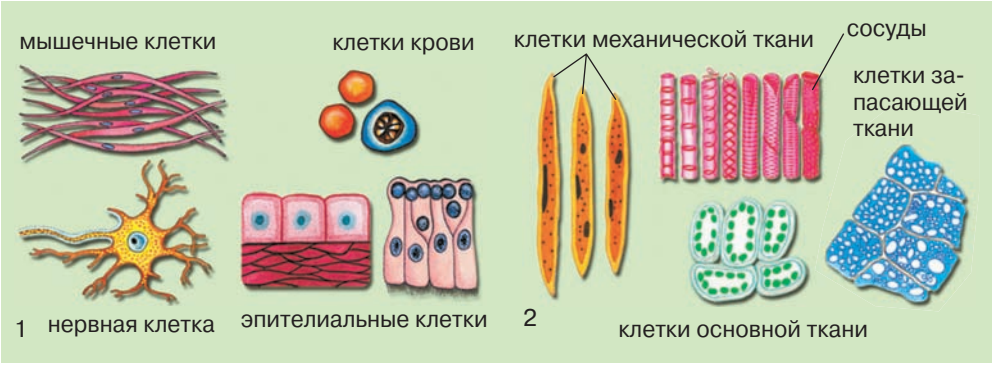


Рис. 14.1. Разнообразие клеток животных (1) и растений (2)

Сегодня мы начинаем экскурсию в удивительный мир клетки, мир, существующий в каждом из нас. Ведь организм человека, как и большинства животных, состоит из нескольких сотен разновидностей клеток (рис. 14.1, 1). Значительное многообразие клеток присуще также и растениям (рис. 14.1, 2).

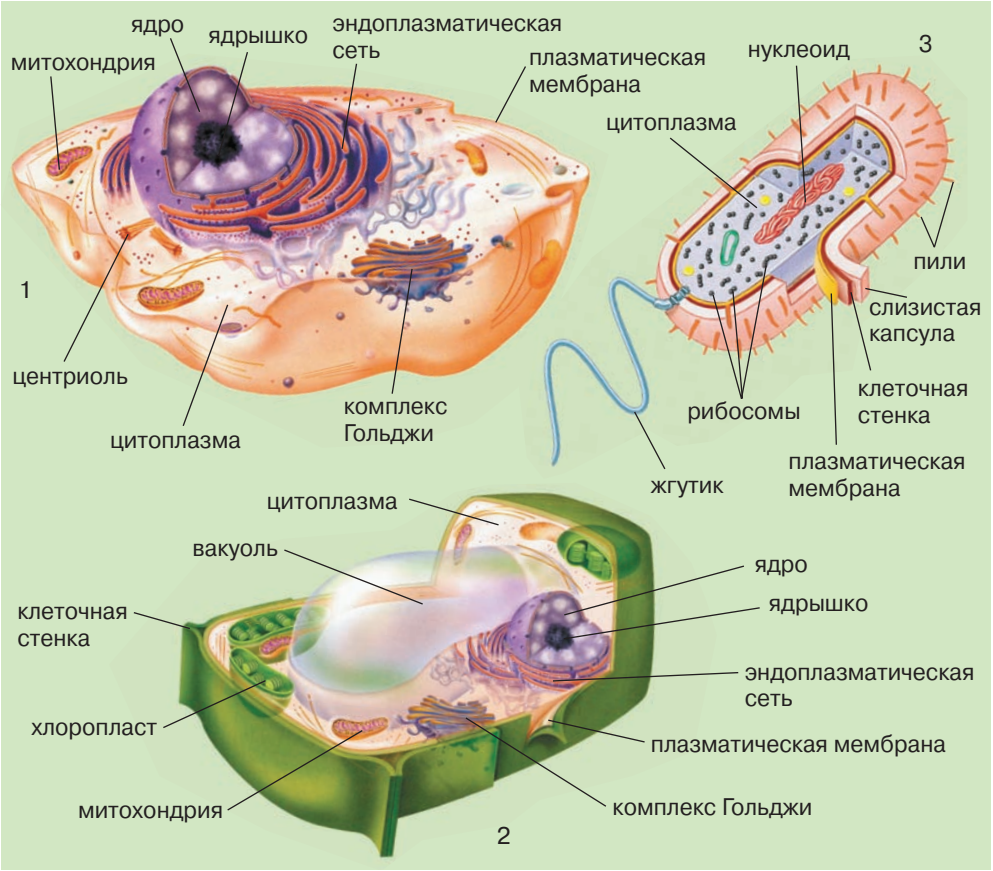


Рис. 14.2. Строение клеток: животной (1); растительной (2); бактериальной (3)

• **Организация клеток.** Несмотря на многообразие форм, организация клеток всех живых организмов подчинена единым закономерностям. Так, все клетки состоят из поверхностного аппарата и цитоплазмы. В зависимости от наличия ядра все организмы делят на два надцарства: Прокариоты и Эукариоты. Клетки прокариот, кроме того, что не имеют ядра, еще и довольно просто организованы. Клетки эукариот – грибов, растений и животных – организованы сложнее и обязательно имеют ядро (*рассмотрите рисунок 14.2 и определите, какие структуры общие для разных клеток*).

Вспомните, особенностями строения клеток растений и грибов, в первую очередь, является наличие клеточной стенки. Благодаря этому форма клеток этих организмов более или менее постоянна. Клетки животных не имеют клеточной стенки, поэтому многие из них могут менять свою форму. В клетках различных представителей эукариот встречаются разные типы вакуолей. Например, в клетках растений и грибов присутствуют вакуоли с клеточным соком. В клетках животных из нет, зато часто встречаются пищеварительные вакуоли, в которых переваривается пища. Клетки растений отличаются от клеток грибов и животных наличием хлоропластов. Хотя эти органеллы имеются у некоторых одноклеточных животных, например у эвглены зеленой.

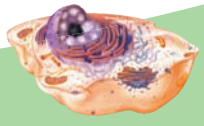
Внутреннее содержимое каждой клетки окружает ***поверхностный аппарат***. В его состав входят плазматическая мембрана, надмембранные и подмембранные структуры. Поверхностный аппарат клетки защищает ее внутреннее содержимое от неблагоприятных влияний окружающей среды, обеспечивает обмен веществами и энергией между клеткой и окружающей средой.

Внутренняя среда клетки – это ***цитоплазма*** (от греч. *китос* – клетка и *плазма* – вылепленное). В ее состав входят разные органическое и неорганическое соединения, а также такие компоненты клетки, как органеллы и включения. Цитоплазма при помощи внутриклеточных мембран разделена на отдельные функциональные участки.

В цитоплазме расположен внутриклеточный скелет, или ***цитоскелет*** (от греч. *китос* и *скелетон* – скелет) (см. рис. 16.3). Это система белковых образований – микротрубочек и микронитей, которая выполняет прежде всего опорную функцию. Кроме того, элементы цитоскелета участвуют в изменении формы и движении клетки, обеспечивают определенное расположение и перемещения органелл.

Органеллы (от греч. *органон* – орган, инструмент) – постоянные клеточные структуры (*еще раз взгляните на рисунок 14.2 и вспомните, какие органеллы клеток вам известны из предыдущих курсов биологии и каковы их функции*). Каждая из органелл обеспечивает соответствующие процессы жизнедеятельности клетки (питание, движение, синтез определенных соединений, хранение и передачу наследственной информации и т. п.). Одни органеллы ограничены одной мембраной (вакуоли, комплекс Гольджи, эндоплазматическая сеть, лизосомы), другие – двумя (хлоропласты, митохондрии, ядро) или вообще не имеют мембранной оболочки (клеточный центр, рибосомы, микротрубочки, микронити). Особенности строения каждой органеллы тесно связаны с ее функциями.

В отличие от органелл, ***клеточные включения*** – непостоянные компоненты клетки. Они могут исчезать и снова появляться в процессе ее жизнедеятельности. Включения – это запасные вещества или конечные продукты обмена веществ.



• **Основные этапы исследования клеток.** Вы уже знаете, что строение и процессы жизнедеятельности клетки изучает наука ***цитология***. Тот из вас, кто внимательно прочел «Очерк об истории развития биологической науки» (с. 7), вспомнит фамилии ученых, сделавших свой вклад в развитие биологии. Проследим хронологию основных событий в этой области.

1665 г.	**Роберт Гук** с помощью собственноручно сконструированного микроскопа рассмотрел оболочки клеток пробки и предложил термин «клетка»
1702 г.	**Антони ван Левенгук** также с помощью микроскопов собственной конструкции открыл бактерий и одноклеточных животных (инфузорий и др.), описал эритроциты и сперматозоиды
1828 г.	**Роберт Броун** открыл ядро в клетках растений, а в 1833 г. предложил само название «ядро»
1830 г.	**Ян Евангелист Пуркине** описал ядро в яйцеклетках курицы
1838 г.	**Теодор Шванн**, опираясь на труды **Матиаса Шлейдена**, сформулировал положения клеточной теории, основные из которых: все организмы состоят из клеток; клетки животных и растений сходны по строению и химическому составу
1858 г.	**Рудольф Вирхов** доказал, что клетки образуются не из бесструктурного межклеточного вещества, как считалось раньше, а в результате размножения («всякая клетка – из клетки»)
1869 г.	**Фредерик Мишер** впервые выделил из ядра клетки нуклеиновые кислоты
1880 г.	**Вальтер Флеминг** открыл и описал процесс митоза в клетках личинок земноводных
1882 г.	**Илья Мечников** открыл явление фагоцитоза у лейкоцитов и связал с этим защитные свойства организма
1894 г.	**Рихард Альтман** под названием биобластов описал митохондрии (название «митохондрии» в 1897 г. предложил К. Бенда)
1898 г.	**Камилло Гольджи** описал органеллу, которую со временем назвали в его честь «комплексом Гольджи»
1945 г.	**Альберт Клод** и **Кейт Портер** открыли эндоплазматическую сеть
1949 г.	**Кристиан де Дюв** описал лизосомы
1952 г.	**Фритьоф Сьостранд** и **Джорж Пелед** установили внутреннее строение митохондрий
1954 г.	**Джорж Пелед** открыл рибосомы, а в 1956 г. он выяснил назначение зернистой эндоплазматической сети
1956 г.	**Филипп Сиекевитц** и **Джорж Пелед** впервые выделили рибосомы из клетки





1962 г.	**Маршалл Ниренберг**, **Северо Очоа** и **Хара Гобинд Хорана** расшифровали генетический код
1966 г.	**Джонатан Сингер** предложил «жидкостно-мозаичную» модель плазматической мембраны
1967 г.	**Эдвин Тейлор** выяснил роль микротрубочек в митотическом делении клетки
1971 г.	**Элл Сазерленд** был удостоен Нобелевской премии за исследования механизмов транспорта веществ через плазматическую мембрану
1974 г.	**Кристиан де Дюв**, **Альберт Клод** и **Джорж Пелед** получили Нобелевскую премию за выяснение морфофункциональных особенностей молекулярных структур клетки



Современные цитологические исследования направлены прежде всего на изучение наименьших органелл и структур. Ведь усовершенствованные увеличительные приборы и новейшие технологии открывают новые перспективы перед исследователями. Ныне все больше развиваются исследования в областях клеточной инженерии, цитотехнологий и т. п.

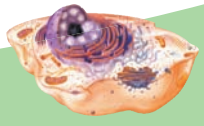
• **Методы исследования клеток.** Первым прибором, который позволил изучать клетки, был световой (оптический) микроскоп. Методы исследований, которые осуществляют с его помощью, называют ***световой микроскопией***.

Метод световой микроскопии основан на том, что через прозрачный или полупрозрачный объект исследования проходят лучи света, которые затем попадают в систему линз объектива и окуляра (рис. 14.3, 1). Эти линзы увеличивают объект исследования, при этом кратность увеличения можно определить как произведение увеличений объектива и окуляра. Например, если линзы окуляра обеспечивают увеличение в 10 раз, а объектива – в 40, то общее увеличение объекта исследований будет 400-кратное. Современные световые микроскопы могут обеспечивать увеличение до 2–3 тыс. раз. Усовершенствовать навыки работы со световым микроскопом вы сможете во время выполнения лабораторной работы № 3 (*см. лабораторный практикум, с. 108*).

Клеточные структуры наименьших размеров (мембраны и т. п.) были открыты и изучены при помощи электронного микроскопа, изобретенного в первой половине XX века. Электронный микроскоп способен увеличивать изображение объектов исследования в 500 тыс. раз и больше.

Конструкция электронного микроскопа несколько напоминает конструкцию светового, но вместо лучей света в нем применяют поток электронов, которые движутся в магнитном поле (рис. 14.3, 2). Роль линз при этом выполняют электромагниты, способные изменять направление движения электронов, собирать их в пучок (фокусировать) и направлять его на объект исследования.

Часть электронов, проходя через объект исследования, может отражаться, рассеиваться, поглощаться, взаимодействовать с объектом или проходить сквозь него без изменений. Пройдя через исследуемый объект, электроны попадают на люминесцентный экран, вызывая его неравно-



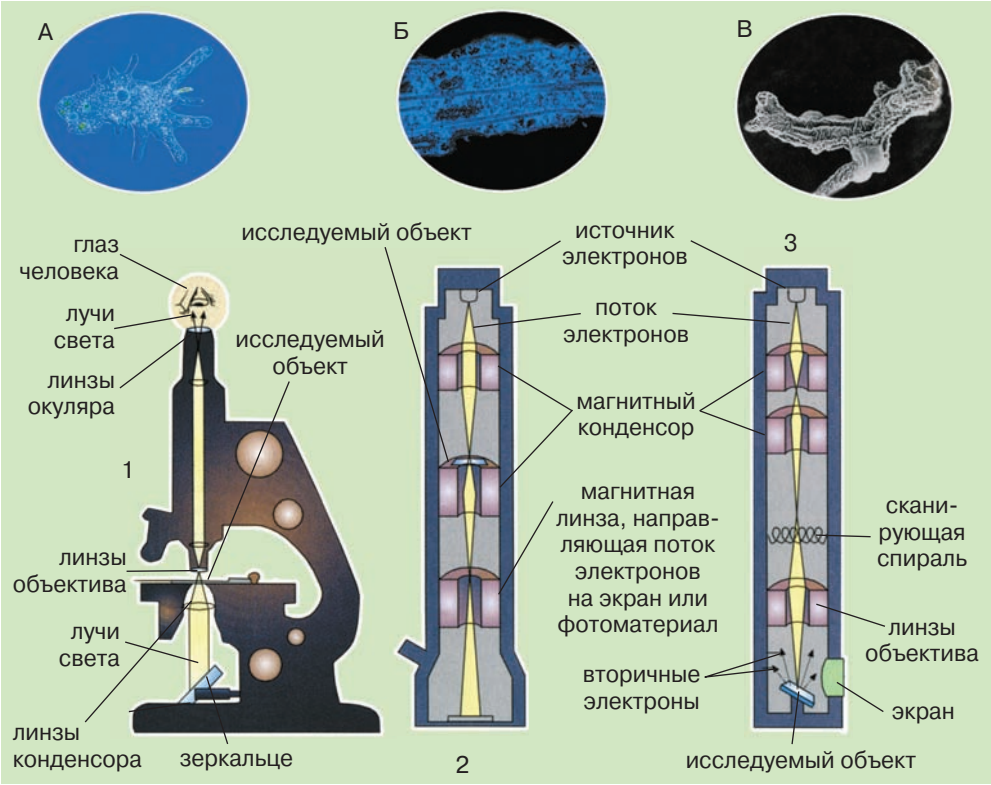


Рис. 14.3. Фотографии амебы, сделанные с помощью: А – светового микроскопа; Б – электронного микроскопа; В – сканирующего микроскопа. Принцип работы светового (1), электронного (2) и сканирующего (3) микроскопов

мерное свечение, или на особый фотоматериал, с помощью которого изображение можно сфотографировать.

Поверхности клеток, отдельных органелл и т. п. также изучают методом ***сканирующей электронной микроскопии*** (рис. 14.3, 3). При этом поток электронов не проходит сквозь объект исследования, а отражается от его поверхности.

На живых клетках изучают процессы жизнедеятельности (движение цитоплазмы, деление и т. п.). Особенности тонкого строения изучают на обработанных определенным способом клетках. Для этого клетки необходимо предварительно зафиксировать особыми веществами (спирт, формалин и т. п.), быстрым замораживанием или высушиванием. Отдельные структуры фиксированных клеток окрашивают особыми красителями и изготовляют микроскопические препараты, которые могут храниться продолжительное время. Для того чтобы с помощью электронного сканирующего микроскопа сфотографировать поверхности клетки или отдельных органелл, их покрывают металлической (обычно золотой) пылью.

Постоянно иметь в своем распоряжении клетки разных типов позволяет ***метод культуры клеток***. При этом живые клетки содержат и размножают на искусственных питательных средах (например, изготовленных из агара – вещества, добываемого из красных водорослей). Изменяя ком-



поненты питательной среды, можно наблюдать, как те или иные соединения будут влиять на рост, размножение и другие свойства клеток. Культуры клеток используют в медицине, ветеринарии и службе защиты растений для проверки влияния на них разнообразных химических препаратов, вирусов, одноклеточных организмов, получения биологически активных веществ (лекарств, биостимуляторов и т. п.).

Метод меченых атомов, или *авторадиография*, помогает определить место и ход определенных физико-химических процессов в клетке. Для этого в нее вводят вещество, в котором один из атомов определенного элемента (углерода, фосфора и др.) замещен его радиоактивным изотопом. С помощью особых приборов, способных обнаруживать изотопы, можно проследить за перемещением (миграцией) в клетке этих веществ, их преобразованиями, выявить место и характер тех или иных биохимических процессов.

Для изучения разных структур клеток используют также ***метод центрифугирования***. При этом клетки предварительно измельчают и в особых пробирках помещают в центрифугу – прибор, способный развивать быстрые обороты. Поскольку разные клеточные структуры имеют неодинаковую плотность, при очень быстрых оборотах центрифуги они будут оседать слоями: более плотные органеллы осаждаются быстрее и потому окажутся снизу, а менее плотные – сверху (рис. 14.4). Эти слои разделяют и изучают отдельно.

• Применение цитологических методов для диагностики заболеваний. Цитологические методы широко применяют для диагностики разнообразных заболеваний человека, домашних животных и культурных растений, изучения физиологического состояния организмов. Так, в ***онкологии*** (наука, которая изучает причины возникновения, разрабатывает средства диагностики и лечения раковых заболеваний) эти методы используют для обнаружения злокачественных и доброкачественных опухолей, выявления предраковых состояний и первоначальных стадий этих заболеваний. Для этого находят аномальные клетки и изучают их способность к быстрому размножению. Разработаны цитологические методики распознавания заболеваний крови, пищеварительной системы, почек, легких, кожи и т. п. Например, значительное увеличение количества эритроцитов

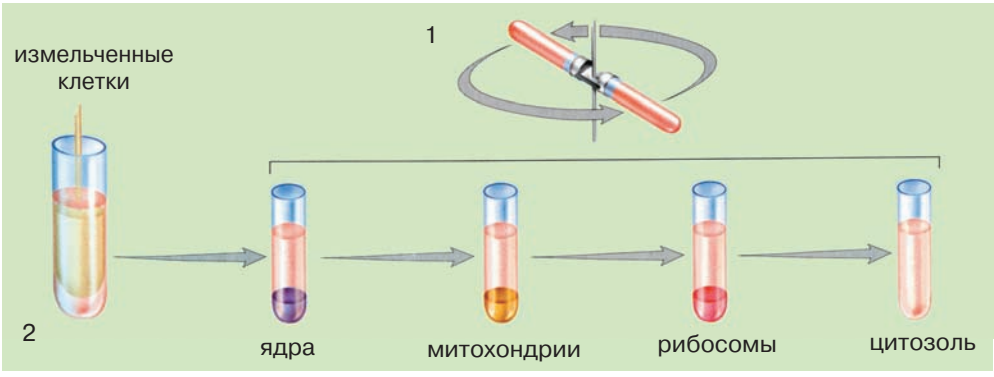
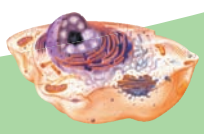


Рис. 14.4. Метод центрифугирования: 1 – принцип работы центрифуги; 2 – последовательные стадии оседания структур клеток в зависимости от их массы



свидетельствует об опасном заболевании – эритроцитозе, а лейкоцитов – о белокровии (лейкозе).

Ключевые термины и понятия. ***Цитоплазма, цитоскелет, органеллы, клеточные включения.***

Кратко о главном

- Клетки состоят из поверхностного аппарата и цитоплазмы. Поверхностный аппарат окружает внутреннее содержимое клетки. В его состав входят плазматическая мембрана, надмембранные и подмембранные структуры. Внутренняя среда клетки – цитоплазма, в ее состав входят разные органические и неорганические соединения, а также такие компоненты клетки, как органеллы и включения.
- Для исследования клеток используют разнообразные методы: световую и электронную микроскопию, ауторадиографию, центрифугирование и др. Клетки исследуют как в живом виде, так и в зафиксированном состоянии. Для того чтобы постоянно изучать клетки определенных типов, применяют метод культуры клеток.

Вопросы для самоконтроля

1. *Почему клетку считают элементарной структурно-функциональной единицей всех организмов?* **2.** *Какие компоненты входят в состав клеток?* **3.** *Что такое поверхностный аппарат клетки и цитоплазма?* **4.** *С помощью каких методов изучают клетки?* **5.** *Какие организмы относятся к эукариотам, а какие – к прокариотам?*

Подумайте. *Что общего и отличного между клеточными включениями и органеллами? Ответ обоснуйте.*

§ 15. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН

Вспомните: *что такое диффузия, гидрофильность и гидрофобность? Что такое иммунитет, антитела и антигены? Что такое денатурация?*

• Система мембран клетки. Все клетки сформированы системой ***биологических мембран*** (от лат. *мембрана* – кожура, пленка), которые играют важную роль в обеспечении их нормального функционирования. Так, клетки ограничены *плазматической мембраной*, или *плазмалеммой*, которая обеспечивает обмен веществ с внешней средой, а у многоклеточных организмов – еще и взаимодействие клеток. Внутренняя среда клетки разделена внутриклеточными мембранами на отдельные функциональные участки. Такая система необходима для упорядоченного размещения определенных веществ (ферментов, пигментов и др.), а также пространственного разделения несовместимых процессов обмена веществ и преобразований энергии, защиты определенных участков от действия пищеварительных ферментов и т. п. В биологических мембранах происходят процессы, связанные с восприятием информации, которая поступает из окружающей среды, формированием и передачей возбуждения, преобра-



зованием энергии, защитой от проникновения болезнетворных микроорганизмов и другими проявлениями жизнедеятельности клеток, органов и организма в целом.

• Строение клеточных мембран. Все разнообразные клеточные мембраны в общем имеют сходные химический состав и особенности организации. Толщина мембран, в зависимости от их типа, варьирует в довольно широких пределах – от 2–3 до 10 нм.

Клеточные мембраны состоят из липидов, белков и углеводов. Молекулы липидов расположены в два слоя: их гидрофильные «головки» (фосфатные группы) обращены к внешней и внутренней сторонам мембраны, а гидрофобные «хвосты», состоящие из цепочек жирных кислот, обращены в глубь нее (рис. 15.1, I, 1). Основным функциональным компонентом биологических мембран являются белки. Одни белковые молекулы расположены или на внешней, или на внутренней поверхностях мембран, поэтому их называют *поверхностными*. С белками, расположенными на внутренней стороне мембраны, связаны микронити цитоскелета. Другие молекулы белков погружены в двойной слой молекул липидов на разную глубину, их называют *внутренними*. Особые белковые молекулы пронизывают мембрану, связывая наружную и внутреннюю ее поверхности (рис. 15.1, I, 2). Углеводы входят в состав мембран исключительно в виде комплексных соединений с молекулами белков или липидов.

Такая модель строения биологических мембран получила название ***жидкостно-мозаичной*** (рис. 15.1, II). Название объясняют тем, что лишь приблизительно 30 % молекул липидов мембран крепко связаны с белками в единые комплексные соединения, а остальные – пребывают в жидком состоянии. Поэтому белково-липидные комплексы как бы «вкраплены» в жидкую липидную массу, напоминая мозаику. Молекулы белков или их части могут быть соединены микроскопическими канальцами.

Входящие в состав мембран молекулы способны перемещаться. Благодаря этому мембраны быстро восстанавливаются после незначительных

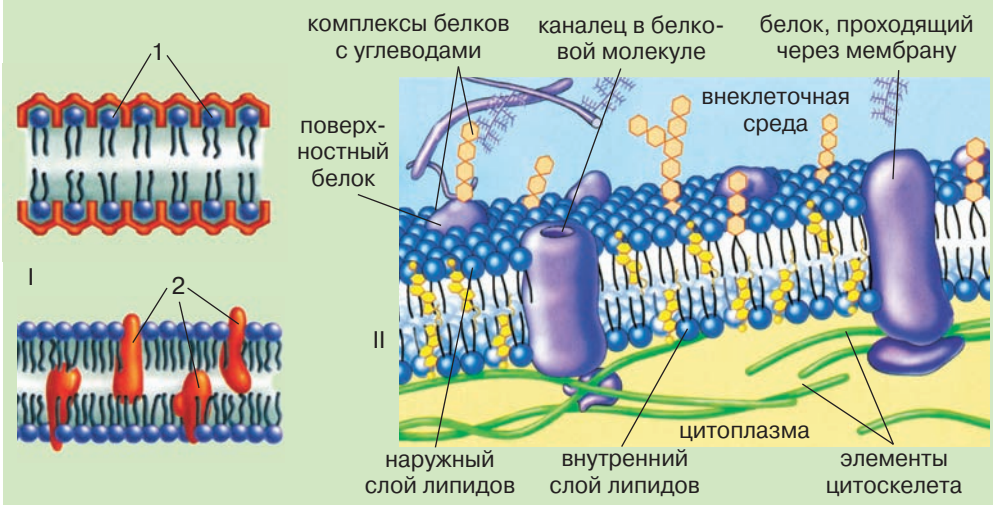
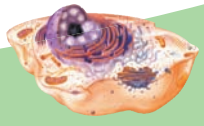


Рис. 15.1. Строение плазматической мембраны: I – схема размещения в мембране липидов (1) и белков (2); II – жидкостно-мозаичная модель



повреждений, покрывая обнаженные участки цитоплазмы. Плазматические мембраны могут легко сливаться между собой, растягиваться и сжиматься, например, при изменении формы или движении клеток. Плазматическая мембрана может образовывать выросты, впячивания, складки, микроворсинки, которые намного увеличивают поверхность клетки. Возможны изменения химического состава биологических мембран, вследствие чего их свойства также меняются.

Клетка не тратит много энергии на сохранение целостности своей мембраны, ведь ее молекулы соединены по принципу, по которому удерживаются вместе молекулы жира – гидрофобным частям молекул согласно законам термодинамики «выгоднее» располагаться поблизости одна от другой.

• **Функции плазматической мембраны** (рис. 15.2). Окружающая цитоплазму плазматическая мембрана прочная и эластичная, что определяет размеры клетки. Она выполняет прежде всего ***защитную функцию***: защищает внутреннюю среду клетки от неблагоприятных воздействий. В частности, среди мембранных белков есть такие, которые способны связывать антигены (микроорганизмы и вещества, которые клетка воспринимает как инородные) и тем самым предотвращать их проникновение вовнутрь. Таким образом, плазматическая мембрана – это одно из звеньев защитных реакций организма.

Другая ее функция – ***обеспечение обмена веществ с окружающей средой***. Плазматическая мембрана характеризуется полупроницаемостью: одни соединения могут быстро проходить через нее, другие – медленнее

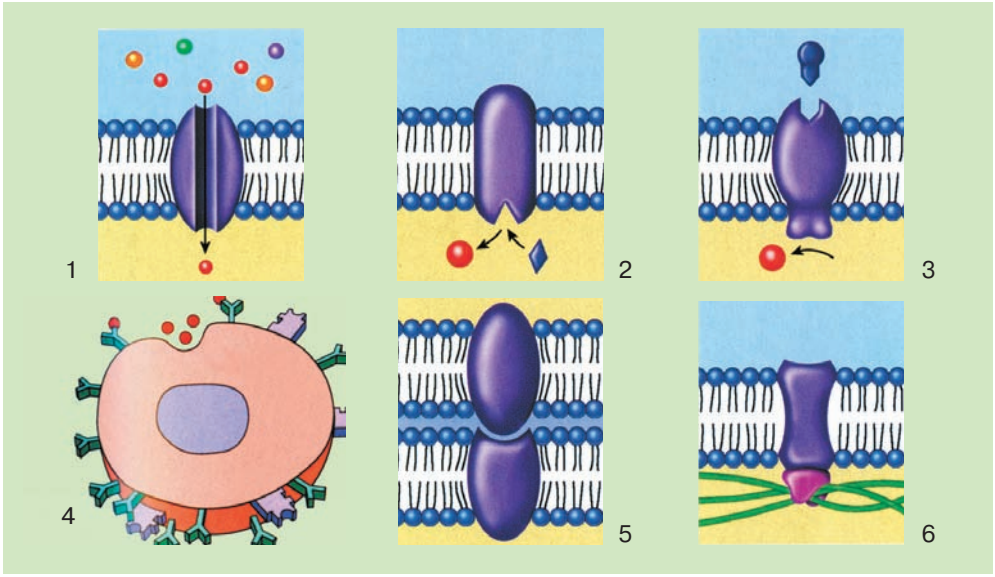


Рис. 15.2. Функции плазматической мембраны: 1 – транспортная; 2 – ферментативная; 3 – рецепторная (рецепторные белки в составе плазматической мембраны воспринимают сигналы из окружающей среды и передают их в клетку); 4 – защитная (антитела в составе плазматической мембраны связывают антигены и предупреждают их проникновение в клетку); 5 – обеспечение взаимодействия между клетками; 6 – опорная (к белкам мембраны прикрепляются элементы цитоскелета)

или вообще неспособны ее преодолеть. Соединения, необходимые для жизнедеятельности клеток, а также продукты обмена веществ проникают через плазматическую мембрану с помощью пассивного или активного транспорта.

• **Пассивный транспорт** обеспечивает избирательное проникновение веществ через мембраны. При этом молекулы перемещаются благодаря разности концентраций веществ с обеих сторон мембраны: из участка, где их концентрация высокая, в участок с низкой концентрацией. Пассивный транспорт продолжается до тех пор, пока не выровняются концентрации веществ с обеих сторон мембраны. На осуществление пассивного транспорта затрачивается немного энергии или же она не тратится вообще. Существуют разные механизмы, обеспечивающие пассивный транспорт. В частности, это может быть диффузия, с помощью которой в клетку поступают вода и растворенные в ней вещества.

*Вспомните, **диффузией** (от лат. диффузио – разлитие) называют процесс, при котором молекулы свободно передвигаются через определенные участки и поры мембраны в направлении своей меньшей концентрации. Этот процесс происходит без затрат энергии.*

Если мембрана свободно пропускает молекулы одного вещества и задерживает частицы другого, то будет происходить односторонняя диффузия лишь вещества, способного проходить через мембрану. Односторонняя диффузия растворителя через полупроницаемую мембрану, разделяющую раствор определенного вещества и чистый растворитель или раствор большей концентрации, получила название ***осмос*** (греч. *осмос* – толчок, давление). Плазматические мембраны свободно пропускают молекулы воды, однако задерживают некоторые растворенные вещества. Поэтому молекулы воды будут двигаться в сторону своей меньшей концентрации, например из окружающей пресной воды в глубь клетки. При этом возникает так называемый ***градиент концентрации***. Он отражает давление чистого растворителя или раствора меньшей концентрации на мембрану (*осмотическое давление*), которая отделяет этот раствор от более концентрированного раствора определенного вещества. ***Градиент*** (от лат. *градиентис* – шагающий) – это химическая мера возрастания или уменьшения концентрации определенного вещества (мал 15.3). В результате осмоса концентрация вещества внутри клетки возрастает до тех пор, пока его давление на клеточную мембрану изнутри (***тургор***) не уравновесит внешнее (осмотическое). В частности, тургорное давление является

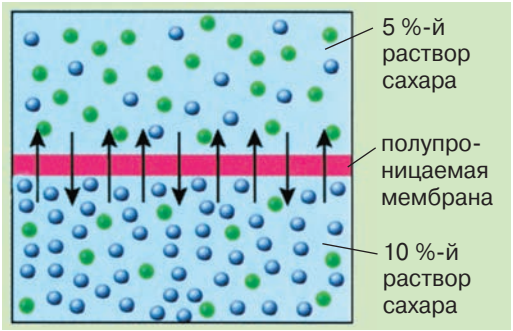
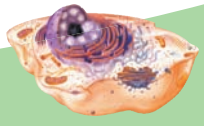


Рис. 15.3. Схема, иллюстрирующая процесс диффузии через полупроницаемую мембрану: разница концентраций сахара по обе стороны мембраны создает градиент, в результате чего вода перемещается из участка, где ее концентрация выше, туда, где она ниже (а концентрация сахара соответственно выше). Это продолжается до тех пор, пока концентрация сахара по обе стороны мембраны не выровняется



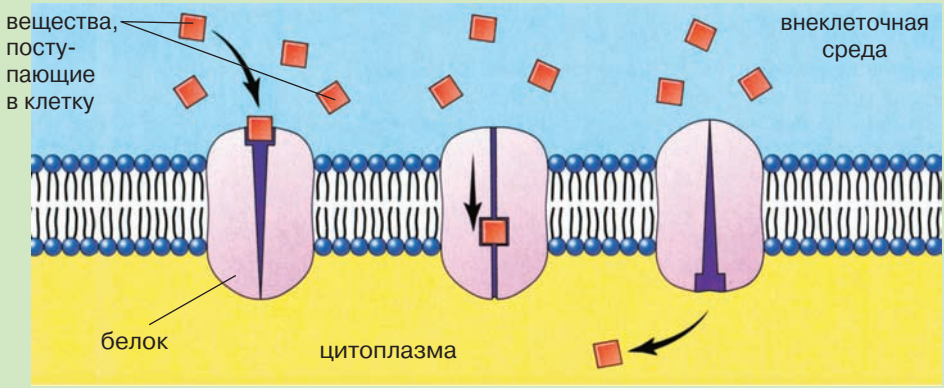


Рис. 15.4. Облегченная диффузия. Только после взаимодействия с белком мембраны вещество поступает в цитоплазму

причиной способности зеленых побегов, практически лишенных тканей, выполняющих опорную функцию, сохранять свою форму и пространственное расположение.

Облегченная диффузия – это проникновение через мембрану определенных молекул с помощью мембранных белков-переносчиков, пронизывающих мембрану (рис. 15.4). Эти белки взаимодействуют с определенными молекулами на одной из поверхностей мембраны и вследствие изменения своей пространственной структуры транспортируют их на другую сторону.

В обеспечении пассивного транспорта определенных веществ принимают участие специфические белковые рецепторные молекулы плазматической мембраны. Молекулы веществ (например, гормонов или нейрогормонов), которые должны проникнуть внутрь клетки, сначала взаимодействуют с этими рецепторами (15.2, 5). Затем образуются микроскопические пузырьки. Внутри них находятся комплексные соединения «вещество – рецептор», которые перемещаются через мембрану.

• **Активный транспорт веществ** через биологические мембраны, в отличие от пассивного, осуществляется *против градиента концентраций*. Он связан со значительными затратами энергии, аккумулированной в молекулах АТФ.

Один из механизмов активного транспорта веществ через мембраны назвали ***калий-натриевым насосом*** (рис. 15.5). Он связан с тем, что концентрация ионов калия внутри клетки выше, чем снаружи, а натрия – наоборот. Благодаря этой разности концентраций в результате диффузии ионы натрия поступают в клетку, а калия – выводятся из нее. Но концентрация этих ионов в живой клетке и снаружи нее никогда не выравнивается, поскольку существует особый механизм, благодаря которому ионы натрия выходят («откачиваются») из клетки, а калия – поступают («закачиваются») в нее. Этот процесс нуждается в затратах энергии. Существование механизма калий-натриевого насоса доказывает тот факт, что в отмерших или замороженных клетках концентрация ионов калия и натрия с обеих сторон плазматической мембраны быстро выравнивается.



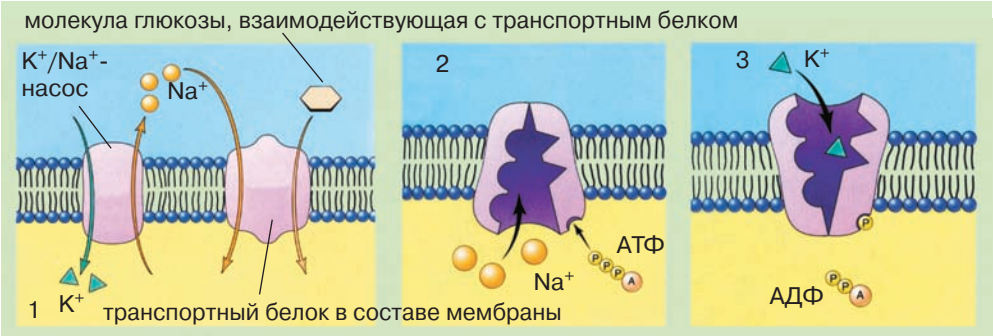


Рис. 15.5. Общая схема, иллюстрирующая активный транспорт при участии калий-натриевого насоса. 1. Калий-натриевый насос сопряжен с транспортом низкомолекулярных веществ в клетку. 2. Ионы Na^+ выводятся из клетки, где их концентрация ниже, чем в окружающей среде. 3. Ионы K^+ «закачиваются» в клетку, где их концентрация выше, чем во внеклеточной среде

Биологическое значение калий-натриевого насоса заключается в том, что благодаря ему энергетически благоприятное (то есть по градиенту концентрации) перемещение ионов натрия в клетку облегчает энергетически неблагоприятный (против градиента концентрации) транспорт низкомолекулярных соединений (глюкозы, аминокислот и т. п.). В этих процессах участвуют особые транспортные белки, которые входят в состав клеточных мембран.

Существует еще один механизм транспорта веществ через мембраны – ***цитоз*** (от греч. *китос* – клетка). Различают два основных вида цитоза: экзо- и эндоцитоз. ***Эндоцитоз*** – это процесс поступления веществ в клетку. Он может происходить в виде фаго- и пиноцитоза (рис. 15.6). ***Фагоцитоз*** (от греч. *фагос* – пожирать) – это активное поглощение твердых микроскопических объектов (частиц органических соединений, мелких клеток и др.). С помощью фагоцитоза захватывают пищу некоторые одноклеточные организмы (например, амебы, фораминиферы) и клетки многоклеточных (например, прищеварительные клетки гидры) животных. Специализированные клетки многоклеточных животных с помощью фагоцитоза осуществляют защитную функцию (например, макрофаги). Они захватывают и переваривают посторонние органические частицы и микроорганизмы.

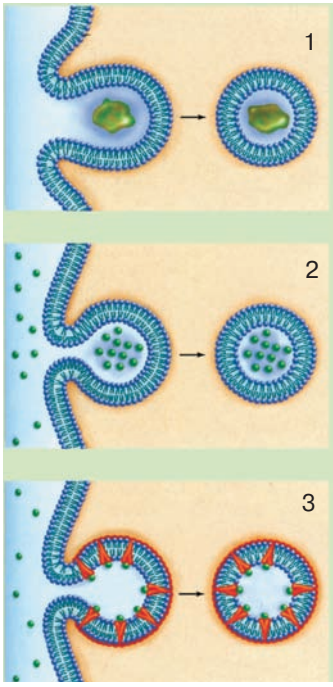
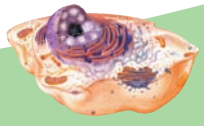


Рис. 15.6. Схематическое изображение эндоцитоза: 1 – фагоцитоз; 2 – пиноцитоз; 3 – избирательный пиноцитоз

Процесс фагоцитоза происходит в несколько этапов. Сначала клетка сближается с объектом, который собирается захватить. Во время контакта плазматическая мембрана клетки окутывает объект и проталкивает его в цито-



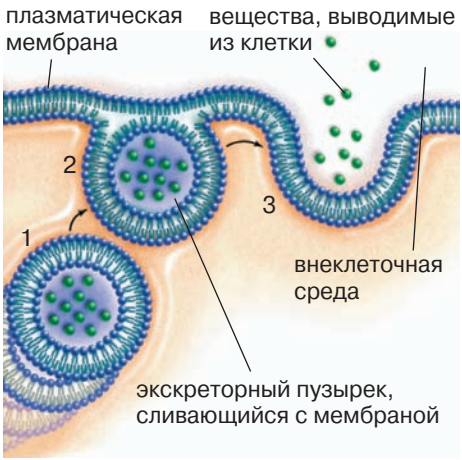


Рис. 15.7. Последовательные стадии экзоцитоза (1–3)

плазму. Так образуется покрытый мембраной пузырек (рис. 15.6, 1). К нему поступают ферменты, переваривающие захваченный объект. Так формируется ***пищеварительная вакуоль***.

Пиноцитоз (от греч. *пино* – пью) – процесс поглощения клеткой жидкости вместе с растворенными в ней веществами. Процесс пиноцитоза напоминает фагоцитоз, но происходит большей частью за счет впячивания мембраны (рис. 15.6, 2).

Особая разновидность цитоза – ***избирательный пиноцитоз*** *– состоит в том, что некоторые растворимые молекулы могут предварительно связываться с рецепторными белками в составе мембраны и лишь после этого формируется окруженный белками пиноцитозный пузырек, который поступает в цитоплазму (рис. 15.6, 3).*

Путем цитоза вещества не только проникают в клетку, но и выводятся из нее (например, гормоны, нейрогормони, нейромедиаторы, пищеварительные ферменты). Этот процесс называют ***экзоцитозом*** (рис. 15.7).

Мембраны осуществляют ***сигнальную функцию***. Так, в плазматическую мембрану встроены сигнальные белки, способные в ответ на действие разных факторов окружающей среды изменять свою пространственную структуру и вследствие этого передавать сигналы внутрь клетки.

Таким образом, особенности строения плазматической мембраны обеспечивают раздражимость организмов, т. е. их способность воспринимать различные влияния (раздражители) и определенным образом на них отвечать.

С входящими в состав мембраны молекулами могут взаимодействовать вирусы. Если такое взаимодействие состоялось – вирус проникает внутрь клетки, а если не состоялась – не проникает.

Важна роль биологических мембран и в ***процессах взаимопревращений разных форм энергии***: механической (например, движение жгутиков, ресничек), электрической (формирование мембранного потенциала и нервного импульса), химической (синтез богатых энергией соединений). Внешняя и внутренняя поверхности мембраны могут быть заряжены поразному: на одной поверхности присутствует положительный заряд, на другой – отрицательный. Это имеет значение для осуществления активного транспорта определенных молекул и механизмов раздражимости клетки.

Плазматические мембраны ***обеспечивают межклеточные контакты в многоклеточных организмах***. Так, в местах контакта двух животных клеток мембраны каждой из них способны образовывать складки или выросты. Они придают межклеточному соединению особые прочность и упругость, плотно связывая клетки (рис. 15.8, 1). Межклеточные контакты обеспечивают также особые структуры – *десмосомы*. Чаще всего их наблюдают в эпителиальных тканях. При этом мембраны двух



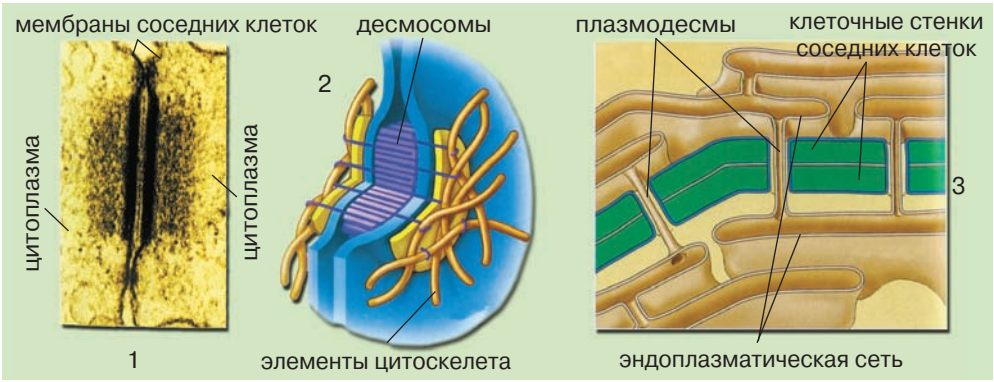


Рис. 15.8. Межклеточные контакты: 1 – тесные контакты между плазматическими мембранами клеток животных; 2 – контакты между соседними клетками животных с участием десмосом; 3 – контакты между клетками растений

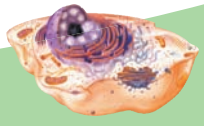
клеток расположены параллельно одна другой и разделены пространством шириной 30 нм, в котором находится пластинка из плотного вещества (15.8, 2). Клетки растений соединены между собой благодаря наличию микроскопических межклеточных канальцев, устланных мембраной и заполненных цитоплазмой, – ***плазмодесм*** (рис. 15.8, 3).

Плазматические мембраны также участвуют в росте и делении клеток.

Ключевые термины и понятия. ***Жидкостно-мозаичная модель строения клеточных мембран, калий-натриевый насос, пиноцитоз, фагоцитоз.***

Кратко о главном

- Все клетки ограничены плазматической мембраной, которая обеспечивает обмен веществ с окружающей средой, а у многоклеточных организмов – взаимодействие клеток между собой.
- Клеточные мембраны состоят из липидов, белков и углеводов. Молекулы липидов расположены в два слоя. Белки размещены мозаично: одни из них находятся на внешней или внутренней поверхностях мембран, другие погружены в толщу мембраны или проходят через нее. Мембранные углеводы образуют комплексы с молекулами белков или липидов. Современная модель строения биологических мембран получила название жидкостно-мозаичной.
- Различные соединения, необходимые для жизнедеятельности клеток, а также продукты обмена веществ пересекают плазматическую мембрану с помощью механизмов пассивного или активного транспорта. Примером пассивного транспорта является диффузия. Активный транспорт через биологические мембраны связан со значительными затратами энергии и осуществляется с помощью калий-натриевого насоса или цитоза. Различают два основные вида цитоза: эндоцитоз и экзоцитоз.



Вопросы для самоконтроля

1. *Из каких соединений состоят биологические мембраны?* **2.** *Что собой представляет жидкостно-мозаичная модель строения биологических мембран?* **3.** *Какие основные функции плазматической мембраны?* **4.** *Как осуществляется транспорт веществ через плазматическую мембрану?* **5.** *Какие виды цитоза вам известны? Что общего и отличного между этими процессами?* **6.** *Благодаря чему плазматическая мембрана осуществляет сигнальную и защитную функции?* **7.** *Какие формы контактов между соседними клетками известны у многоклеточных животных и растений?*

Подумайте. *Какое значение имеет подвижность молекул белков в биологических мембранах для осуществления их функций?*

§. 16. НАДМЕМБРАННЫЕ И ПОДМЕМБРАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КЛЕТОК

Вспомните: *какие структуры в клетках могут быть расположены над плазматической мембраной или под ней? Какие вещества относят к антибиотикам? Каковы строение пробки и сосудов растений?*

• **Надмембранные комплексы клеток** состоят из структур, расположенных над плазматической мембраной. В частности, это клеточная стенка клеток растений, грибов и прокариот, а также гликокаликс животных клеток.

• **Строение клеточной стенки.** Вы уже знаете, что в клетках бактерий, грибов и растений плазматическая мембрана снаружи покрыта более или менее плотной ***клеточной стенкой***. У растений она включает собранные в пучки нерастворимые в воде волокна полисахарида целлюлозы (рис. 16.1) и своеобразный каркас. В состав клеточной стенки растений входят и другие полисахариды, например пектин, гемицеллюлоза и др.

В зависимости от типа тканей и выполняемых ими функций в состав клеточной стенки растений могут входить и другие вещества: липиды, белки, неорганические соединения (SiO_2, карбонаты и фосфаты кальция и т. п.). Например, оболочки клеток пробки или сосудов с возрастом просачиваются жирообразным веществом суберином. Вследствие этого содержимое клетки отмирает, что способствует выполнению опорной или проводящей функций. Клеточные стенки способны одревеснеть, когда промежутки между волокнами целлюлозы заполняет полисахарид лигнин, повышающий прочность стенок.

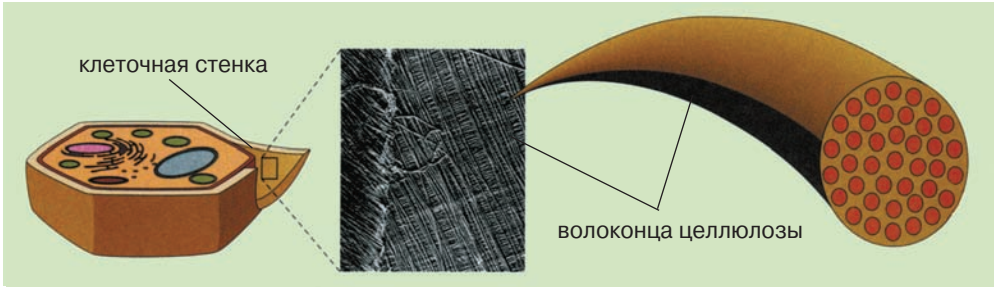


Рис. 16.1. Клеточная стенка растительной клетки

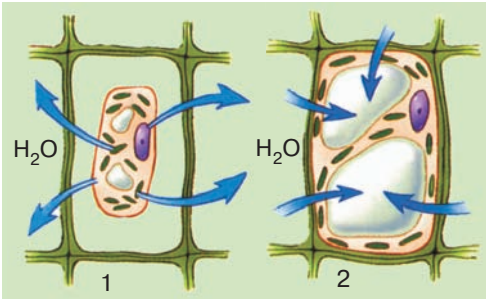


Рис. 16.2. 1. Явление плазмолиза: при высокой концентрации солей во внеклеточной среде вода выходит из клетки, внутриклеточное давление уменьшается и цитоплазма отслаивается от клеточной стенки. 2. Явление деплазмолиза: при низкой концентрации солей во внеклеточной среде вода поступает в клетку и внутриклеточное давление возрастает

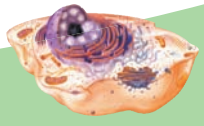
У разных групп грибов основу клеточной стенки также составляют полисахариды. Кроме целлюлозы, это может быть азотсодержащий полисахарид ***хитин*** (*вспомните животных, в состав внешнего скелета которых входит это вещество*), гликоген и т. п. В состав клеточных стенок некоторых грибов могут входить темные пигменты (***меланины***) и другие соединения. Строение клеточных стенок прокариот вы изучите позже.

• **Функции клеточной стенки.** Основная функция клеточной стенки – ***опорная*** – поддержание формы клетки. Другая функция – ***защитная*** – защита внутреннего содержимого клетки от механических повреждений. Еще одна функция – ***транспортная*** – перемещение воды и других соединений в клетку и из нее.

Проницаемость клеточных стенок растений проявляется в явлениях плазмолиза и деплазмолиза (рис. 16.2). Например, если растительную клетку поместить в раствор с концентрацией солей более высокой, чем в цитоплазме, то вода будет выходить из клетки наружу. Это вызывает явление ***плазмолиза*** (от греч. *плазма* – лепка, образование и *лизис* – растворение) – отслоение пристеночного слоя цитоплазмы от клеточной стенки (рис. 16.2, 1). Если же клетку внести в раствор солей с более низкой концентрацией, чем в цитоплазме, то наблюдают обратный процесс: вода будет поступать в клетку, вследствие чего возрастет внутриклеточное давление. Этот процесс называют ***деплазмолизом*** (от лат. *де* – префикс, обозначающий отличие) (рис. 16.2, 2). Наблюдать явления плазмолиза и деплазмолиза учащиеся, изучающие биологию на академическом уровне, смогут самостоятельно, выполнив лабораторную работу № 4 (*см. лабораторный практикум на с. 109*).

Клеточная стенка имеет много мелких отверстий – пор, соединенных с подобными образованиями соседних клеток. Через них содержимое соседних клеток сообщается с помощью цитоплазматичних тяжей – плазмодесм (см. рис. 15.8, 3). Как вы помните, плазмодесмы расположены в окруженных плазматической мембраной канальцах, проходящих через оболочки клеток. Диаметр пор составляет 30–60 нм. По оси канальца проходит цилиндрическая трубка меньшего диаметра, соединенная с эндоплазматической сетью обеих клеток. Считают, что плазмодесмы служат для транспорта веществ непосредственно из клетки в клетку.

• **Гликокаликс.** Клетки животных не имеют твердой клеточной стенки; над их плазматической мембраной расположен ***гликокаликс*** (от лат. *гликис* – сладкий и *каллюм* – толстая кожа) (рис. 16.3). Этот поверхност-



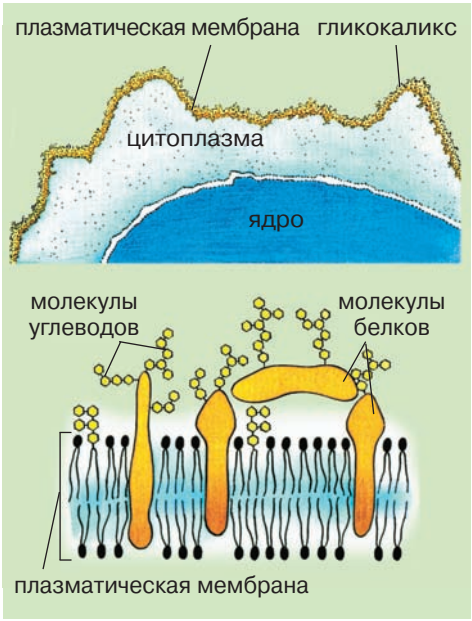


Рис. 16.3. Схема строения гликокаликса

ный слой толщиной в несколько десятков нанометров состоит из соединений белков и липидов с углеводами.

Гликокаликс обеспечивает непосредственную связь клеток с окружающей средой. В его состав входят рецепторные молекулы, способные воспринимать раздражители окружающей среды. Он также участвует в избирательном транспорте веществ (пропускает или не пропускает) молекулы, в зависимости от их размеров, заряда и т. п. Благодаря наличию ферментов гликокаликс может участвовать в примембранном пищеварении – расщеплении соединений, которые расположены снаружи вблизи поверхности клетки. В итоге клетка потребляет эти продукты расщепления. Кроме того, гликокаликс обеспечивает межклеточные связи у многоклеточных животных.

• **Подмембранные комплексы клеток.** К ним относятся разнообразные структуры белковой природы: микронити (микрофиламенты) и микротрубочки, которые образуют *цитоскелет* (рис. 16.4, 1). Цитоскелет выполняет опорную функцию, а также соединяет все компоненты клетки: ее поверхностный аппарат, структуры цитоплазмы, ядро. Элементы цитоскелета способствуют закреплению в определенном положении и перемещению органелл в клетке.

Микронити, или ***микрофиламенты,*** – тонкие нитевидные структуры, диаметром 4–7 нм, которые состоят из сократительных белков, преимущественно актина (рис. 16.4, 3). Они пронизывают цитоплазму и могут

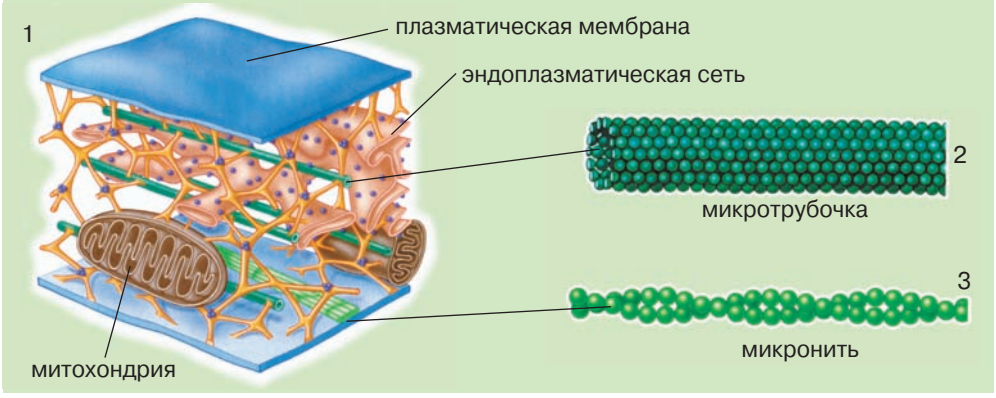


Рис. 16.4. Схема строения цитоскелета (1), микротрубочек (2) и микронитей (3)

образовывать сплетение под плазматической мембраной. Пучки микронитей прикреплены одним концом к определенной структуре (например, плазматической мембране), а вторым – к другой (органелле и т.п.). Микрофиламенты участвуют в изменении формы клетки, например при амебоидном движении, процессах поступления в клетку и выводе из нее различных соединений. При делении некоторых клеток животных они образуют особое сократительное кольцо, разделяющее цитоплазмы дочерних клеток.

Микротрубочки – полые цилиндрические структуры диаметром 10–25 нм, образованные преимущественно белком тубулином (рис. 16.4, 2). Они участвуют в формировании веретена деления эукариотических клеток, входят в состав ресничек, жгутиков и т. п. Микротрубочки обеспечивают перемещение органелл и макромолекул в клетке. При этом пучки микротрубочек одним концом прикрепляются к одной структуре или молекуле, а вторым – к другой.

У некоторых одноклеточных животных структура цитоскелета усложнена. Например, у радиолярий сферическая капсула из органического вещества разделяет цитоплазму на внутреннюю и внешнюю части. Во внешней части содержатся жировые включения. Они уменьшают плотность содержимого клетки и облегчают «парение» этих организмов в толще воды. Во внутренней части цитоплазмы содержатся ядро и много других органелл. Кроме того, в цитоплазме находятся внутриклеточные структуры из неорганических веществ – SiO_2 или $SrSO_4$. Они могут иметь вид дырчатых сфер, заключенных одна в другую, корон, радиально расположенных игл и т. п. (рис. 16.5). К ним прикреплены микронити, другим концом связанные с плазматической мембраной и способные к сокращению. Эти микронити регулируют плотность животных; во время шторма радиолярии опускаются вглубь, а в спокойную погоду питаются другими одноклеточными, в частности водорослями, вблизи поверхности.

В клетках многих одноклеточных животных (инфузорий, эвглен и т. п.) к подмембранным комплексам относится ***пелликула*** (от лат. *пеллис* – кожа). Она состоит из структур, расположенных в уплотненном внешнем слое цитоплазмы. Так, у инфузорий в состав пелликулы входят уплощенные цистерны из органического вещества, которые вместе образуют мозаичную структуру. Внутри таких цистерн могут находиться дополнительные опорные комплексы из белков или пропитанных карбонатом

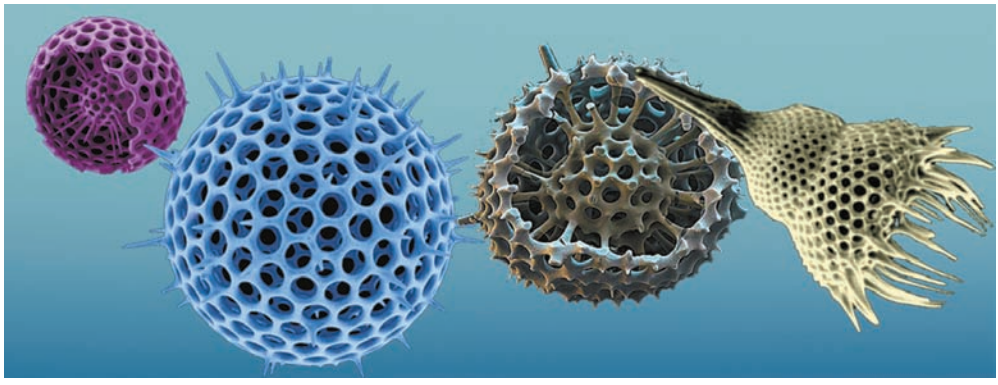
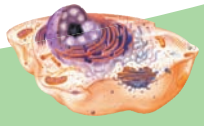


Рис. 16.5. Внутриклеточные скелеты радиолярий



кальция полисахаридных пластинок. Пелликула придает прочность оболочке клетки, обеспечивая относительное постоянство ее формы.

Важными функциями подмембранного комплекса клеток являются обеспечение цитоза, движения (образование псевдоподий) и т. п. При этом микротрубочки и микронити удлиняются или укорачиваются.

Ключевые термины и понятия. ***Плазмолиз, деплазмолиз, гликокаликс, микрофиламенты, микротрубочки, пелликула.***

Кратко о главном

- Над плазматической мембраной расположен поверхностный аппарат. В клетках грибов и растений плазматическую мембрану снаружи окружает клеточная стенка. Клеточная стенка защищает внутреннее содержимое клетки и поддерживает ее форму. Через нее осуществляется транспорт воды и других соединений.
- Надмембранные комплексы клеток животных представлены гликокаликсом. Он обеспечивает связь клетки с окружающей средой и между клетками у многоклеточных животных.
- К подмембранным комплексам относится цитоскелет, образованный из белковых структур – микронитей (микрофиламентов) и микротрубочек. Элементы цитоскелета способствуют закреплению органелл в определенном положении или их перемещению.

Вопросы для самоконтроля

1. *Что такое клеточная стенка? Каковы ее функции?* **2.** *Какие особенности строения клеточной стенки у растений и грибов?* **3.** *Что такое плазмолиз и деплазмолиз?* **4.** *Что такое гликокаликс? Каковы его функции?* **5.** *Что такое цитоскелет? Каковы его функции?* **6.** *Что такое пелликула? Какое ее значение?*

Подумайте. *1. Что общего и отличного в строении и функциях клеточной стенки и гликокаликса? 2. Одноклеточная водоросль хламидомонада и представитель одноклеточных животных эвглена зеленая имеют много общих особенностей строения клетки и процессов жизнедеятельности. Какие именно признаки позволяют отнести хламидомонаду к царству Растения, а эвглену зеленую – к царству Животные?*

§ 17. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ ЯДРА КЛЕТОК ЭУКАРИОТ. НУКЛЕОИД ПРОКАРИОТ

Вспомните: *какие функции ядра? Что такое ген? Каковы строение и функции нуклеиновых кислот? Что изучает наука систематика? Какие белки называют глобулярными, а какие – фибриллярными?*

• Ядерные и безъядерные клетки эукариот. Вам уже известно, что **ядро** – обязательная составляющая всякой эукариотической клетки, в нем сохраняется наследственная информация. Ядро регулирует процессы жизнедеятельности клеток. Лишь некоторые типы клеток эукариот лишены ядра. Это, в частности, тромбоциты и эритроциты большинства млекопитающих, ситовидные трубки высших растений. В таких клетках ядро формируется на начальных этапах развития, а потом разрушается. Потеря ядра сопровождается утратой способности клетки к размножению (делению).



В клетках обычно есть лишь одно ядро, но некоторые клетки содержат от двух до нескольких тысяч ядер (инфузории, фораминиферы, некоторые водоросли, грибы, исчерченные мышечные волокна и т. п.).

Зачем некоторым клеткам необходимо не одно ядро, а несколько или много? Дело в том, что каждому типу клеток присуще определенное постоянное соотношение между объемами ядра и цитоплазмы (***ядерно-цитоплазматическое соотношение***). Ведь ядро определенного объема может обеспечивать процессы биосинтеза белков лишь в соответствующем объеме цитоплазмы. Поэтому в клетках больших размеров или с повышенной интенсивностью обмена веществ часто находится от двух до нескольких тысяч ядер.



Рис. 17.1. Строение ядра

• **Строение ядра.** Форма ядра достаточно разнообразна. Чаще всего она сферическая или эллипсовидная, реже – неправильная (например, у некоторых типов лейкоцитов ядра имеют отростки). Размеры ядер варьируют от 1 мкм (некоторые одноклеточные животные, водоросли) до 1 мм (яйцеклетки некоторых рыб и земноводных).

Ядро состоит из поверхностного аппарата и внутренней среды (матрикса) (рис. 17.1). ***Поверхностный аппарат ядра*** образован двумя мембранами – внешней и внутренней, между которыми находится заполненное жидкостью щелевидное пространство шириной от 20 до 60 нм. В некоторых местах внешняя мембрана соединена с внутренней вокруг микроскопических отверстий – *ядерных пор* (рис. 17.2) диаметром около 100 нм.

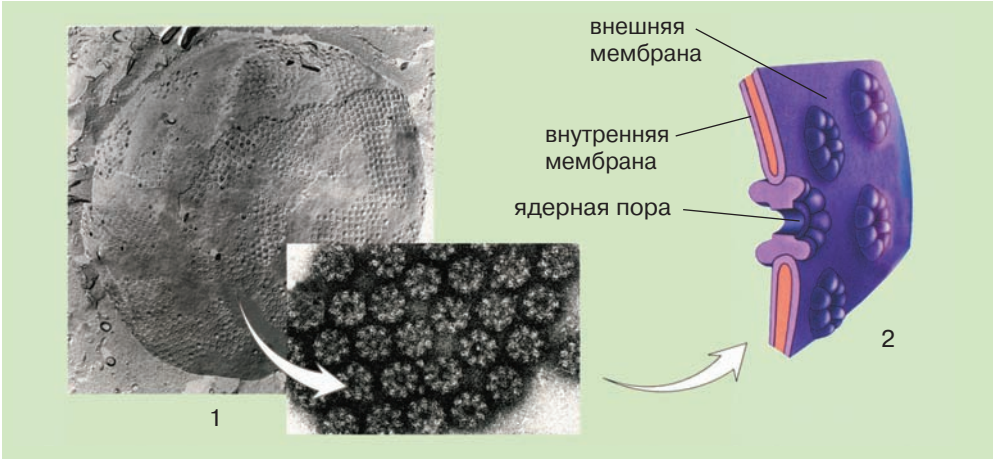


Рис. 17.2. Поверхностный аппарат ядра: 1 – микрофотография, сделанная с помощью сканирующего микроскопа (видны ядерные поры); 2 – схема строения

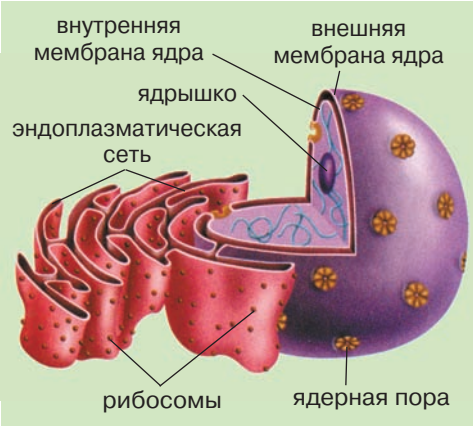


Рис. 17.3. Функциональная связь ядра с другими мембранными органеллами

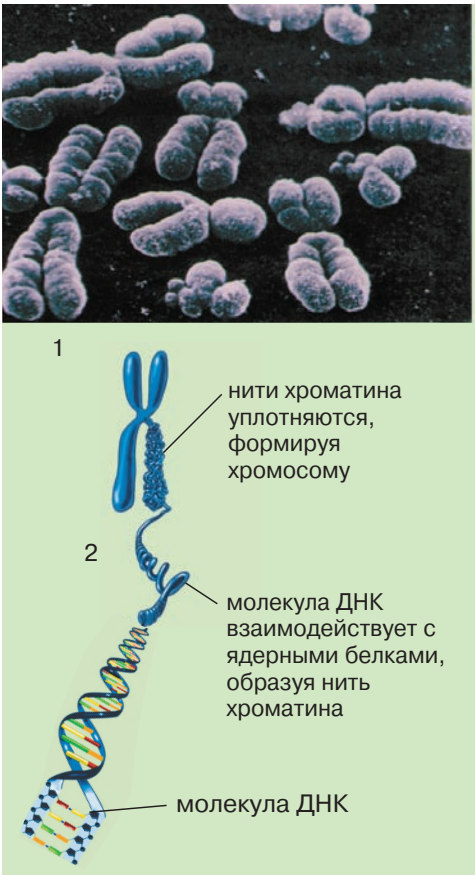


Рис. 17.4. 1. Хромосомы человека (фотография сделана с помощью сканирующего микроскопа). 2. Разные состояния хроматина

Отверстие поры заполнено особыми глобулярными (шаровидными) или фибриллярными (нитчатыми) белковыми структурами. Среди них обязательно имеется белок-рецептор, способный реагировать на проходящие через пору вещества. Совокупность пор и таких белков называют ***комплексом ядерной поры***.

Поверхностный аппарат обеспечивает регуляцию транспорта веществ внутрь ядра и из него наружу через комплекс ядерной поры. Он, например, распознает и сортирует эти соединения. Из цитоплазмы в ядро поступают белки, а из ядра в цитоплазму – разные типы молекул РНК. Поверхностный аппарат ядра функционально связан с мембранами эндоплазматической сети (рис. 17.3). На поверхности внешней ядерной мембраны может быть расположено много рибосом.

Ядерный матрикс – внутренняя среда ядра – состоит из ядерного сока, ядрышек и нитей хроматина. ***Хроматин*** (от греч. *хроматос* – краска) – нитевидные структуры ядра, образованные в основном из белков и нуклеиновых кислот (рис. 17.4). Участки хроматина неоднородны. Те из них, которые постоянно находятся в уплотненном состоянии, называют ***гетерохроматином***. Они хорошо окрашиваются разными красителями и в период между делениями клетки заметны в световой микроскоп. Неокрашенные, менее уплотненные участки получили название ***эухроматин***. Считается, что в них находится основная масса генов. Во время деления клетки нити хроматина уплотняются и из них формируются компактные тельца – ***хромосомы*** (от греч. *хроматос* и *сома* – тельце) (рис. 17.4).

Ядерный сок (*кариоплазма*, или *нуклеоплазма*) по строению и свойствам напоминает цитоплазму. В кариоплазме есть белковые фибрил-

лы (нити) 2–3 нм толщиной. Они образуют особый внутренний скелет ядра, который соединяет различные структуры: ядрышки, нити хроматина, ядерные поры и т. п. Белки матрикса обеспечивают определенное пространственное расположение хромосом, а также влияют на их активность.

Ядрышки – плотные структуры, состоящие из комплексов РНК с белками, хроматина и гранул – предшественников рибосом (см. рис. 17.1). В ядре может быть от одного до многих ядрышек (например, в яйцеклетках рыб), которые формируются на особых участках хромосом. Во время деления клетки ядрышки исчезают вместе с ядерной оболочкой, а в период между двумя делениями – формируются снова. Функции ядрышек заключаются в образовании рРНК и предшественников рибосом, которые после формирования поступают в цитоплазму.

• **Функции ядра.** Вы уже знаете, что ядро сохраняет наследственную информацию и обеспечивает ее передачу от материнской клетки дочерним. Кроме того, оно является своеобразным центром управления процессами жизнедеятельности клетки, в частности регулирует процессы биосинтеза белков. Здесь информация о структуре белков переписывается с молекул ДНК на молекулы иРНК. Затем эта информация поступает к месту синтеза белков: на мембраны зернистой эндоплазматической сети или в цитоплазму. В ядре образуются компоненты (субъединицы) рибосом, непосредственно участвующие в биосинтезе белков. Таким образом, благодаря реализации наследственной информации, закодированной в молекуле ДНК, ядро регулирует происходящие в клетке биохимические, физиологические и морфологические процессы.

*Ведущую роль ядра в передаче наследственной информации иллюстрирует опыт на зеленых одноклеточных водорослях – **ацетабуляриях**, которые по форме похожи на плодовое тело шляпочного гриба (рис. 17.5). Клетка имеет высокую «ножку», в основе которой находится ядро, а на верхушке – диск в виде шляпки. Различные виды ацетабулярий различаются по форме «шляпки». Экспериментально сращивали центральную часть «ножки» представителя одного вида ацетабулярий, лишенную «шляпки», с нижней частью «ножки» особи другого вида, где расположено ядро. У такого искусственно созданного организма формировалась «шляпка», присущая тому виду водоросли, которому принадлежала часть ножки с ядром, а не тому, которому принадлежала средняя безъядерная ее часть (рис. 17.5). Подобные результаты получены и в опытах на клетках животных. Например, из яйцеклетки лягушки удаляли ядро и вместо него пересаживали ядро из оплодотворенной яйцеклетки тритона. Вследствие этого развивался зародыш тритона, а не лягушки. Эти опыты – часть исследований в области клеточной технологии (цитотехнологии).*

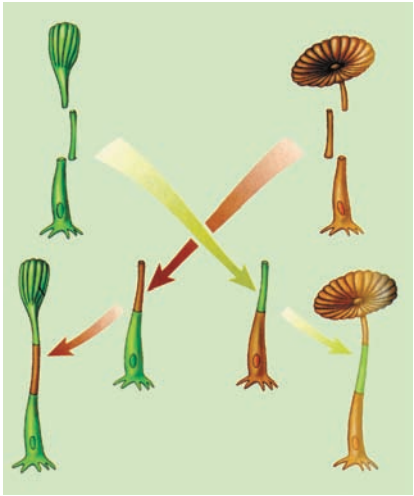
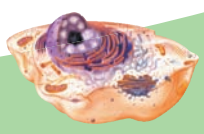


Рис. 17.5. Опыт с ацетабулярией (назовите его основные этапы)

У некоторых одноклеточных животных, а именно инфузорий и фораминифер, есть ядра двух типов: ***генеративные*** и



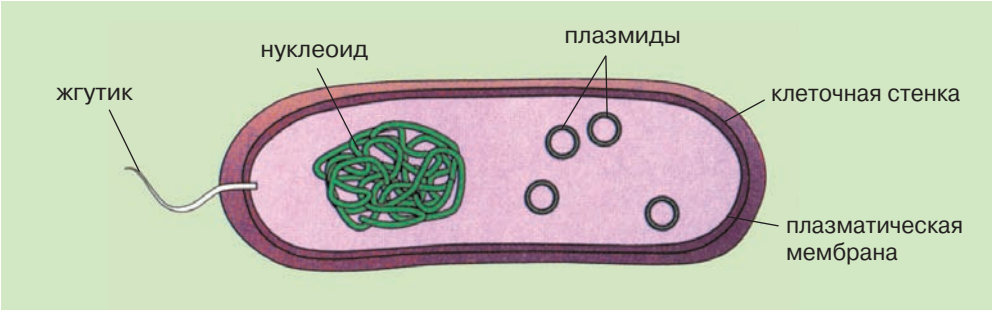


Рис. 17.6. Наследственный материал бактериальной клетки

вегетативные. Ядра первого типа обеспечивают сохранение и передачу наследственной информации дочерним клеткам, второго – регулируют процессы биосинтеза белков.

Наследственная информация, которая сохраняется в ядре, может изменяться вследствие мутаций (от лат. мутацио – изменение). ***Мутации*** *– внезапно возникающие стойкие изменения генетического материала, которые могут приводить к изменениям наследственных признаков организма. Мутации обеспечивают наследственную изменчивость, без которой была бы невозможна эволюция организмов – обитателей нашей планеты. Напомним, что* ***эволюция*** *(от лат. эволютио – развертывание) – процесс необратимых изменений строения и функций живых существ на протяжении их исторического существования. Основным следствием эволюционного процесса является приспособленность организмов к условиям обитания.*

• Наследственный материал клеток прокариот. Мы уже упоминали, что клетки прокариот не имеют сформированного ядра. Их наследственный материал не отделен от цитоплазмы мембранной оболочкой и представлен кольцевой молекулой ДНК.

ДНК прокариот не связана с ядерными белками. Типичных хромосом, которые в клетках эукариот расположены в ядре, у прокариот нет. Участок цитоплазмы, где расположен наследственный материал прокариот, имеет название ***ядерная зона***, или ***нуклеоид*** (рис. 17.6).

В цитоплазме клеток многих бактерий наряду с нуклеоидом присутствуют кольцевые молекулы ДНК – ***плазмиды*** (от греч. *плазма* – вылепленное, оформленное) (рис. 17.6). Их еще называют *внехромосомными дополнительными факторами наследственности*. От набора плазмид зависит способность прокариот приспосабливаться к изменениям окружающей среды. Например, от наличия или отсутствия определенных генов в составе плазмид зависит устойчивость к определенным антибиотикам. Плазмиды также обнаружены в клетках эукариот в составе митохондрий и пластид.

Ключевые термины и понятия. ***Ядро, ядрышко, хроматин, хромосомы, нуклеоид, плазмиды.***

Ядро – обязательная составляющая всякой эукариотической клетки, где хранится наследственная информация. Ядро состоит из поверхностного аппарата и внутренней среды (матрикса). Поверхностный аппарат образован двумя мембранами – внешней



и внутренней, между которыми есть щель шириной 20–60 нм. В некоторых местах внешняя мембрана соединена с внутренней вокруг отверстий – ядерных пор. Ядерный матрикс состоит из ядерного сока, ядрышек и нитей хроматина.

Хроматин – нитевидные структуры ядра, образованные в основном из белков и нуклеиновых кислот. Во время деления клетки нити хроматина уплотняются и из них формируются хромосомы.

Кратко о главном

Вопросы для самоконтроля

1. *Из чего состоит поверхностный аппарат ядра?* **2.** *Что такое комплекс ядерной поры? Каковы его функции?* **3.** *Что собой представляет матрикс ядра?* **4.** *Что такое хроматин?* **5.** *Какие строение и функции ядрышек?* **6.** *Что вы знаете о функциях ядра в клетке?*

Подумайте. *Почему эукариотические клетки, потерявшие ядро, неспособны к делению?*

§ 18. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КАРИОТИПА РАЗНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Вспомните: *какие хромосомные наборы неполовых и половых клеток человека? Какие растения называют однодомными и двудомными?*

В предыдущем параграфе мы упоминали, что основными структурами ядра, содержащими генетический материал, являются хромосомы. Ознакомимся с их строением.

• **Строение хромосом.** Заметить хромосомы, подсчитать их количество и рассмотреть особенности с помощью микроскопа возможно лишь во время деления клетки. В период между последовательными делениями хромосомы раскручиваются и приобретают вид нитей хроматина.

Основу хромосомы составляет двойная молекула ДНК, связанная с ядерными белками (рис. 18.1). Кроме того, в состав хромосом входят РНК и ферменты.

Молекулы ДНК в хромосомах расположены в определенном порядке. Ядерные белки образуют особые структуры – ***нуклеосомы***, вокруг которых как бы накручены нити ДНК. Каждая нуклеосома состоит из восьми белковых глобул. Кроме того, особые белки связывают нуклеосомы друг с другом. Такая организация обеспечивает компактное размещение молекул ДНК в хромосомах, поскольку длина этих молекул в развернутом состоянии значительно превышает длину хромосом. Например, длина хромосом

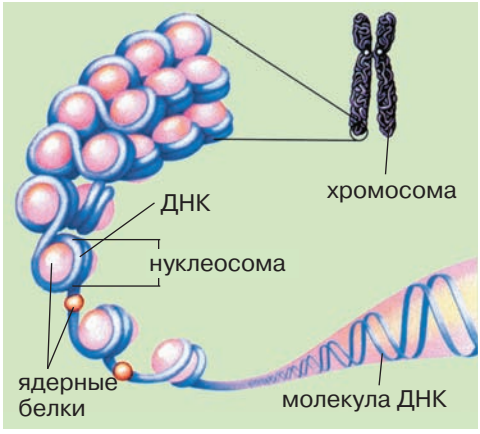


Рис. 18.1. Взаимодействие ядерных белков и молекул ДНК в составе нити хроматина

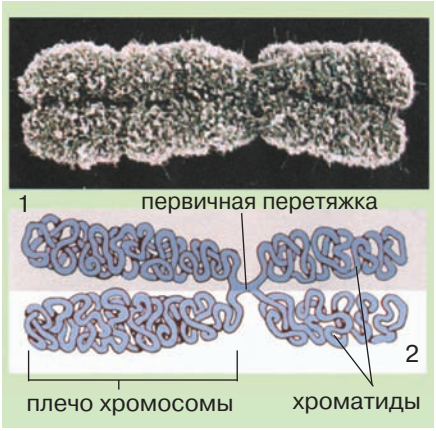


Рис. 18.2. 1. Фотография хромосомы, сделанная при помощи электронного микроскопа. 2. Схема строения хромосомы

во время деления клетки в среднем составляет 0,5–1,0 мкм, а развернутых молекул ДНК – несколько сантиметров. Такая упаковка молекулы ДНК позволяет эффективно управлять процессами биосинтеза белков и собственного удвоения, защищает от повреждений во время деления клетки.

Каждая хромосома состоит из двух продольных частей – ***хроматид***, соединенных между собой в месте, названном зоной первичной перетяжки (рис. 18.2). Она разделяет хромосомы на два участка – *плечи*. Если перетяжка расположена посредине длины хромосомы, то плечи имеют практически одинаковые размеры. А если она сдвинута к одному из концов хромосомы, то плечи отличаются по длине. В зоне первичной перетяжки имеется участок особого строения, который соединяет сестринские хроматиды – ***центромера***. Здесь формируются белковые структуры – ***кинетохоры*** (от греч. *кинео* – двигаюсь и *хорео* – иду вперед). Во время деления клетки к кинетохору присоединяются нити веретена деления, что обеспечивает упорядоченное распределение хромосом или отдельных хроматид между дочерними клетками. Некоторые хромосомы имеют еще и вторичную перетяжку, где расположены гены, отвечающие за образование ядрышек.

Каждая из хроматид содержит по молекуле ДНК со сходными наборами наследственной информации. Во время деления клетки хроматиды расходятся к дочерним клеткам, а в период между двумя делениями число хроматид снова удваивается. Это происходит благодаря способности молекул ДНК к самоудвоению.

Хромосомы, как вам известно, содержат гены – участки молекулы ДНК, которые несут закодированную информацию (***генетический код***) о строении молекул белка или РНК. Участок, занимающий определенный ген в хромосоме, называют ***локусом*** (от лат. *локус* – место).

Определение всех локусов в составе хромосомы позволило создать ***генетические карты хромосом*** организмов разных видов (рис. 18.3). На этих картах показан порядок расположения и относительные расстояния между генами в определенной хромосоме.

Для некоторых организмов (например, дрозофилы, кукурузы) уже созданы полные генетические карты всех хромосом. Генетические карты 23 хромосом человека еще неполные. Считают, что количество генов человека, определяющих все его признаки, достигает 30 000. Генетические карты позволяют исследователям изменять наследственную информацию различных организмов: удалять одни гены, встраивать другие, заимствованные у особей того же или других видов. Этим занимается особая область биологии – генная, или генетическая, инженерия.

• **Особенности организации кариотипа различных организмов.** Клетки каждого вида животных, растений, грибов имеют определенный набор



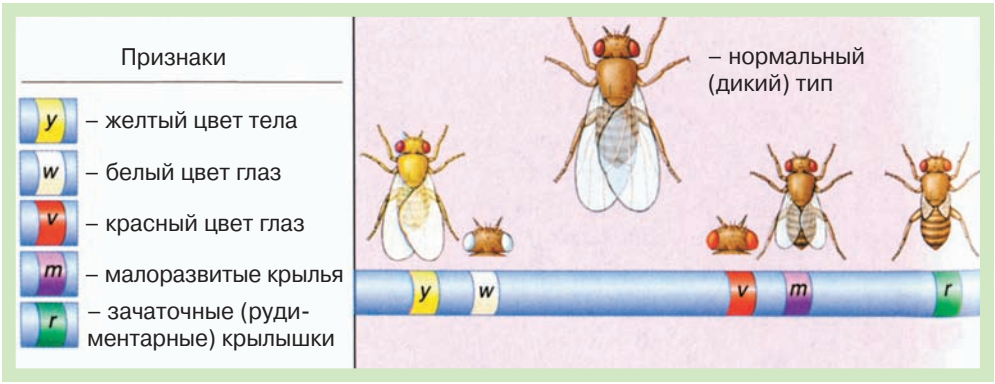


Рис. 18.3. Генетические карты хромосом дрозофилы

хромосом. Совокупность признаков хромосомного набора (количество хромосом, их форма и размеры) называют ***кариотипом*** (от греч. *карион* – ядро ореха и *типос* – форма) (рис. 18.4). Каждому виду присущ особый уникальный кариотип. Например, в неполовых клетках мухи-дрозофилы всего 8 хромосом (4 пары), человека – 46 (23 пары), у морских одноклеточных животных радиолярий – до 1600.

Постоянность кариотипа обеспечивает существование видов. Специфический кариотип особей одного вида дает им возможность спариваться между собой и производить жизнеспособных потомков. При спаривании особей разных видов потомство не появляется вообще или же оно нежизнеспособно или бесплодно.

Хромосомный набор ядра может быть гаплоидным, диплоидным или полиплоидным. В ***гаплоидном*** (от греч. *гаплоос* – одиночный, *плоос* – кратный и *ейдос* – вид) ***наборе*** (его условно обозначают **1n**) все хромосомы по строению отличаются одна от другой. Вместе с тем в ***диплоидном*** (от греч. *диплоос* – двойной) ***наборе*** (**2n**) каждая хромосома имеет парную, подобную по размерам и особенностям строения; их называют ***гомологическими*** (от греч. *гомологиа* – соответствие). Соответственно хромосомы, которые относятся к разным парам, не гомологичны друг другу.

Если же количество гомологических хромосом превышает две, то такие хромосомные наборы относят к ***полиплоидному*** (от греч. *полис* – многочисленный): триплоидному (**3n**), тетраплоидному (**4n**) и т. д.

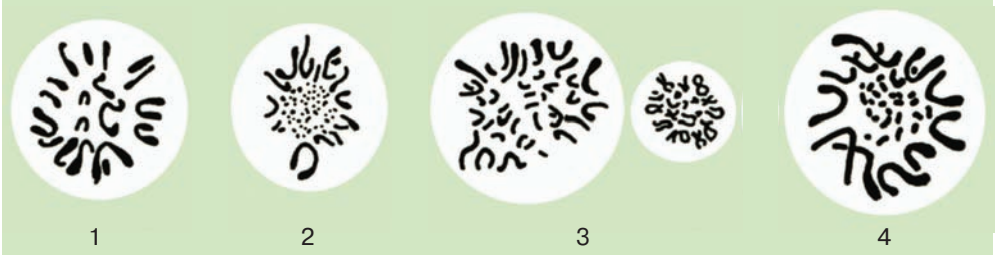


Рис. 18.4. Кариотипы разных животных: 1 – щуки; 2 – курицы; 3 – кошки; 4 – саламандры

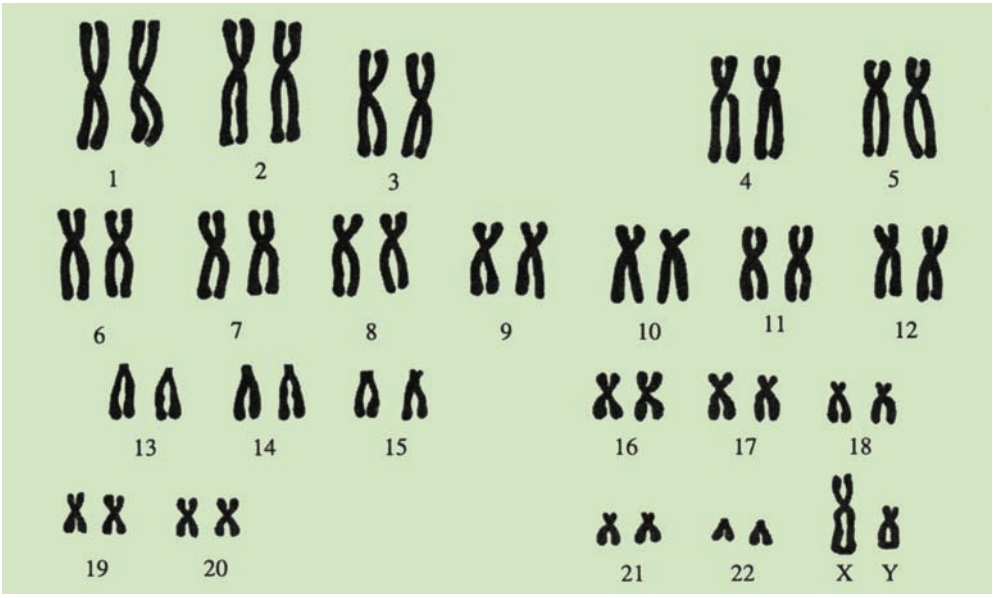


Рис. 18.5. Кариотип человека (мужчины)

У раздельнополых животных и двудомных растений у особей одного пола хромосомы одной из пар различаются между собой, тогда как у особей другого – они подобны. Это половые хромосомы, которые еще называют ***гетерохромосомами*** (от греч. *гетерос* – другой). Хромосомы других пар, подобные у особей разных полов, называют неполовыми, или ***аутосомами*** (от греч. *аутос* – сам). Так, в хромосомном наборе женщины две *X-хромосомы*, а мужчины – одна *X-хромосома* и одна *Y-хромосома* (мал. 18.5). Естественно, если аутосомы имеют подобный набор генов, то в *X-* и *Y-хромосомах* он разный.

У мух и млекопитающих разные половые хромосомы имеют особи мужского пола, а вот у бабочек, пресмыкающихся и птиц, наоборот, – женского. У некоторых животных особи разных полов имеют разное количество половых хромосом. Так, самки кузнечиков (класс Насекомые) имеют 2 половые хромосомы, тогда как самцы – лишь одну (рис. 18.6).



Рис. 18.6. Кариотипы особей разных полов у определенных групп животных

В ядрах отдельных клеток личинок двукрылых насекомых, некоторых инфузорий и растений (пшеница, лук и т. п.) встречаются хромосомы гигантских размеров, которые в сотни раз превышают размеры обычных. Это происходит потому, что в них многократно увеличенное количество молекул ДНК, иногда в 1000 раз, что служит видовым признаком.

• Изменения кариотипа и его последствия. Значение исследования кариотипа. Кариотип может изменяться вследствие мутаций. Мутантные особи (мутанты) часто неспособны скрещиваться с теми, которые имеют нормальный кариотип, и оставлять плодовитых потомков. Кроме того, изменения хромосомного набора могут вызывать различные заболевания. В качестве примера можно привести болезнь Дауна. Мы уже упоминали, что человек имеет 23 пары хромосом. Каждой паре хромосом исследователи присвоили определенный порядковый номер, например хромосомы 1-й пары, 2-й пары и т. п. (рис. 18.5). Если у человека хромосом 21-й пары становится три (вместо двух), у него проявляется болезнь Дауна. У больных снижается умственное развитие, продолжительность жизни у них небольшая (обычно не больше 30 лет), размеры головы уменьшены, лицо плоское, разрез глаз косой и т. п. Несмотря на эти недостатки, такие дети отличаются доброжелательностью и послушанием.

Появление третьей хромосомы в 8-й паре тоже приводит к нарушениям, однако не таким значительным (косоглазие, укороченные пальцы, увеличенные размеры ушей, носа, незначительная умственная отсталость и др.). Встречаются мутации, при которых количество хромосом не увеличивается, а, наоборот, уменьшается. У человека зародыши, которые имеют хромосомный набор 44 аутосомы и лишь одну Х-хромосому (вместо двух), развиваются в женский организм со значительными нарушениями строения и жизненных функций (укороченная шея с крыловидной складкой кожи, нарушение формирования костей, кровеносной системы, половые железы не развиты). Следовательно, степень и характер нарушений зависят от того, в какой именно паре произошли изменения количества хромосом.

Таким образом, исследование кариотипа человека имеет значение для диагностики его наследственных заболеваний. В частности, оно позволяет диагностировать много наследственных заболеваний даже на ранних этапах развития (болезнь Дауна и проч.). Строение кариотипа учитывают в систематике организмов для распознавания близких по строению видов (так называемых видов-двойников). Это связанно с тем, что даже у близких видов хромосомные наборы всегда отличаются или количеством хромосом, или особенностями их строения. По другим структурным признакам виды-двойники различить трудно или вообще невозможно.

Например, два близких вида хомяков (китайский и даурский) очень подобны по строению и отличаются лишь набором хромосом (соответственно 22 и 20 в диплоидном наборе) (рис. 18.7). Примеры видов-двойников известны среди насекомых, земноводных, пресмыкающихся и т. п.

Кроме того, изучение кариотипа позволяет устанавливать степень исторического родства между организмами. Ведь чем подобнее кариотипы двух видов, тем эти организмы ближе по происхождению.

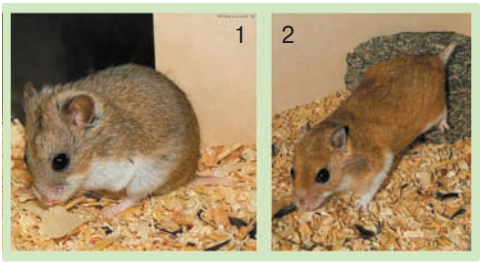


Рис. 18.7. Китайский (1) и даурский (2) хомяки

Ключевые термины и понятия. ***Хроматиды, кариотип, аутосомы, гетерохромосомы.***

Кратко о главном

- Каждая хромосома состоит из двух хроматид.
- Клетки каждого вида эукариот имеют свой особый набор хромосом – кариотип.
- Хромосомы, подобные по строению и набору генов, называют гомологичными, а те, что отличаются по этим показателями – негомологичными. Исключение составляют лишь половые хромосомы, которые у представителей разных полов каждого вида различаются размерами и особенностями строения. Их называют гетерохромосомами, в отличие от неполовых – аутосом.
- Исследование кариотипа важно для диагностики наследственных заболеваний (у человека), для распознавания близких по строению видов (видов-двойников).

Вопросы для самоконтроля

1. *Что называют кариотипом? Чем он характеризуется?* **2.** *Каковы строение и функции хромосом?* **3.** *Какие хромосомы называют половыми?* **4.** *Какие хромосомы называют гомологичными?* **5.** *Какое значение имеет исследование хромосомного набора ядра человека и других организмов?* **6.** *Чем отличаются носители наследственного материала прокариот и эукариот?*

Подумайте. *Почему само существование видов зависит от стабильности их кариотипов?*

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

СТРОЕНИЕ КЛЕТОК ПРОКАРИОТ И ЭУКАРИОТ

Цель: *изучить особенности строения клеток прокариот и эукариот; научиться распознавать на схемах, постоянных микропрепаратах, микрофотографиях прокариотические и эукариотические клетки.*

Оборудование и материалы: *микроскопы, предметные и покровные стекла, пинцеты, стеклянные и деревянные палочки, препаровочные иглы; постоянные микропрепараты бактерий, эпителия ротовой полости, кожицы лука, гифов гриба мукора; электронно-микроскопические фотографии клеток бактерий, животных, растений и грибов.*

Ход работы

1. Подготовьте микроскоп к работе.
2. При малом увеличении микроскопа на постоянных микропрепаратах найдите клетки бактерий, грибов, растений, животных.
3. При отсутствии постоянных микропрепаратов изготовьте временные:
   а) стерилизованной стеклянной или деревянной палочкой снимите с поверхности зубов налет возле десен, перенесите его на предметное стекло и накройте покровным;



б) изготовьте препарат эпителия ротовой полости в капле слюны, для чего проведите стеклянной палочкой по внутренней поверхности щеки, перенесите мазок на предметное стекло;
в) изготовьте препарат кожицы мясистой чешуи лука, для чего перенесите кожицу в каплю воды на предметном стекле и накройте покровным;
г) соберите с куска хлеба или овощей плесень белого цвета – грибницу мукора; разместите ее на предметном стекле и накройте покровным.

4. Рассмотрите при большом увеличении микроскопа клетки бактерий, грибов, растений и животных. Сравните особенности их строения.
5. Рассмотрите электронно-микроскопические фотографии клеток бактерий, грибов, растений и животных. Найдите клеточную стенку, плазматическую мембрану, ядро, эндоплазматическую сеть, комплекс Гольджи, митохондрии, пластиды, вакуоли.
6. Сделайте выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЯВЛЕНИЯМИ ПЛАЗМОЛИЗА И ДЕПЛАЗМОЛИЗА В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ

(выполняют учащиеся академического уровня обучения)

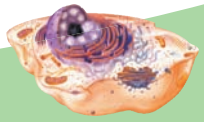


Цель: *наблюдать движение цитоплазмы в клетках растений; исследовать явления плазмолиза и деплазмолиза.*

Оборудование и материалы: *световые микроскопы, предметные и покровные стекла, пинцеты, препаровочные иглы, фильтровальная бумага, дистиллированная вода, 9 %-й водный раствор хлорида натрия, мясистая чешуя лука или лист элодеи.*

Ход работы

1. Подготовьте микроскоп к работе.
2. Изготовьте временный микропрепарат живых клеток кожицы сочной чешуи луковицы или листа элодеи, поместите их в каплю воды на предметное стекло и накройте покровным стеклом.
3. Рассмотрите препарат при малом увеличении микроскопа, выберите участок с живыми клетками. При большом увеличении микроскопа проследите за движением цитоплазмы и хлоропластов (при необходимости подогрейте препарат до +38…40 °С, вводя под покровное стекло теплую воду).
4. Замените воду под покровным стеклом раствором хлорида натрия: с одной стороны стекла введите раствор соли, а у другого (для удаления воды из-под покровного стекла) приложите фильтровальную бумагу. Проследите за явлением плазмолиза – отслоением цитоплазмы от клеточной стенки.
5. После завершения плазмолиза замените раствор хлорида натрия под покровным стеклом дистиллированной водой. Для этого с одной стороны покровного стекла введите дистиллированную воду, а с другой, чтобы удалить раствор хлорида натрия, приложите фильтровальную бумагу. Проследите за явлением деплазмолиза – восстановлением объема цитоплазмы.
6. Сделайте выводы.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ И УЛЬТРАМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЯДРА

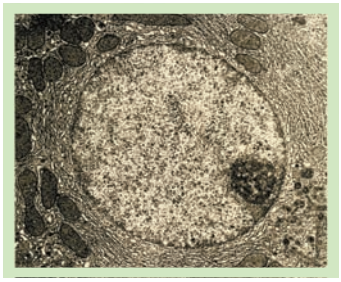
(выполняют учащиеся академического уровня обучения)

Цель: *ознакомиться с особенностями строения ядра; научиться распознавать на схемах, постоянных микропрепаратах, микрофотографиях структуры ядер.*

Оборудование, материалы и объекты исследования: *микроскопы, предметные и покровные стекла, препаровочные иглы, пинцеты; фильтровальная бумага; постоянные микропрепараты яйцеклетки.*

Ход работы

1. При малом увеличении микроскопа рассмотрите постоянный микропрепарат яйцеклетки.
2. Найдите на препарате большие округлые яйцеклетки, окруженные мелкими фолликулярными клетками с удлиненными ядрами, окрашенными в сине-фиолетовый цвет.
3. Обратите внимание на цитоплазму яйцеклетки, окрашенную в розовый цвет.
4. Найдите большое ядро, расположенное в центре клетки.
5. Обратите внимание на многочисленные ядрышки разного размера внутри ядра, окрашенные в темно-фиолетовый цвет.
6. Зарисуйте яйцеклетку, указав на рисунке ее оболочку, цитоплазму, ядро, ядрышки.
7. Рассмотрите электронно-микроскопические фотографии ядра и найдите отдельные детали строения.
8. Сделайте выводы.



Микроскопическое строение ядра

ТЕСТ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

I. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРАВИЛЬНЫЙ

1. **Укажите соединения, из которых в основном состоит плазматическая мембрана:** *а) белки и углеводы; б) углеводы и липиды; в) белки и липиды; г) липиды и минеральные соли.*
2. **Укажите организмы, клетки которых способны к фагоцитозу:** *а) бактерии; б) грибы; в) растения; г) животные.*
3. **Назовите организмы, в состав клеточной оболочки которых входит гликокаликс:** *а) бактерии; б) грибы; в) растения; г) животные.*
4. **Укажите соединения, из которых в основном состоят хромосомы:** *а) белки и липиды; б) белки и ДНК; в) белки и РНК; г) липиды и РНК.*
5. **Назовите фамилию ученого, который предложил термин «клетка»:** *а) Р. Гук; б) Т. Шванн; в) М. Шлейден; г) Р. Вирхов.*

II. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ДВА ПРАВИЛЬНЫХ

1. **Назовите организмы, в клетках которых есть вегетативные и генеративные ядра:** *а) дрожжи; б) улотрикс; в) фораминиферы; г) инфузории.*
2. **Назовите клетки, которые не имеют ядер:** *а) эритроциты большинства млекопитающих; б) клетки эпителия; в) лейкоциты; г) тромбоциты млекопитающих.*

3. Назовите организмы, клетки которых имеют ядро: *а) цианобактерии; б) пенициллин; в) мукор; г) кишечная палочка.*

4. Назовите структуры, расположенные внутри ядра: *а) субъединицы рибосом; б) нити хроматина; в) пластиды; г) митохондрии.*

5. Назовите механизмы пассивного транспорта веществ в клетку: *а) диффузия; б) изменение пространственной структуры белков, пронизывающих мембрану; в) калий-натриевый насос; г) фагоцитоз.*

6. Назовите свойства плазматической мембраны: *а) полупроницаемость; б) способность к самообновлению; в) жесткость; г) способность синтезировать собственные белки.*

III. ЗАДАНИЯ НА УСТАНОВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

1. Определите принадлежность хромосом к тем или иным типам.

Типы хромосом	Названия хромосом
А Подобны по размерам и строению Б Отличаются по размерам и строению В Половые Г Неполовые	1 Гетерохромосомы 2 Аутосомы 3 Политенные 4 Гомологичные 5 Негомологичные

2. Определите соответствие органелл и структур клетки группам организмов, в которых они представлены.

Группы организмов	Органеллы и структуры
А Эритроциты большинства млекопитающих Б Цианобактерии У Клетки кожицы растений Г Клетки инфузорий	1 Ядра не дифференцированы на вегетативные и генеративные 2 Отсутствие ядра в созревших клетках 3 Нуклеоид 4 Ядра вегетативные и генеративные 5 Ситовидные пластинки

3. Установите соответствие между фамилиями ученых и их вкладом в развитие цитологии.

Фамилии ученых	Вклад в развитие цитологии
А Р. Гук Б А. ван Левенгук В Т. Шванн Г И. Мечников	1 Открыл явление фагоцитоза 2 Открыл явление пиноцитоза 3 Предложил термин «клетка» 4 Открыл и описал клетки бактерий 5 Заложил основы клеточной теории

IV. ВОПРОСЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

1. *Как отсутствие ядра влияет на свойства клетки? Ответ обоснуйте.*

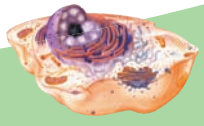
2. *Чем можно объяснить то, что некоторые эукариотические клетки лишены ядра? Приведите примеры таких клеток.*

3. *Какое значение имеет изучение кариотипов организмов для систематики? Ответ обоснуйте.*

4. *Что общего и отличного между наследственным материалом клеток прокариот и эукариот?*

5. *Что общего и отличного между процессами пиноцитоза и фагоцитоза? Клетки каких организмов могут осуществлять эти процессы?*

6. *Какая связь существует между поступлением воды в клетку и поддержанием ее формы? Ответ обоснуйте.*



ТЕМА 2. ЦИТОПЛАЗМА КЛЕТОК

- *Строение и функции цитоплазмы;*
- *строение и функции одномембранных и двухмембранных органелл;*
- *гипотезы происхождения эукариотических клеток и отдельных их органелл;*
- *значение двухмембранных органелл в синтезе веществ и превращениях энергии в клетке, обеспечении внеядерной наследственности.*

§ 19. ЦИТОПЛАЗМА. КЛЕТОЧНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

Вспомните: *какие основные компоненты клеток эукариот вам известны? Что такое цитоз, золь и гель?*

Как вам известно, внутреннее содержимое клетки, за исключением ядра, называют цитоплазмой. Ее основой служит неоднородный коллоидный раствор – цитозоль, или гиалоплазма, в котором находятся разнообразные органеллы, включения и цитоскелет. Цитоплазма как внутренняя среда клетки характеризуется относительным постоянством строения и свойств.

• Цитозоль и его функции. ***Цитозоль*** (от греч. *китос* – клетка и нем. *золь* – коллоидный раствор), или ***гиалоплазма*** (от греч. *гиалос* – стекло и *плазма* – вылепленное, сформированное), – часть цитоплазмы, которая представляет собой бесцветный коллоидный раствор органических и неорганических веществ. Из органических соединений в цитозоле имеются белки, аминокислоты, моно-, олиго- и полисахариды, липиды, различные типы РНК и т. п., а из неорганических – катионы металлов (в частности, Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}), анионы угольной и фосфорной кислот, Cl^{-} и др. В цитозоле между структурами цитоскелета расположены разнообразные органеллы и клеточные включения.

Цитозоль может находиться в жидком (*золь*) или вязком (*гель*) состояниях. Так, в клетках животных внешний слой цитоплазмы (*эктоплазма*), расположенный под плазматической мембраной, прозрачный и плотный. Вместе с тем ее внутренний слой (*эндоплазма*) меньшей плотности, содержит большинство органелл и включения. Эти слои могут переходить один в другой, что наблюдают, например, у амеб во время образования псевдоподий (рис. 19.1). Таким образом, переход цитозоля из одного состояния в другое связан с амебоидным передвижением клеток, а также процессами эндо- и экзоцитоза. **Вспомните:** *эндоцитоз – поглощение клетками твердых частиц и растворов химических соединений; экзоцитоз – выведение из клетки определенных веществ* (например,



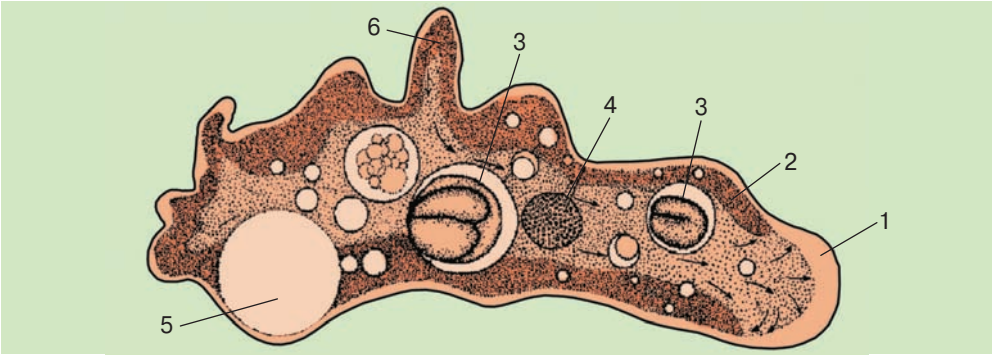


Рис. 19.1. Схематическое строение клетки амебы: 1 – слой эктоплазмы; 2 – слой эндоплазмы; 3 – пищеварительные вакуоли; 4 – ядро; 5 – сократительная вакуоль; 6 – псевдоподия (стрелки на рисунке указывают направление движения цитоплазмы)

гормонов или ферментов). Физическое состояние цитозоля влияет на скорость протекания биохимических процессов: чем он более вязкий, тем медленнее происходят химические реакции. Важным показателем состояния цитозоля является концентрация в нем ионов водорода (pH), от которой, в частности, зависит активность определенных ферментов.

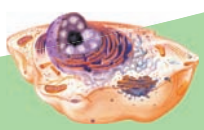
Внутренняя среда клетки объединяет в единую функциональную систему все клеточные компоненты, обеспечивая их взаимодействие. В цитозоле происходят транспорт и часть процессов обмена веществ (например, последовательные реакции бескислородного расщепления глюкозы – гликолиза), синтез белков, необходимых клетке для построения органелл и поддержания жизнедеятельности.

Цитозоль находится в постоянном движении. Вы сможете самостоятельно наблюдать за этим явлением, введя в живую клетку окрашенные соединения во время выполнения лабораторной работы № 8.

• **Клеточные включения,** в отличие от органелл, являются непостоянными компонентами клетки. Они могут появляться и исчезать в процессе ее жизнедеятельности. Обычно это запасные вещества. Клеточные включения содержатся в цитоплазме или вакуолях растительных клеток в растворенном (капли жиров) или твердом (кристаллы, волоконца, зерна и т. п.) состояниях (рис. 19.2). Например, крахмал, накапливаясь в бесцветных пластидах (лейкопластах), в конце концов разрывает их оболочки и попадает в цитоплазму, где сберегается в виде зерен. В клетках растений также могут накапливаться белковые гранулы или жидкие жиры (семена арахиса и др.). В клетках грибов, животных и человека запасается полисахарид гликоген (в виде зерен или волоконец), различные липиды и белки (например, «желток» яйцеклеток).

В цитоплазме могут накапливаться и нерастворимые продукты обмена: соли мочевой кислоты, кристаллы щавелевокислого кальция (в щавле, бегонии и др.). Под действием ферментов большинство клеточных включений распадается на соединения, участвующие в обмене веществ. Они могут использоваться клеткой в процессе роста, растениями – во время цветения, созревания плодов и т. п.

У некоторых одноклеточных животных есть особые внутриклеточные структуры, выполняющие опорную функцию. Как и включения, это



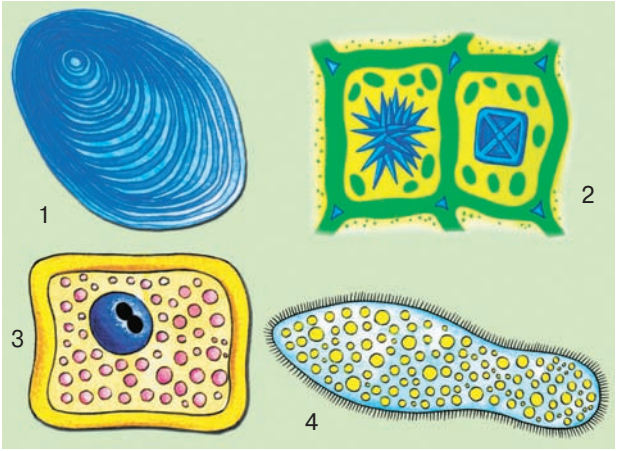


Рис. 19.2. Клеточные включения: 1 – зерна крахмала из клеток клубней картофеля; 2 – кристаллы щавелевокислого калия в клетках бегонии; 3 – белковые включения в клетке зерновки пшеницы; 4 – капли жира в клетке инфузории-туфельки

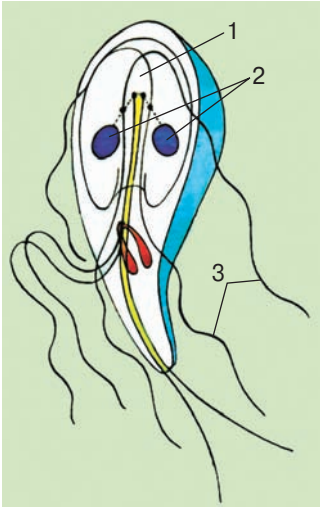


Рис. 19.3. Клетка лямблии: 1 – опорный стержень; 2 – ядра; 3 – жгутики

конструкции определенной формы, расположенные в гиалоплазме и не ограниченные мембранами. Например, в цитозоле паразитических одноклеточных животных *лямблий* есть опорный стержень, состоящий из органического вещества (рис. 19.3). Ранее мы вспоминали, что у морских одноклеточных животных радиолярий капсула из органического вещества разделяет цитоплазму на внешнюю и внутреннюю части, свойства которых различны. Кроме того, эти животные имеют сложно устроенный внутриклеточный скелет в виде вложенных один в другой дырчатых слоев, корон и т. п., состоящий из SiO_2 или $SrSO_4$.

Ключевые термины и понятия. ***Цитозоль, или гиалоплазма, клеточные включения.***

Кратко о главном

- Внутреннее содержимое клетки, за исключением ядра, называют цитоплазмой. Ее основой служит неоднородный коллоидный раствор – цитозоль, или гиалоплазма.
- Цитозоль – прозрачный раствор органических и неорганических веществ. В нем расположены разнообразные взаимодействующие между собой органеллы и клеточные включения.
- Цитозоль может находиться в жидком (золь) или вязком (гель) состояниях. Его физическое состояние влияет на скорость биохимических процессов. Цитозоль как внутренняя среда клетки объединяет в единую функциональную систему все клеточные компоненты и обеспечивает их взаимодействие.

Вопросы для самоконтроля

1. *Что такое цитоплазма?* **2.** *Какой состав и функции цитозоля?* **3.** *В каких состояниях может находиться цитозоль? Дайте им характеристику.* **4.** *Что такое клеточные включения? Какова их роль в клетке?*

Подумайте. *Как различные состав и состояния цитозоля обеспечивают его функции?*



§ 20. ОДНОМЕМБРАННЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ

Вспомните: *какие органеллы окружены одной мембраной? Какое строение сперматозоида человека? Какие особенности строения кутикулы членистоногих? Какие вакуоли встречаются в клетках растений, грибов и животных? Что такое пиноцитоз и фагоцитоз?*

Вы уже знаете, что в клетках эукариот есть органеллы, ограниченные одной мембраной. Из них рассмотрим эндоплазматическую сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли и пероксисомы.

• **Эндоплазматическая сеть** (рис. 20.1) представляет собой систему пустот в виде микроскопических канальцев и их утолщений (так называемых цистерн). Диаметр канальцев составляет 50–100 нм, а цистерн – до 1000 нм и более. Они ограничены мембраной и соединяются между собой. Различают две разновидности эндоплазматической сети: зернистую и незернистую.

Зернистая (гранулярная) эндоплазматическая сеть получила свое название потому, что на ее мембранах расположены органеллы – рибосомы. На мембранах ***незернистой (агранулярной) эндоплазматической сети*** рибосомы отсутствуют.

Обе разновидности эндоплазматической сети имеют тесные пространственные связи; в частности, их мембраны могут непосредственно переходить одна в другую.

Одна из основных функций зернистой эндоплазматической сети – обеспечение транспорта белков по клетке. Часть синтезированных в клетке белков используется для ее собственных потребностей, а часть выводится

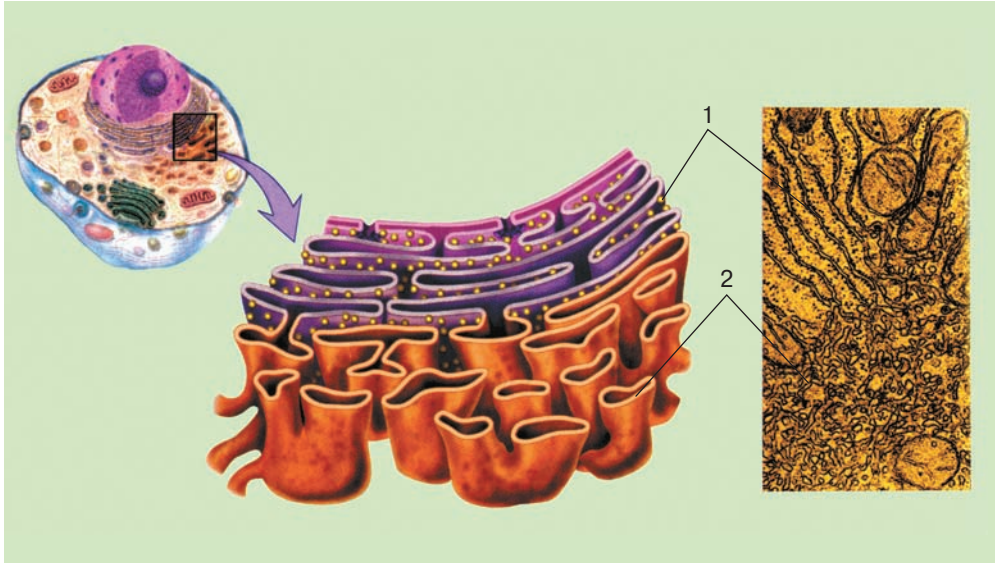


Рис. 20.1. Эндоплазматическая сеть: 1 – зернистая; 2 – незернистая

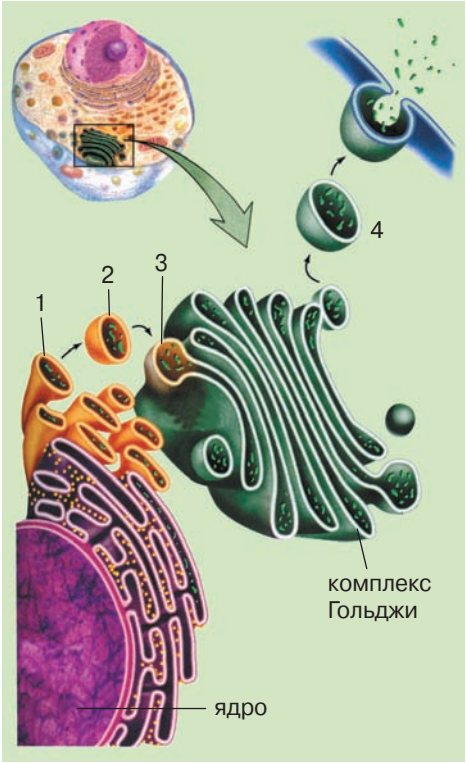


Рис. 20.2. Белки образуются на мембранах эндоплазматической сети, а потом внутри окруженных мембраной пузырьков (1) отделяются (2) и направляются к комплексу Гольджи (3)

за пределы клетки (рис. 20.2). Белки синтезируются при участии рибосом, которые могут находиться в цитозоле и на поверхности зернистой эндоплазматической сети. В ее полостях белки приобретают свойственную им пространственную структуру (конформацию), при образовании сложных белков к ним могут присоединяться небелковые компоненты.

На мембранах незернистой эндоплазматической сети синтезируются липиды, углеводы, определенные гормоны, которые могут накапливаться в ее полостях. В этих полостях (например, в клетках печени) накапливаются и обезвреживаются некоторые ядовитые соединения – токсины. Кроме того, полости эндоплазматической сети мышечных клеток, нейронов, железистого эпителия служат внутриклеточным депо (местом хранения) ионов кальция. Это важно для функционирования мышечных волокон: во время их сокращения концентрация ионов кальция резко возрастает, а во время расслабления – снижается.

• Эндоплазматическая сеть функционально связана с комплексом Гольджи. **Комплекс, или аппарат, Гольджи** (названный так в честь итальянского ученого К. Гольджи, который открыл эту структуру) – одна из универсальных органелл клеток эукариот. Ее основной структурной единицей служит ***диктиосома*** – скопление одномембранных плоских цистерн (рис. 20.3). Рядом с ними расположены пузырьки и канальцы. К одному из полюсов каждой из цистерн постоянно подходят пузырьки, которые отделяются от эндоплазматической сети и содержат образованные на ней вещества. Сливаясь с цистернами комплекса Гольджи, эти пузырьки отдают им свое содержимое. От противоположного полюса цистерн отделяются наполненные различными веществами пузырьки (см. рис. 20.2, 4).



Рис. 20.3. Комплекс Гольджи (фотография сделана с помощью электронного микроскопа)

Функции комплекса Гольджи разнообразны. Прежде всего, в этой органелле накапливаются и опреде-



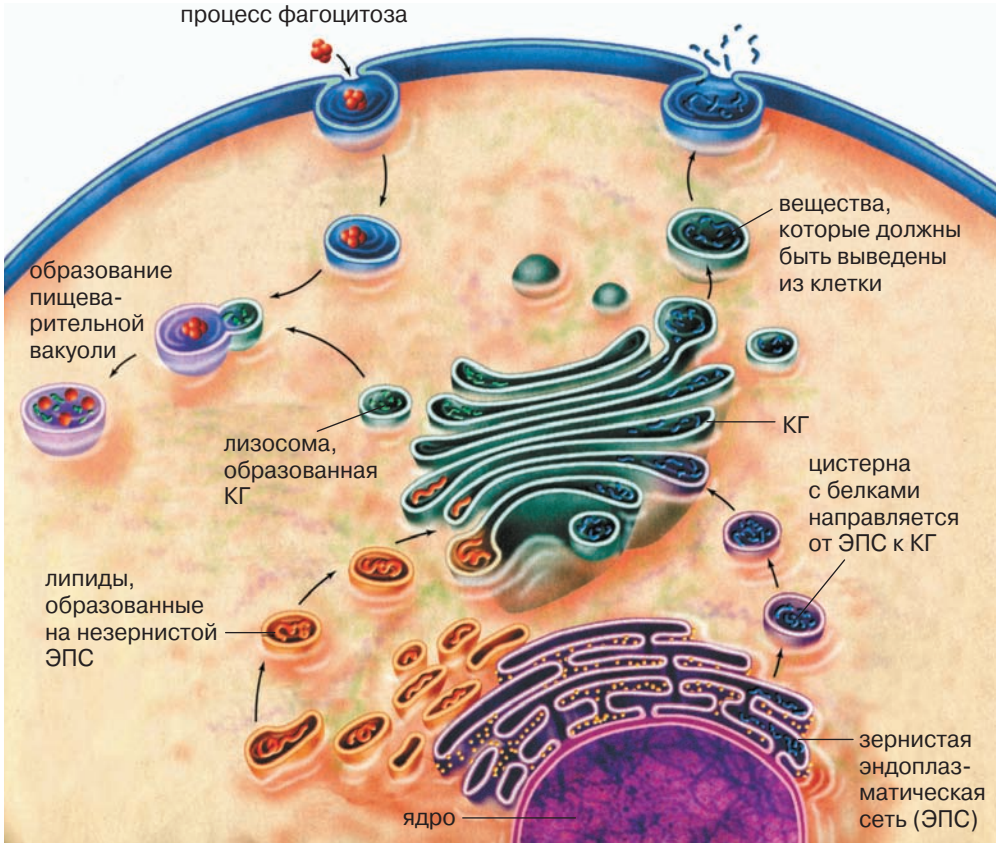


Рис. 20.4. Схема, иллюстрирующая функции комплекса Гольджи (КГ)

ленным образом преобразуются некоторые соединения (например, белки могут соединяться с углеводами или липидами). Вещества, которые поступили к цистернам комплекса Гольджи, сортируются по химическому составу и назначению. Отсортированные молекулы переходят от одних цистерн к другим и со временем отделяются от этой органеллы в виде пузырьков. Эти пузырьки транспортируются с помощью микротрубочек к разным частям клетки, где могут передавать свое содержимое другим органеллам, или, сливаясь с плазматической мембраной, выводят его из клетки (рис. 20.4). Итак, одна из основных функций комплекса Гольджи – накопление, химические преобразования и упаковка синтезированных веществ в пузырьках.

В цистернах комплекса Гольджи синтезируются некоторые полисахариды. Они могут соединяться с белками, поступающими из зернистой эндоплазматической сети. В растительных клетках в комплексе Гольджи образуются структурные компоненты клеточной стенки, а в клетках членистоногих – кутикулы.

Благодаря комплексу Гольджи в головке сперматозоидов образуется копье- или чашевидное образование – ***акросома*** (от греч. *акрон* – верхушка). Вы помните, что эта органелла содержит ферменты, растворяющие оболочку яйцеклетки во время оплодотворения. Сократительные вакуо-

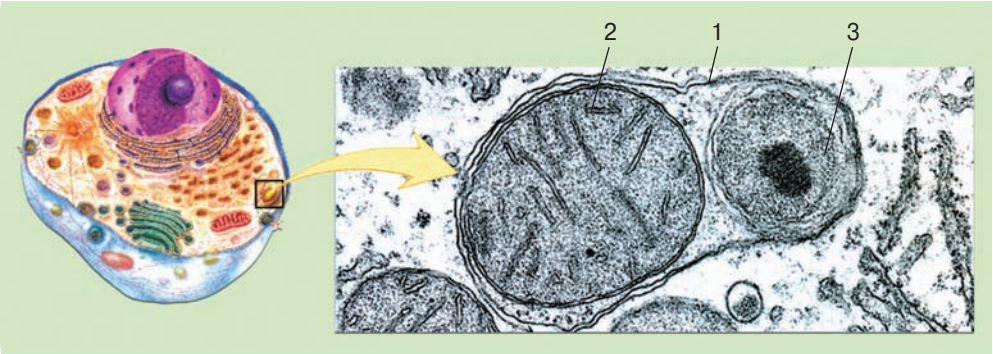


Рис. 20.5. Пищеварительнаня вакуоль (1), в которой перевариваются митохондрия (2) и пероксисома (3), срок жизни которых исчерпан

ли пресноводных одноклеточных животных и водорослей также формируются из элементов комплекса Гольджи. Эта органелла участвует и в построении плазматической мембраны, формировании лизосом, которые отделяются от нее в виде окруженных мембраной пузырьков (рис. 20.4).

• **Лизосомы** (от греч. *лизис* – растворение) – органеллы в виде микроскопических пузырьков диаметром 100–180 нм, окруженных мембраной. Они содержат ферменты, способные расщеплять различные соединения (белки, углеводы, липиды и т. п.). Эти ферменты синтезируются на мембранах зернистой эндоплазматической сети. В клетке могут быть разные виды лизосом, отличающихся особенностями строения и функциями.

Одни из лизосом, сливаясь с пиноцитозными или фагоцитозными пузырьками, участвуют в формировании пищеварительных вакуолей (см. рис. 20.4). При этом активируются ферменты и содержимое вакуоли переваривается. Таким образом, лизосомы обеспечивают процессы внутриклеточного пищеварения. Лизосомы другого типа участвуют в переваривании отдельных частей клетки (рис. 20.5), целых клеток или их групп. Считают, что эти лизосомы уничтожают дефектные органеллы, поврежденные или мертвые клетки, разрушают личиночные органы насекомых и земноводных (например, хвосты и жабры головастиков бесхвостых амфибий) и т. п.

Лизосомы могут приближаться к плазматической мембране и выводить свое содержимое – ферменты – наружу. Например, у гриба *Нейроспоры* таким образом обеспечиваются процессы внеклеточного пищеварения.

• **Вакуоли** (от лат. *вакуус* – пустой) – органеллы клетки в виде пустот, окруженных мембраной и заполненных жидкостью. Различают разные виды вакуолей. Об образовании ***пищеварительных вакуолей***, в которых перевариваются поступающие в клетку соединения и микроорганизмы, мы уже упоминали.

Вакуоли растительных клеток образуются из пузырьков, отделившихся от эндоплазматической сети. Со временем мелкие вакуоли сливаются в большие, которые могут занимать почти весь объем цитоплазмы. Они заполнены клеточным соком – водным раствором органических и неорганических соединений. Вакуоли поддерживают определенный уро-



вень внутриклеточного давления (*тургора*), обеспечивая сохранение формы клеток, содержат запасные питательные вещества, конечные продукты обмена или пигменты. Красные, синие, желтые и др. пигменты, растворенные в клеточном соке, определяют окраску отдельных клеток и частей растений в целом (например, плодов вишни, корнеплодов редиса, лепестков цветов и т. п.). Через мембраны вакуолей вещества перемещаются из цитозоля в их полости и наоборот.

В клетках пресноводных одноклеточных животных и водорослей есть ***сократительные вакуоли*** – покрытые мембраной пузырьки, способные изменять объем, выводя свое содержимое наружу. Это связано с тем, что в пресной воде концентрация солей значительно ниже, чем в цитоплазме. Поэтому согласно физическим законам вода из окружающей среды поступает в клетку, повышая давление внутри нее. Излишек жидкости накапливается в сократительной вакуоле. Стенка вакуоли сжимается благодаря сократительным белкам, входящим в ее состав, и выталкивает жидкость наружу из клетки. Таким образом, сократительные вакуоли регулируют внутриклеточное давление, выводя излишки воды из клетки и предотвращая ее разрушение. Кроме того, эти органеллы обеспечивают выведение некоторых растворимых продуктов обмена веществ. Деятельность сократительной вакуоли имеет значение и для газообмена, поскольку способствует поступлению в клетку воды с растворенным кислородом и выведению углекислого газа.

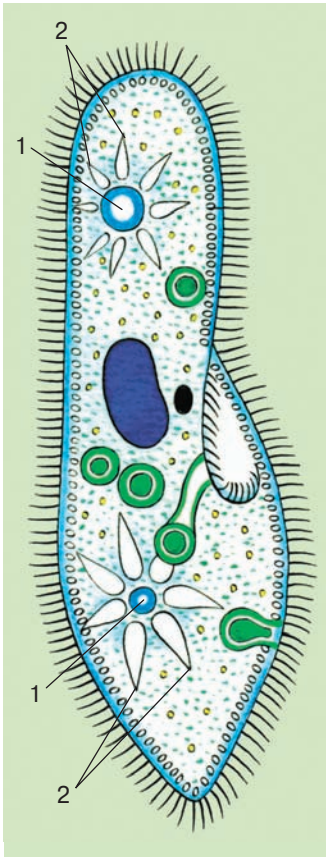


Рис. 20.6. Сократительные вакуоли инфузории-туфельки: 1 – сократительные пузырьки; 2 – радиальные каналы

У инфузории строение сократительных вакуолей наиболее сложное. Например, у инфузории-туфельки (рис. 20.6) вакуоль состоит из сократительного пузырька (резервуара), который открывается наружу отверстием – порой. В пузырек впадают длинные тонкие радиальные каналы, в которые из цитоплазмы поступают водные растворы. Сначала сокращаются стенки канальцев, проталкивая жидкость к резервуару, а затем сокращается наполненный резервуар, выводя содержимое через пору.

• **Пероксисомы** (от греч. *пер* – вокруг, лат. *окси* – кислород и греч. *сома* – тело), или ***микротельца*** (рис. 20.7), – округлые одномембранные органеллы диаметром около 0,3–3,5 мкм.

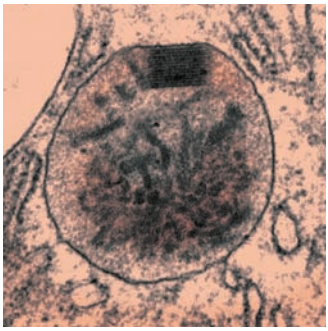
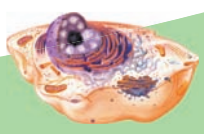


Рис. 20.7. Одномембранная органелла – пероксисома



Пероксисомы обнаружены у различных организмов: одноклеточных и многоклеточных животных, дрожжей, высших растений, водорослей. Эти органеллы часто расположены вблизи мембран эндоплазматической сети, митохондрий, пластид. В них содержатся разнообразные ферменты, в частности те, что обеспечивают преобразование жиров в углеводы или способны расщеплять перекись водорода H_2O_2 на кислород и воду. У растений пероксисомы участвуют в процессах поглощения кислорода во время световой фазы фотосинтеза.

Продолжительность существования одной пероксисомы незначительна – всего 5–6 суток. Новые пероксисомы образуются в результате деления старой.

Ключевые термины и понятия. ***Эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, акросома, лизосомы, пероксисомы.***

Кратко о главном

- В клетках эукариот есть органеллы, окруженные одной мембраной: эндоплазматическая сеть, комплекс, или аппарат, Гольджи, лизосомы, вакуоли, пероксисомы.
- Эндоплазматическая сеть – система полостей в виде микроскопических канальцев и их утолщений. Различают две ее разновидности: зернистую и незернистую. Зернистая эндоплазматическая сеть на своих мембранах несет рибосомы, одна из ее функций – участие в биосинтезе белков. На мембранах незернистой эндоплазматической сети нет рибосом; на них синтезируются липиды, углеводы, некоторые гормоны.
- Комплекс Гольджи включает диктиосому – скопление плоских цистерн, рядом с которыми расположены цистерны и канальцы. Функции комплекса Гольджи – это накопление, химические изменения и упаковка в цистерны синтезированных веществ. Кроме того, эта органелла обеспечивает синтез некоторых полисахаридов и участвует в формировании лизосом, акросом, сократительных вакуолей.
- Лизосомы – микроскопические пузырьки, содержащие ферменты, способные расщеплять разные соединения в процессах внутриклеточного пищеварения. Одни лизосомы, сливаясь с пиноцитозными или фагоцитозными пузырьками, участвуют в формировании пищеварительных вакуолей, другие – в переваривании отдельных компонентов клеток, целых клеток или их групп.
- Вакуоли – одномембранные органеллы заполненные жидкостью. В пищеварительных вакуолях перевариваются поступающие в клетку питательные вещества и микроорганизмы. Вакуоли растительных клеток заполнены клеточным соком, они служат для поддержания внутриклеточного давления, накопления запасных питательных веществ, продуктов обмена, пигментов и т. п. Сократительные вакуоли в клетках пресноводных одноклеточных животных и водорослей регулируют внутриклеточное давление, выводя наружу лишнюю жидкость вместе с растворенными в ней продуктами обмена.



Пероксисомы, или микротельца, – округлые органеллы, содержащие различные ферменты, в том числе обеспечивающие преобразование жиров в углеводы и расщепление перекиси водорода.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие одномембранные органеллы встречаются в клетках эукариот?* **2.** *Какие сходства и отличия в строении и функциях зернистой и незернистой эндоплазматической сети?* **3.** *Какие особенности строения и функций комплекса Гольджи?* **4.** *Какие функции лизосом в клетке?* **5.** *Какие вы знаете виды вакуолей? Каковы их функции?* **6.** *Какие органеллы называют пероксисомами? Какова их роль в клетке?*

Подумайте. *В чем заключается функциональная связь между отдельными одномембранными органеллами клеток?*

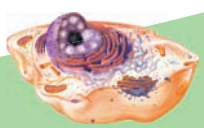
§ 21. ДВУХМЕМБРАННЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ: МИТОХОНДРИИ И ПЛАСТИДЫ

Вспомните: *какие функции хлоропластов? Какие виды пластид вы знаете? Какие организмы называют анаэробами? Какое соединение называют АТФ? Какие особенности строения клеток разных растительных тканей?*

Митохондрии и пластиды – органеллы клеток эукариот, поверхностный аппарат которых состоит из двух мембран, разделенных межмембранным промежутком. Они пространственно не связаны с другими органеллами и принимают участие в энергетическом обмене.

• **Митохондрии** (от греч. *митос* – нить и *хондрион* – зерно) – органеллы клеток большинства видов растений, грибов и животных. Их нет лишь у некоторых одноклеточных эукариот, которые обитают в бескислородной среде, – *анаэробов*. Митохондрии служат своеобразными клеточными «генераторами энергии». Они имеют вид сфер, палочек, иногда разветвленных нитей (длиной 0,5–10 мкм и более). Число этих органелл в клетках разных типов может варьировать от 1 до 100 000 и более. Оно зависит от того, насколько активно происходят процессы обмена веществ и преобразование энергии. Так, клетка значительных размеров амебы *хаос* содержит до 500 000 митохондрий, тогда как в мелкой клетке паразитических жгутиконосцев – *трипаносом* (возбудителей сонной болезни человека) есть лишь одна гигантская разветвленная митохондрия. Интересной особенностью строения митохондрий трипаносом и некоторых других паразитов человека и животных (таких как лейшмании) является наличие ***кинетопласта***. Это четко выраженное скопление ДНК в участке единственной гигантской митохондрии. Ученые считают, что благодаря кинетопласту жгутики эффективно обеспечиваются энергией при движении в вязкой среде (крови и лимфе).

Наружная мембрана митохондрии гладкая, а внутренняя образует складки, направленные внутрь органеллы – ***кристы*** (рис. 21.1). Кристы имеют вид дискообразных, трубчатых или пластинчатых, зачастую разветвленных образований. На поверхности крист, граничащей с внутренней средой митохондрии, есть особые грибовидные белковые образования –



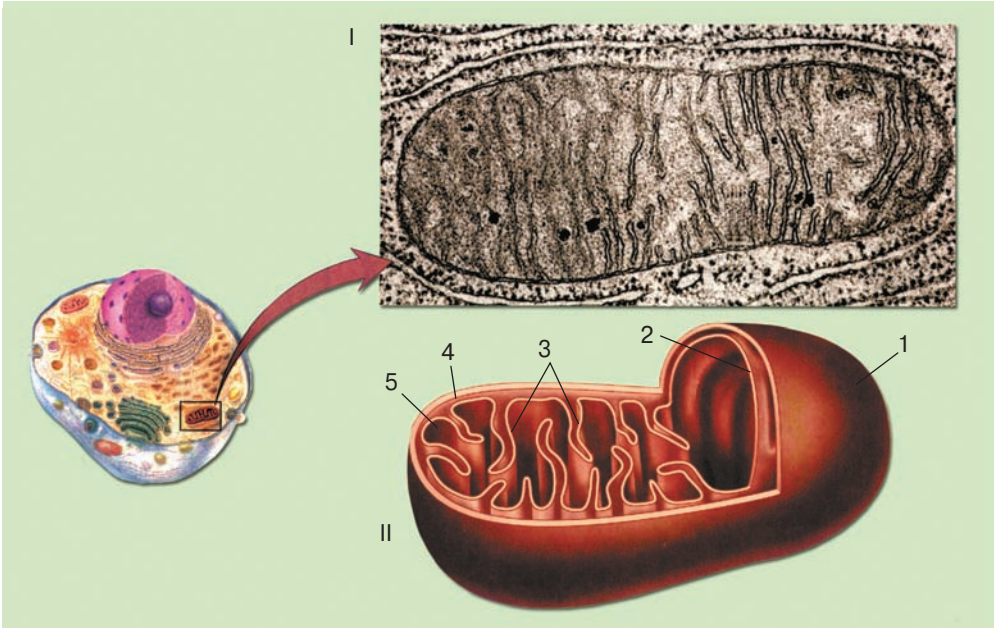


Рис. 21.1. Строение митохондрии: I. Фотография, сделанная с помощью электронного микроскопа. II. Схема строения: 1 – наружная мембрана; 2 – внутренняя мембрана; 3 – кристы; 4 – межмембранное пространство; 5 – матрикс

АТФ-сомы (от греч. *сома* – тело) (рис. 21.2). Они содержат комплекс ферментов, необходимых для синтеза АТФ.

Внутреннее пространство митохондрий заполнено полужидким веществом – *матриксом*. Там находятся рибосомы, молекулы ДНК, иРНК, тРНК и др. и синтезируются белки, входящие в состав внутренней мембраны.

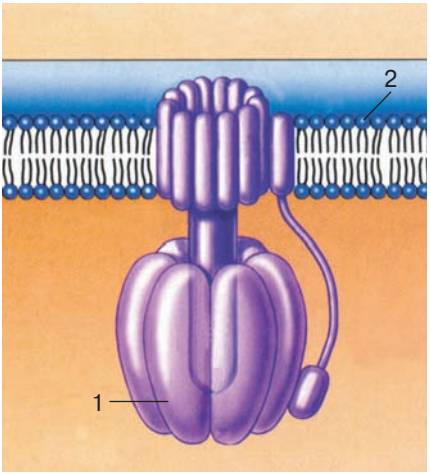


Рис. 21.2. Схема строения АТФ-сомы – структуры, в состав которой входят ферменты, обеспечивающие синтез молекул АТФ: 1 – АТФ-сома; 2 – внутренняя мембрана митохондрии

Основная функция митохондрий – синтез АТФ. Этот процесс происходит за счет энергии, которая высвобождается во время окисления органических соединений. Начальные реакции происходят в матриксе, а завершающие – на внутренней мембране митохондрий.

• **Пластиды** (от греч. *пластидес* – вылепленный, сформированный) – органеллы клеток растений и некоторых одноклеточных животных (например, эвглены зеленой). Известно три типа пластид – хлоропласты, хромопласты и лейкопласты, различающиеся по окраске, особенностям строения и функциям.

Хлоропласты (от греч. *хлорос* – зеленый) – пластиды, обычно окрашенные в зеленый цвет благодаря наличию



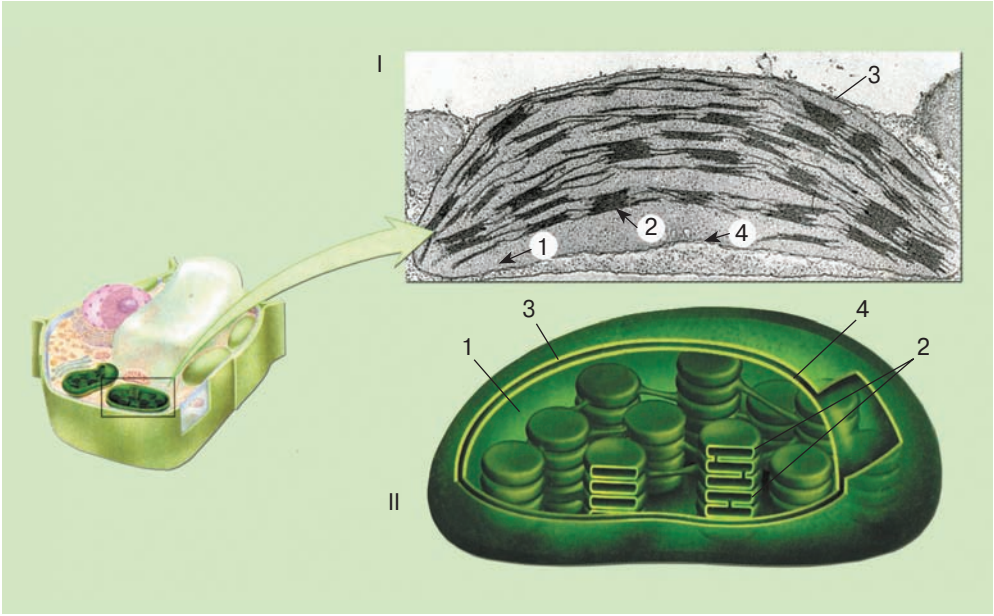


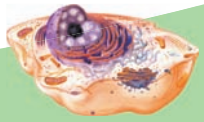
Рис. 21.3. Внутреннее строение хлоропласта: I. Фотография, сделанная с помощью электронного микроскопа. II. Схема строения: 1 – строма; 2 – граны; 3 – наружная мембрана; 4 – внутренняя мембрана

пигмента хлорофилла. Но в клетках многих групп водорослей (красных, бурых и т. п.) их цвет может быть иным. Это объясняется тем, что в них, кроме хлорофилла, есть и другие пигменты – красные, желтые, бурые и др.

Как и у митохондрий, наружная мембрана хлоропластов гладкая, а внутренняя образует выросты, направленные внутрь стромы (рис. 21.3). *Строма* – комплекс веществ, заполняющих внутреннее пространство хлоропласта. С внутренней мембраной связаны особые структуры – ***тилакоиды***. Это плоские одномембранные цистерны. Большие тилакоиды расположены одиночно, а более мелкие собраны в ***граны*** (группы по 5–20 шт., напоминающие стопки монет). В тилакоидах содержатся основные (хлорофиллы) и вспомогательные (каротиноиды) пигменты, а также все ферменты, необходимые для осуществления фотосинтеза. В строме хлоропластов есть молекулы ДНК, разные типы РНК, рибосомы, зерна запасного полисахарида (преимущественно крахмала).

Основная функция хлоропластов – осуществление фотосинтеза. Кроме того, в них, как и в митохондриях, на мембране тилакоидов имеются АТФ-сомы (см. рис. 21.2) и происходит синтез АТФ. Также в хлоропластах синтезируются некоторые липиды, белки мембран тилакоидов, ферменты, обеспечивающие реакции фотосинтеза.

Лейкопласты (от греч. *лейкос* – бесцветный) – бесцветные пластиды разнообразной формы, в которых запасаются некоторые соединения (крахмал, белки и т. п.). В отличие от хлоропластов, у лейкопластов внутренняя мембрана может образовывать лишь немногочисленные тилакоиды. В строме лейкопластов содержатся рибосомы, ДНК, разные типы РНК, ферменты, обеспечивающие синтез и расщепление запасных ве-



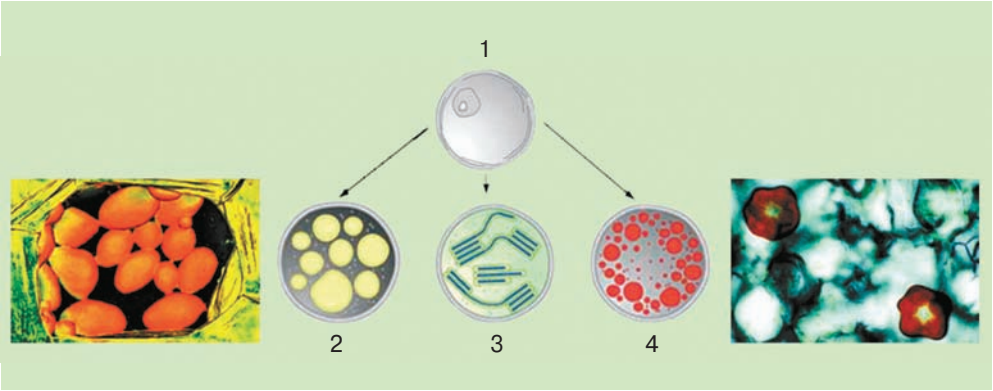


Рис. 21.4. Схема образования пластид: 1 – первичная пластида; 2 – лейкопласт; 3 – хлоропласт; 4 – хромопласт

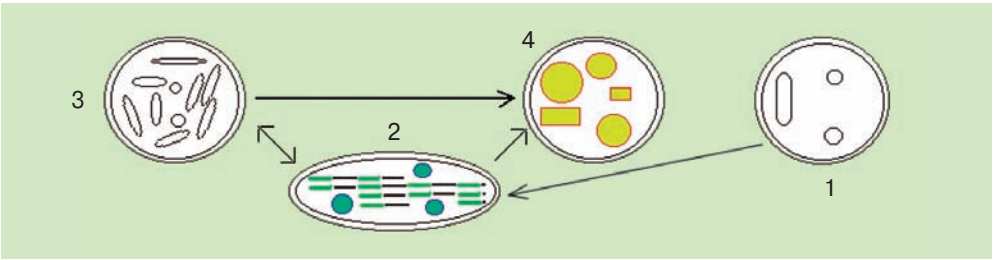


Рис. 21.5. Схема взаимопереходов одних пластид в другие: 1 – первичная пластида; 2 – хлоропласт; 3 – лейкопласт; 4 – хромопласт

ществ (крахмала, белков и т. п.). Лейкопласты могут быть полностью заполнены зернами крахмала.

Хромопласты (от греч. *хроматос* – цвет, краска) – пластиды, окрашенные в разные цвета (например, желтый, красный, фиолетовый). Цвет этим пластидам придают различные пигменты (преимущественно каротиноиды), которые в них накапливаются. Поскольку хлорофилл в хромопластах отсутствует, то зеленой окраски они не имеют. Хромопласты обесцвечивают расцветку лепестков цветов, плодов, листьев и других частей растений. Внутренняя система мембран в хромопластах отсутствует или же образована отдельными тилакоидами.

• Связи между пластидами различных типов. Пластиды всех типов имеют общее происхождение: все они возникают из первичных пластид клеток образовательной ткани – мелких (до 1 мкм) пузырьков, окруженных двумя мембранами (рис. 21.4). Кроме того, пластиды одного типа способны превращаться в пластиды другого (рис. 21.5). Так, на свету в первичных пластидах формируется внутренняя система мембран, синтезируется хлорофилл, и они превращаются в хлоропласты. То же характерно и для лейкопластов, способных превращаться в хлоропласты или хромопласты. При старении листьев, стеблей, созревании плодов в хлоропластах разрушается хлорофилл, упрощается строение внутренней мембранной системы, и они превращаются в хромопласты. Хромопласты

являются конечным этапом развития пластид: в пластиды других типов они не превращаются.

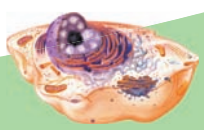
• **Автономия митохондрий и хлоропластов в клетке.** Хлоропласты и митохондрии, в отличие от других органелл, характеризуются определенной степенью независимого (автономного) от других частей клетки функционирования. Чем это обусловлено? Во-первых, эти органеллы содержат собственную наследственную информацию – кольцевую молекулу ДНК, напоминающую ДНК из ядерной зоны клеток прокариот. Во-вторых, митохондрии и пластиды имеют аппарат, который осуществляет синтез собственных белков (рибосомы, а также все виды РНК). Вдобавок, в отличие от других органелл, митохондрии и пластиды не возникают из других мембранных структур клетки, а размножаются делением.

Молекулы ДНК в митохондриях и пластидах обеспечивают механизмы цитоплазматической наследственности, так как способны сохранять и передавать во время деления этих органелл определенную часть наследственной информации.

Ключевые термины и понятия. ***Кристы, АТФ-сомы, тилакоиды, граны.***

Кратко о главном

- Митохондрии и пластиды – органеллы клеток эукариот, поверхностный аппарат которых состоит из двух мембран.
- Внешняя мембрана митохондрий гладкая, а внутренняя образует направленные внутрь складки – кристы. На поверхности внутренней мембраны есть грибовидные образования – АТФ-сомы, содержащие комплекс ферментов, необходимых для синтеза АТФ. Внутреннее пространство митохондрий заполнено полужидким веществом – матриксом, где содержатся рибосомы, молекулы ДНК, иРНК, тРНК и т. п. Основная функция митохондрий – синтез АТФ.
- Пластиды – органеллы клеток растений и некоторых одноклеточных животных (эвглена и т. п.). Три известные типы пластид – хлоропласты, хромопласты, лейкопласты – различаются окраской, особенностями строения и функциями.
- Хлоропласты – пластиды зеленого цвета, обусловленного пигментом хлорофиллом. В них происходят процессы фотосинтеза. Внешняя мембрана хлоропластов гладкая, а внутренняя образует выросты, направленные внутрь стромы. С внутренней мембраной связаны тилакоиды, напоминающие уплощенные цистерны. Они могут быть собраны в граны и содержать пигменты (в частности, хлорофиллы) и ферменты, необходимые для осуществления фотосинтеза.
- Лейкопласты – бесцветные пластиды разнообразной формы, в них запасаются некоторые соединения (крахмал, белки и т. п.). Хромопласты – пластиды, окрашенные в разные цвета. Они придают определенный цвет лепесткам цветов, плодам, листьям и т. п. Внутренняя мембрана лейкопластов образует немногочисленные тилакоиды. Пластиды одного типа способны превращаться в пластиды другого. Лишь хромопласты неспособны к преобразованиям, так как являются конечным этапом существования пластид.



Хлоропласты и митохондрии, в отличие от других органелл, характеризуются определенной степенью автономии в клетке. Они содержат собственную наследственную информацию – кольцевую молекулу ДНК, а также аппарат, который осуществляет синтез собственных белков. В отличие от прочих органелл, митохондрии и пластиды не возникают из других мембранных структур клетки, а размножаются путем деления.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какое строение поверхностного аппарата митохондрий и пластид?* **2.** *Как строение митохондрий связано с их функциями?* **3.** *Какие вы знаете типы пластид?* **4.** *Какое строение хлоропластов?* **5.** *Какие функции хлоропласты выполняют в клетке?* **6.** *Каковы строение и функции лейкопластов и хромопластов?* **7.** *Какие взаимные переходы возможны между пластидами разных типов?* **8.** *Почему функционирование митохондрий и хлоропластов в клетке относительно независимо от других ее структур?*

Подумайте. *Некоторые ученые считают, что клетки эукариот возникли вследствие симбиоза нескольких прокариотических организмов. Какие особенности строения и свойств митохондрий и хлоропластов лежат в основе этого предположения?*

§ 22. РИБОСОМЫ. ОРГАНЕЛЛЫ ДВИЖЕНИЯ. КЛЕТОЧНЫЙ ЦЕНТР

Вспомните: *какие органеллы движения присущи одноклеточным эукариотам? Как происходит фагоцитоз? Какие виды иммунитета вам известны?*

• **Рибосомы** (от *рибонуклеиновая кислота* и греч. *сома* – тельце) – лишенные поверхностной мембраны органеллы, участвующие в синтезе белков. Они присутствуют в клетках как прокариот, так и эукариот, имеют вид сферических телец, состоящих из двух разных по размерам частей – *субъединиц*: большой и малой (рис. 22.1). Каждая из субъединиц состоит из взаимодействующих между собой рРНК и белков. Субъединицы рибо-

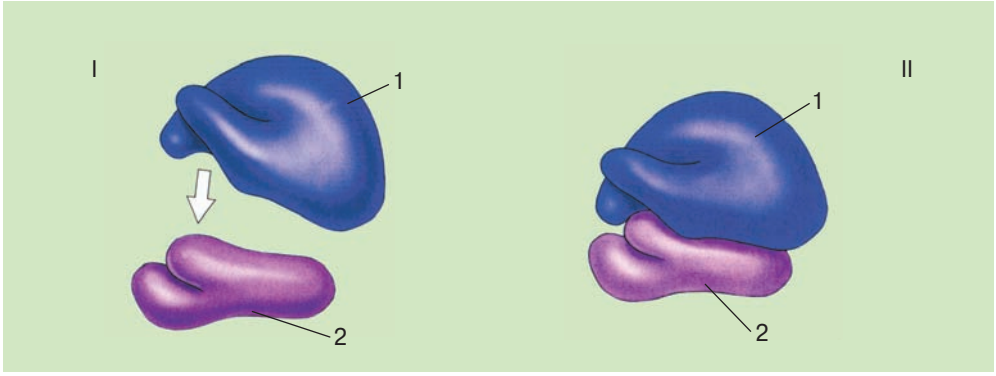


Рис. 22.1. Строение рибосомы: I. Разъединенные большая (1) и малая (2) субъединицы. II. Большая (1) и малая (2) субъединицы в составе рибосомы

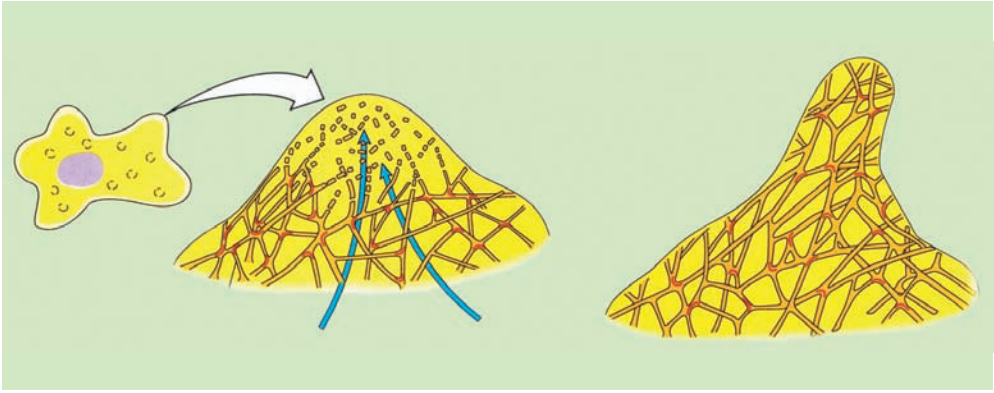


Рис. 22.2. Схема образования псевдоподии (стрелками показано направление движения цитоплазмы). Обратите внимание, что во время образования псевдоподии увеличивается число микротрубочек

сом могут разъединяться после завершения синтеза белковой молекулы и вновь соединяться между собой перед его началом.

Субъединицы образуются в ядрышке: на молекуле ДНК синтезируется рРНК, которая соединяется с особыми рибосомальными белками, поступающими из цитоплазмы. Готовые субъединицы транспортируются в цитоплазму. Рибосомы митохондрий и пластид меньше расположенных цитоплазме по размерам, но подобны по строению. Количество рибосом в клетке зависит от интенсивности процессов биосинтеза белков.

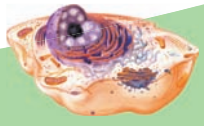
В клетках многих эукариотических организмов есть **органеллы движения**: ложноножки (псевдоподии), жгутики и реснички.

• **Псевдоподии** (от греч. *псевдос* – ненастоящий и *подос* – нога) – непостоянные выросты цитоплазмы клеток некоторых одноклеточных (например, амеб, фораминифер, радиолярий) (рис. 22.2) или многоклеточных животных (например, лейкоциты). Количество и форма псевдоподий довольно постоянны и характерны для разных групп одноклеточных животных. В образовании псевдоподий участвуют элементы цитоскелета.

• **Жгутики и реснички** имеются у многих одноклеточных организмов (хламидомонада, вольвокс, эвглена, инфузории), а также характерны для некоторых клеток многоклеточных (клетки мерцательного эпителия дыхательных путей млекопитающих, сперматозоиды животных, высших споровых растений и т. п.).

Жгутики и реснички имеют вид тонких выростов цитоплазмы, покрытых плазматической мембраной. Внутри этих органелл расположена сложная система микротрубочек. На поперечном срезе через внеклеточную часть жгутика или реснички заметно, что по периферии расположено кольцо из девяти комплексов микротрубочек, по две в каждом, и еще две микротрубочки – в центре (рис. 22.3).

Центральные микротрубочки выполняют опорную функцию, а периферические – обеспечивают движение. Часть жгутиков и ресничек, расположенная в цитоплазме, имеет название *базального* (от греч. *базис* – основа) *тельца*. Оно состоит из девяти периферических комплексов по три микротрубочки в каждом.



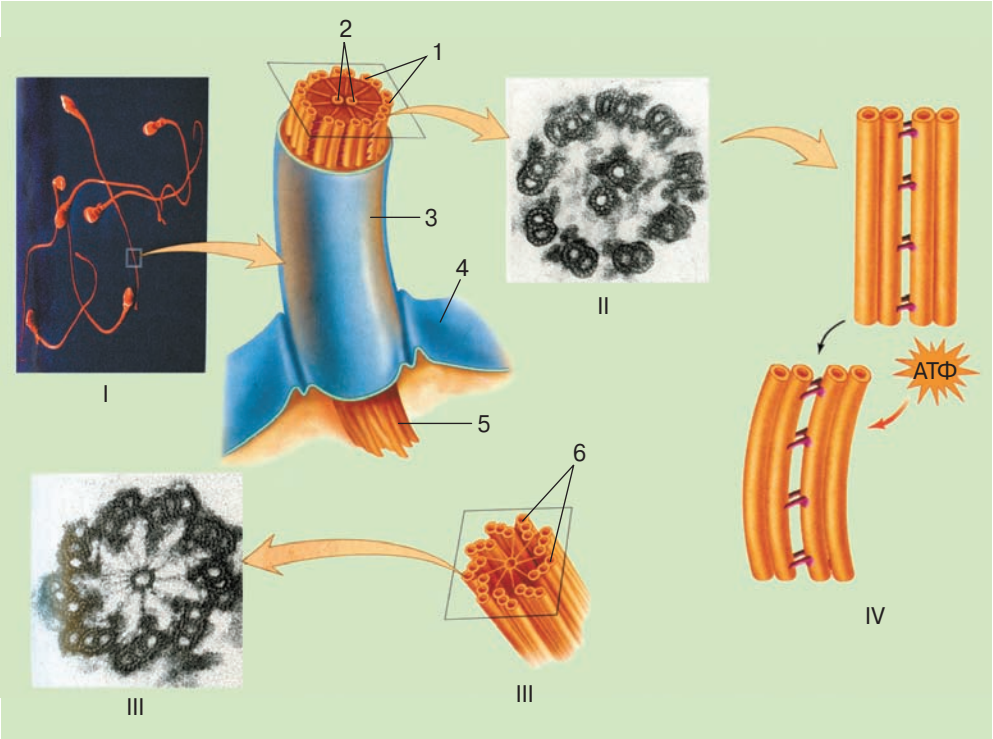


Рис. 22.3. Строение жгутиков: I. Жгутики сперматозоидов. II. Срез через свободную часть жгутика: 1 – группы из двух микротрубочек, расположенные по периферии жгутика; 2 – пара центральных микротрубочек; 3 – мембрана, окружающая свободную часть жгутика; 4 – плазматическая мембрана; 5 – базальное тельце. III. Срез через базальное тельце: 6 – периферические группы из трех микротрубочек. IV. Движение жгутиков обеспечивает энергия АТФ

• **Жгутики и реснички** двигаются за счет высвобождения энергии АТФ, при этом соседние пары микротрубочек как будто скользят одна относительно другой. Хотя строение жгутиков и ресничек похоже, характер их работы разный (рис. 22.4). Работа ресничек в общем напоминает гребли веслами и обычно скоординирована (например, у инфузорий). Для жгутиков характерно вращение или волнообразное движение. Работа жгутиков и ресничек обеспечивает не только передвижение, но и поступление частичек пищи к поверхности клетки вместе с потоками воды, которые они создают (например, движение жгутиков пищеварительных клеток гидры). Жгутики и реснички могут также выполнять

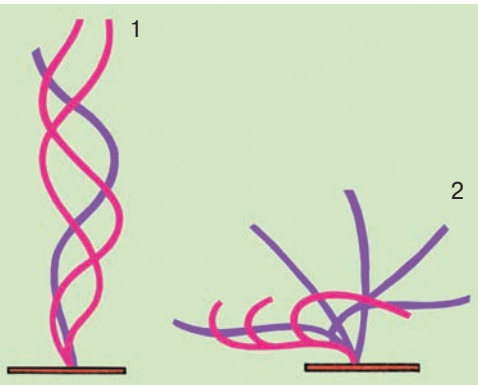


Рис. 22.4. Схема работы жгутиков (1) и ресничек (2)

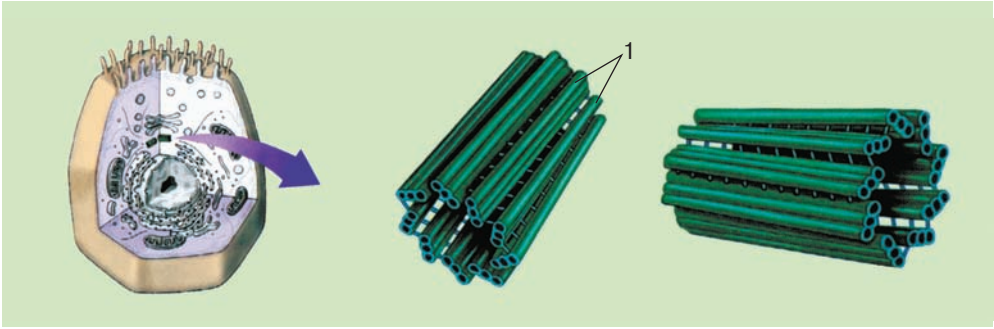


Рис. 22.5. Схема строения центриолей: 1 – группы микротрубочек по три в каждой

чувствительную (например, у ресничных червей) и защитную (реснички эпителия носовой полости) функции.

Базальные тельца жгутиков и ресничек по строению напоминают центриоли клеточного центра.

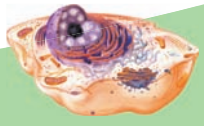
• **Клеточный центр** – органелла, которая состоит из двух центриолей, расположенных в светлом уплотненном участке цитоплазмы (рис. 22.5). ***Центриоли*** имеют вид пустого цилиндра, состоящего из девяти комплексов микротрубочек, по три в каждом. В периоды между делениями центриоли расположены вблизи ядра, обычно рядом с комплексом Гольджи. Во время деления клетки центриоли расходятся к ее полюсам и служат центрами организации нитей веретена деления. Поэтому каждая центриоль попадает в одну из дочерних клеток. Центриоли удваиваются в период между делениями, при этом новая образуется путем самосборки.

Кроме того, центриоли участвуют в формировании микротрубочек цитоплазмы, жгутиков и ресничек. Многие функции центриолей еще окончательно не выяснены. Так, в клетках, где центриоли отсутствуют, процессы формирования микротрубочек веретена деления и органелл движения происходят и без их участия. У некоторых водорослей, в клетках которых нет центриолей, функцию центра организации веретена деления выполняют базальные тельца жгутиков.

Ключевые термины и понятия. ***Рибосомы, псевдоподии, базальное тельце, центриоли.***

Кратко о главном

- Рибосомы – немембранные органеллы клеток прокариот и эукариот, участвующие в синтезе белков. Расположены они в цитоплазме, митохондриях и пластидах. Имеют вид сферических телец, состоящих из двух разных по размеру частей – большой и малой субъединиц. Каждая из субъединиц образуется в ядре и состоит из соединенных между собой рРНК и белков.
- К органеллам движения клетки относятся псевдоподии (ложные ножки), жгутики и реснички. Псевдоподии – непостоянные выросты цитоплазмы. Они обеспечивают передвижение клетки и захватывают твердые частицы пищи (процесс фагоцитоза).



Кратко о главном

- Жгутики и реснички – это тонкие постоянные выросты цитоплазмы. Внутри этих органелл расположены пучки микротрубочек. Работа ресничек обычно скоординирована и напоминает греблю веслами, а для жгутиков характерно вращательное или волнообразное движение.
- Клеточный центр состоит из двух центриолей, расположенных в светлом уплотненном участке цитоплазмы. Центриоли по строению напоминают базальные тельца жгутиков и ресничек. Они участвуют в формировании веретена деления и микротрубочек цитоплазмы, жгутиков и ресничек.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы строение и функции рибосом? 2. Где и как образуются рибосомы? 3. Каковы строение и функции псевдоподий? 4. Что общего и отличного в строении и работе жгутиков и ресничек? 5. Какую органеллу называют клеточным центром? 6. Каковы строение и функции центриолей?

Подумайте. *Какие клетки организма человека и животных имеют псевдоподии, жгутики или реснички? Каковы функции этих клеток?*

§ 23. СТРОЕНИЕ КЛЕТОК ПРОКАРИОТ. ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЭУКАРИОТ

Вспомните: *каковы строение и функции плазматической мембраны, что такое хромосомы, споры, инцистирование? Какие организмы относят к эукариотам? Каковы функции ДНК в клетке? Что такое антигены?*

3,8–2,5 млрд лет назад, когда еще не было ни растений, ни животных или грибов, на нашей планете существовали лишь прокариоты.

• **Строение клеток прокариот.** Вы уже знаете, что в зависимости от особенностей организации клетки, в частности наличия или отсутствия ядра, все организмы разделяют на прокариот и эукариот.

Прокариоты (от лат. *про* – перед, вместо и греч. *карион* – ядро) – надцарство организмов, в состав которого входят царства Археи (Архебактерии) и Настоящие бактерии (Эубактерии). К настоящим бактериям относятся собственно бактерии и цианобактерии (устаревшее название – «сине-зеленые водоросли»).

Археи (Архебактерии) – *группа прокариот, которые от настоящих бактерий отличаются особенностями строения и процессов жизнедеятельности. В частности, их клетки имеют меньшие размеры, а кольцевая молекула ДНК обычно окружена особыми белками – гистонами и несколько напоминает хромосому эукариотических клеток. Среди архей преобладают гетеротрофы, однако также известны автотрофы – хемосинтетики (получают энергию для биосинтеза в результате экзотермических окислительно-восстановительных реакций соединений серы) и фотосинтетики (клетки не содержат хлорофилла, процесс их фотосинтеза мало изучен).*

Клетки прокариот имеют поверхностный аппарат и цитоплазму, в которой находятся немногочисленные органеллы и разнообразные включе-



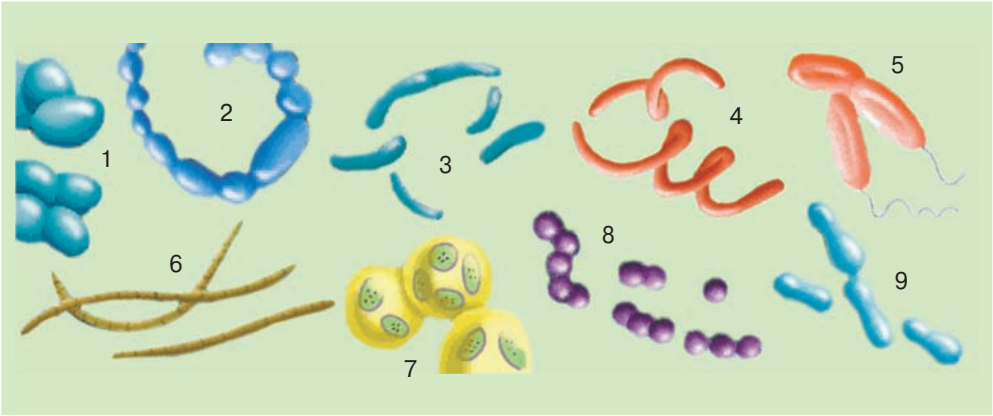


Рис. 23.1. Разнообразная форма клеток прокариот: 1 – кокки; 2 – стрептококк; 3 – вибрионы; 4 – спириллы; 5 – бациллы с жгутиками; 6 – археи; 7 – колонии бактерий; 8 – цепочки из клеток кокков; 9 – метанобразующие бактерии

ния. Прокариотические клетки не имеют большинства органелл (митохондрий, пластид, эндоплазматической сети, комплекса Гольджи, лизосом, клеточного центра и т. п.). Прокариоты – микроскопические организмы. Размеры их клеток обычно варьируют в пределах 0,2–30 мкм в диаметре или длину. Иногда их клетки гораздо больших размеров; так, некоторые виды рода *Спирохета* могут достигать до 250 мкм длины. Форма клеток прокариот разнообразна: сферическая, палочковидная, в виде запятой или спирально закрученной нити и т. п. (рис. 23.1). Все прокариоты – одноклеточные организмы, клетки которых после деления часто способны оставаться соединенными и образовывать колонии в виде нитей, гроздьев и т. п. Иногда колонии окружены общей слизистой оболочкой – капсулой. У колониальных цианобактерий соединения между соседними клетками имеют вид микроскопических канальцев, заполненных цитоплазмой.

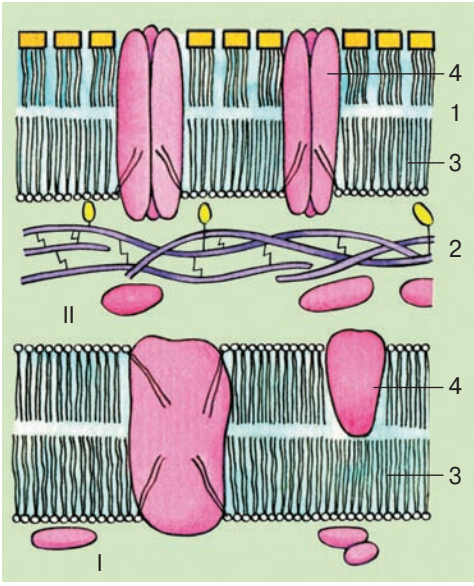


Рис. 23.2. Схема строения клеточной стенки прокариот: I. Плазматическая мембрана. II. Клеточная стенка: 1 – наружная мембрана; 2 – муреин; 3 – липиды; 4 – белки

В состав **поверхностного аппарата** клеток прокариот входят плазматическая мембрана, клеточная стенка (рис. 23.2), иногда – слизистая капсула. У большинства бактерий клеточная стенка состоит из высокомолекулярного органического соединения ***муреина***. Это соединение образует сетчатую структуру, придающую жесткость клеточной стенке. У цианобактерий в состав наружного слоя клеточной стенки входят поли-

сахарид пектин и особые сократительные белки. Они обеспечивают такие формы движения, как скольжение или вращение.

В состав клеточной стенки часто входит тоненький слой – так называемая наружная мембрана, которая подобно плазматической мембране содержит белки, фосфолипиды и другие вещества (рис. 23.2). Она обеспечивает повышенную степень защиты содержимого клетки. В частности, на такие бактерии не действуют некоторые антибиотики (например, пенициллин, актиномицин). Клеточная стенка бактерий обладает ***антигенными свойствами***, т. е. организм, в который попадает бактерия, воспринимает ее как инородное, несвойственное ему тело. Благодаря этому определенные лейкоциты «узнают» болезнетворных бактерий и вырабатывают к ним антитела.

Липиды и полисахариды клеточной стенки позволяют бактериям прилипать к разным поверхностям (клеткам эукариот, эмали зубов и т. п.), а также слипаться между собой. ***Слизистая капсула*** состоит из мукополисахаридов, белков или полисахаридов с белковыми включениями. Она не очень крепко связана с клеткой и легко разрушается под действием определенных соединений. Поверхность клеток некоторых бактерий покрыта многочисленными тонкими нитевидными выростами. С их помощью клетки бактерий обмениваются наследственной информацией, сцепляются между собой или прикрепляются к субстрату.

Рибосомы прокариот мельче рибосом эукариотических клеток. Плазматическая мембрана может образовывать гладкие или складчатые впячивания в цитоплазму. На складчатых мембранных впячиваниях находятся дыхательные ферменты и рибосомы, а на гладких – фотосинтезирующие пигменты (рис. 23.3). В клетках некоторых бактерий (например, пурпурных) фотосинтезирующие пигменты находятся в замкнутых мешковидных структурах, образованных впячиваниями плазматической мембраны. Такие мешочки могут располагаться одиночно или же собра-

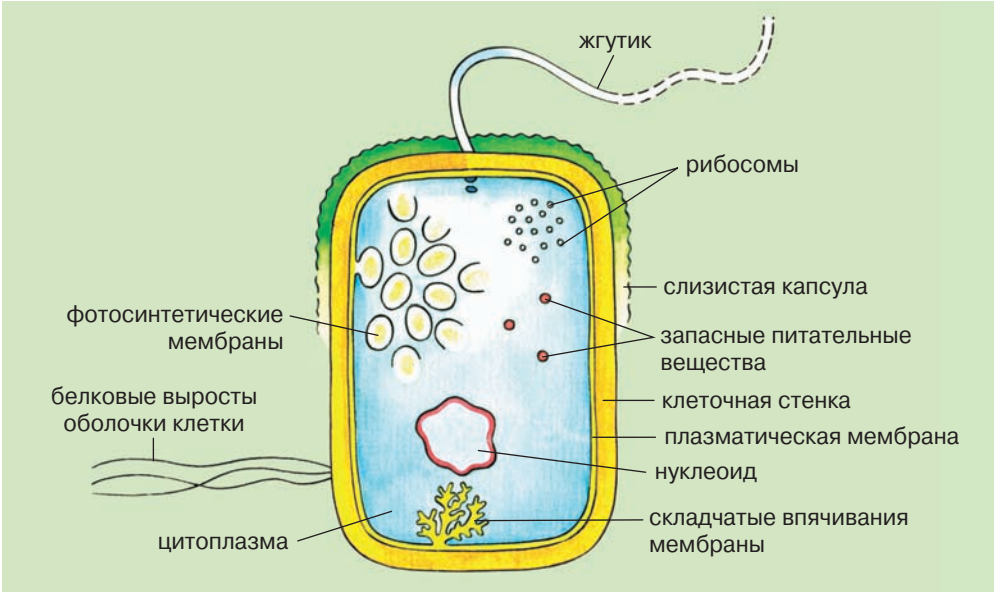


Рис. 23.3. Схема строения клетки прокариот

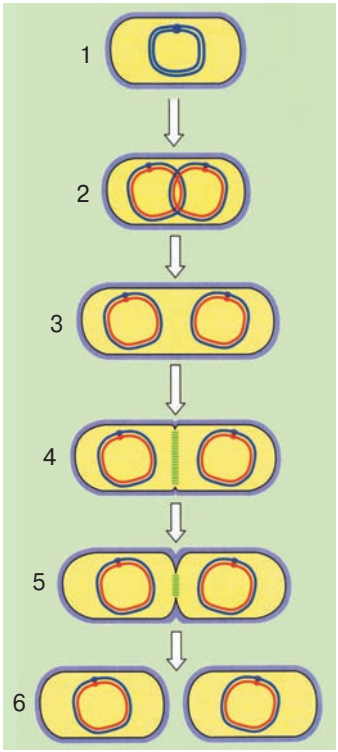


Рис. 23.4. Последовательные стадии деления бактериальной клетки: 1 – материнская клетка; 2, 3 – удвоение молекулы ДНК в ядерной зоне; 4, 5 – деление цитоплазмы; 6 – образование дочерних клеток

ны в кучки. Подобные образования цианобактерий называют тилакоидами; они содержат хлорофилл и расположены одиночно в поверхностном слое цитоплазмы.

У некоторых бактерий и цианобактерий – обитателей водоемов или заполненных водой почвенных капилляров, есть особые заполненные газовой смесью ***газовые вакуоли***. Изменяя их объем, бактерии могут перемещаться в толще воды с минимальными затратами энергии.

Вспомните, вместо ядер в клетках прокариот есть ядерные зоны – нуклеоиды, где расположен наследственный материал – кольцевые молекулы ДНК (рис. 23.3). Кроме того, в цитоплазме присутствуют небольшие кольцевые молекулы ДНК (внехромосомные факторы наследственности) – плазмиды. Они способны удваиваться независимо от молекул ДНК ядерной зоны.

У многих настоящих бактерий есть один, несколько или много жгутиков (рис. 23.3). Жгутики могут быть в несколько раз длиннее самой клетки, а их диаметр незначительный (10–25 нм). Жгутики прокариот лишь внешне напоминают жгутики эукариотических клеток и состоят из одной трубочки, образованной особым белком. Клетки цианобактерий лишены жгутиков.

• **Особенности процессов жизнедеятельности прокариот.** Клетки прокариот могут поглощать вещества лишь с незначительной молекулярной массой. Их поступление в клетку обеспечивают механизмы диффузии и активного транспорта.

Клетки прокариот размножаются исключительно бесполым путем: делением надвое (рис. 23.4), изредка – почкованием. Перед делением наследственный материал клетки (молекула ДНК) удваивается. Клетка удлиняется, а потом образуется поперечная перегородка, которая как бы «врастает» в глубь клетки. После этого дочерние клетки расходятся. Если они остаются соединенными между собой, то образуются колонии в виде гроздьев (стафилококк), нитей (стрептококк) и т. п.

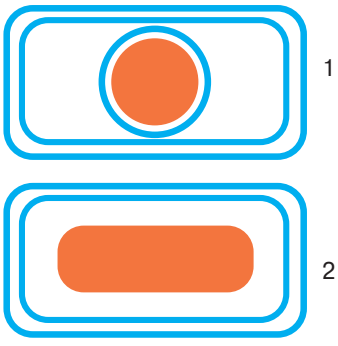
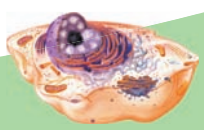


Рис. 23.5. Схема образования споры внутри клетки (1) и цисты (2) (дополнительная оболочка окружает клетку снаружи)

• **Перенесение прокариотами неблагоприятных условий.** При наступлении неблагоприятных условий у некоторых прокариот происходит ***спорообразование*** (рис. 23.5). При этом



часть цитоплазмы материнской клетки покрывается многослойной оболочкой, образуя спору. Такие споры благодаря низкому содержанию воды очень устойчивы к воздействиям высоких температур: в некоторых случаях могут выдерживать кипячение на протяжении нескольких часов. Они также устойчивы к значительным дозам ионизирующего облучения, влиянию различных химических соединений и т. п. Споры прокариот не являются формой бесполого размножения, а служат для продолжительного переживания неблагоприятных условий. Например, в одном гербарии в Великобритании в почве, прилипшей к корням засушенных растений, были выявлены жизнеспособные споры, возраст которых превышал 300 лет. Ученые допускают, что в некоторых случаях споры бактерий способны сохранять жизнеспособность до 1000 лет. В благоприятных условиях споры «прорастают», то есть клетки покидают оболочку и начинают активную жизнедеятельность.

Некоторые прокариоты способны к ***инцистированию*** (от лат. *ин* – в, внутри и греч. *кистис* – пузырь) (рис. 23.5). При этом вся клетка покрывается плотной оболочкой. Цисты прокариот устойчивы к действию радиации, высушиванию, но, в отличие от спор, неспособны переносить воздействие высоких температур. Кроме переживания неблагоприятных условий, споры и цисты обеспечивают распространение прокариот с помощью воды, ветра или других организмов.

• **Гипотезы происхождения клеток эукариот.** В современной биологической науке распространены представления о том, что эукариотическая клетка могла возникнуть вследствие симбиоза нескольких прокариотических (рис. 23.6). Такие взгляды основываются на явлении автономии митохондрий, хлоропластов и некоторых других клеточных структур. Впервые эту идею еще в конце XIX ст. высказал русский ученый Н. Цвет.

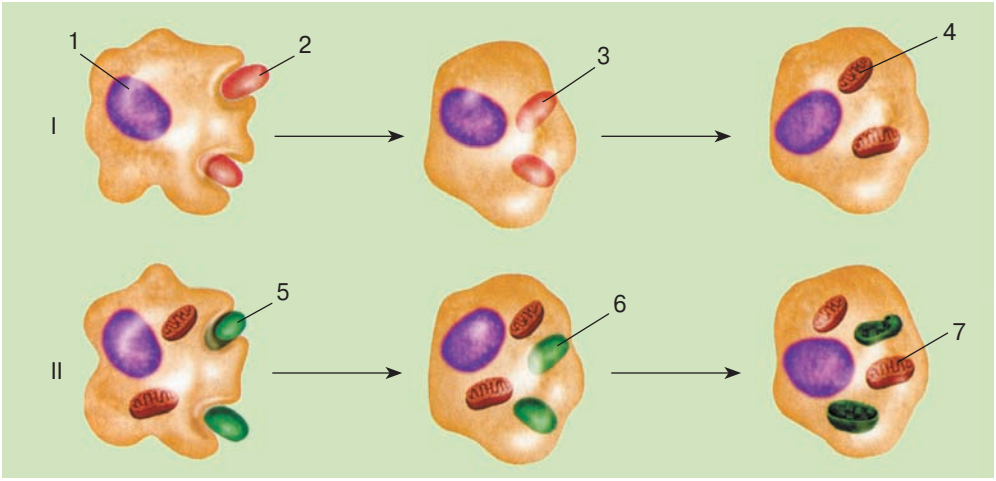


Рис. 23.6. Эндосимбиотическая гипотеза происхождения эукариотической клетки: I. Клетка с ядром вступает в симбиоз с аэробной бактерией, которая дает начало митохондрии. II. Клетка с ядром вступает в симбиоз со способной к фотосинтезу цианобактерией, которая дает начало хлоропласту: 1 – ядро; 2 – аэробная бактерия; 3 – первичная митохондрия; 4 – митохондрия; 5 – цианобактерия; 6 – первичный хлоропласт; 7 – хлоропласт



Его взгляды в 20–40-х годах XX ст. развил другой русский ученый – К. Мережковский. Окончательно же ***гипотезу симбиогенеза (эндосимбиотическая гипотеза)*** сформулировала американский биолог Л. Маргелис в 60–70-х годах XX ст.

Основные положения эндосимбиотической гипотезы следующие. Биологи допускают, что ядро и одномембранные органеллы (эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, вакуоли и др.) могли возникнуть вследствие впячивания плазматической мембраны внутрь клетки. Считают, что такая гипотетическая первичная эукариотическая клетка с помощью фагоцитоза захватила аэробную гетеротрофную прокариотическую клетку, которая сохранилась в цитоплазме как автономная структура – митохондрия. Симбиоз с автотрофной клеткой цианобактерий обусловил образование другой автономной органеллы – пластиды. Появление жгутиков связывают с симбиозом клетки-хозяина с подвижной спирохетообразной прокариотической клеткой. Базальные тельца жгутиков, возможно, трансформировались в центриоли и другие структуры, благодаря которым стали возможны особые формы деления эукариотической клетки – митоз и мейоз.

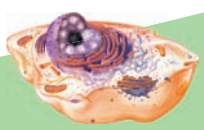
Ученые-эволюционисты считают, что дальнейшие изменения первичных эукариотических клеток предшествовали появлению животных, грибов и растений. В частности, становление животных клеток связывают с усовершенствованием фагоцитоза, грибов – питанием растворами органических соединений, растений – фотосинтеза.

Экспериментально эндосимбиотическую гипотезу, несмотря на продолжительные лабораторные исследования, доказать или опровергнуть не удалось, поэтому причины появления на планете Земля эукариотических клеток, а также животных, растений и грибов до сих пор не известны.

Ключевые термины и понятия. ***Прокариоты, спорообразование, инцистирование.***

Кратко о главном

- Клетки прокариот не имеют ядра и многих органелл (митохондрий, пластид, эндоплазматической сети, комплекса Гольджи, лизосом, клеточного центра и др.). Прокариоты – одноклеточные или колониальные организмы.
- Поверхностный аппарат клеток прокариот включает плазматическую мембрану, клеточную стенку, иногда – размещенную над ней слизистую капсулу. В состав клеточной стенки большинства бактерий входит высокомолекулярное органическое соединение муреин, которое придает ей жесткость.
- В цитоплазме прокариот находятся мелкие рибосомы и разнообразные включения. Плазматическая мембрана может образовывать гладкие или складчатые впячивания в цитоплазму. На складчатых мембранных впячиваниях размещены дыхательные ферменты и рибосомы, на гладких – фотосинтезирующие пигменты.
- В клетках прокариот есть одна или две ядерные зоны – нуклеоиды, где расположен наследственный материал – кольцевая молекула ДНК.



Кратко о главном

- Клетки некоторых бактерий имеют органеллы движения – один, несколько или много жгутиков.
- Клетки прокариот размножаются делением надвое, изредка – почкованием. Для некоторых видов известный процесс конъюгации, во время которого клетки обмениваются молекулами ДНК. Споры и цисты обеспечивают прокариотам переживание неблагоприятных условий и распространение в биосфере.

Вопросы для самоконтроля

1. *Чем строение клетки прокариот отличается от строения клеток эукариот?* **2.** *Какое строение поверхностного аппарата клеток прокариот?* **3.** *Какие внутриклеточные структуры есть у прокариот?* **4.** *Как размножаются прокариоты?* **5.** *Каково биологическое значение процессов спорообразования и инцистирования у прокариот?*

Подумайте. *Чем можно объяснить более простое строение клеток прокариот по сравнению с эукариотами? Ответ обоснуйте.*

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ОДНОМЕМБРАННЫХ ОРГАНЕЛЛ[1]

Цель: *ознакомиться со строением одномембранных органелл в клетках животных и растений.*

Материалы и оборудование: *луковица лука репчатого, микроскоп, препаровочный набор, пипетки, фильтровальная бумага, предметные и покровные стекла, раствор йодида калия, культура живых инфузорий или постоянные микропрепараты инфузории-туфельки, таблицы «Строение клетки» и «Инфузория-туфелька», электронно-микроскопические фотографии животных и растительных клеток.*

Вариант 1

Ход работы

1. Тщательно протрите предметное стекло салфеткой. Пипеткой нанесите на него 1–2 капли слабого раствора йодида калия (он окрашивает цитоплазму в светло-желтый цвет). Лишний раствор удалите с помощью фильтровальной бумаги.
2. Скальпелем или лезвием безопасной бритвы от сочной чешуи луковицы отрежьте полоску шириной 3–4 мм, переломайте ее пополам и снимите пинцетом тонкую верхнюю кожицу с одной из половинок. Кусочек кожицы положите в каплю йодида калия на предметном стекле и расправьте его препаровочной иглой.
3. Сухое покровное стекло вертикально поставьте рядом с каплей йодида калия и осторожно опустите его на каплю.
4. Изготовленный препарат положите на предметный столик микроскопа и рассмотрите его, используя объектив малого увеличения.

[1]Выполняется учащимися по выбору учителя с учетом материально-технических возможностей.

5. Рассмотрите контуры клеточных стенок, в которых кое-где заметны отверстия – поры.
6. Не смещая препарат на предметном столике, настройте на него объектив большего увеличения (20×).
7. Медленно перемещая препарат по предметному столику, выберите в поле зрения 3–4 клетки. Найдите вакуоли, которые могут занимать почти весь объем клетки. Благодаря этому зернистая цитоплазма золотистого цвета приобретает вид тяжей или пристеночного пласта.
8. Сравните клетки, увиденные вами в поле зрения микроскопа, с изображениями на таблицах.
9. Сделайте выводы.

Вариант 2

Ход работы

1. Подготовьте микроскоп к работе.
2. Приготовьте временный препарат инфузории-туфельки.
3. При малом увеличении микроскопа на временном или на постоянном микропрепаратах найдите отдельных инфузорий.
4. При большом увеличении микроскопа (желательно на постоянном микропрепарате) найдите и рассмотрите сократительные и пищеварительные вакуоли, ядра.
5. Сравните клетки, увиденные в поле зрения микроскопа, с изображениями на таблицах.
6. Сделайте выводы.

Вариант 3

Ход работы

1. Рассмотрите электронно-микроскопические фотографии животных и растительных клеток.
2. Определите, какие из одномембранных органелл заметны.
3. Охарактеризуйте эти органеллы, заполнив таблицу по образцу.

Органелла	Особенности строения	Функции	В клетках каких организмов присутствуют
1. …			
2. …			

4. Сделайте выводы.

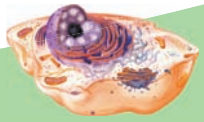
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ДВУХМЕМБРАННЫХ ОРГАНЕЛЛ



Цель: *ознакомиться с разнообразием двухмембранных органелл.*

Оборудование, материалы и объекты исследования: *элодея, традесканция, спелые плоды рябины, шиповника, перца, боярышника, корнеплоды моркови; препаровочный набор, предметные и покровные стекла; фильтровальная бумага; микроскоп, таблицы, учебник.*



Вариант 1

Рассмотрите хлоропласты в клетках элодеи

Ход работы

1. Выдержите элодею в теплой воде (+20…25 °С) на протяжении 30–40 мин при ярком освещении.
2. Изготовьте временный микроскопический препарат: отделите лист элодеи, поместите его на предметное стекло в каплю воды. Добавьте водный раствор йода с йодидом калия (для этого в небольшом количестве воды растворяют 0,5 г йодида калия, добавляют 1 г кристаллического йода и доводят объем раствора до 100 $см^3$). Накройте лист элодеи покровным стеклом.
3. Рассмотрите препарат при малом увеличении микроскопа. Обратите внимание на цвет и форму хлоропластов в клетках.
4. Зарисуйте одну клетку листа элодеи с хлоропластами. Подпишите на рисунке структуры клетки, которые вы увидели с помощью микроскопа.
5. Сделайте выводы.

Вариант 2

Рассмотрите хромопласты в клетках спелых плодов шиповника, рябины, перца или корнеплода моркови

Ход работы

1. Тщательно протрите предметное и покровное стекла сухой салфеткой. Пипеткой нанесите на предметное стекло каплю воды.
2. Препаровочной иглой надорвите кожицу околоплодника шиповника (рябины), наберите на кончик иглы немного окрашенной мякоти и внесите ее в воду на предметном стекле. Иглой слегка разотрите мякоть и накройте покровным стеклом.
3. При малом увеличении микроскопа найдите место, где клетки расположены наименее скученно, и рассмотрите хромопласты. Обратите внимание на форму, цвет и количество этих пластид.
4. При большом увеличении детальнее рассмотрите отдельный хромопласт. Обратите внимание на особенности клетки: ядро и цитоплазма могут быть незаметными, а клеточная стенка тонкой, без утолщений.
5. Зарисуйте 2–3 клетки с хромопластами.
6. В той же последовательности приготовьте временные микроскопические препараты тканей плодов перца, корнеплодов моркови.
7. Сравните особенности строения хромопластов разных растений и отметьте черты сходства и отличия между ними.
8. Зарисуйте рядом одну с другой по одной клетке с хромопластами разных растений и подпишите рисунок, указав название каждого растения.
9. Сделайте выводы.

Вариант 3

Рассмотрите лейкопласты в клетках кожицы листа традесканции

Ход работы

1. Отдельный лист традесканции оберните вокруг указательного пальца левой руки так, чтобы нижняя розовая сторона листа оказалась снаружи.



2. Иглой нарушьте слой розовых клеток, снимите пинцетом покровную ткань и перенесите ее в воду на предметном стекле, добавьте еще 1–2 капли воды, накройте покровным стеклом.
3. Рассмотрите временный препарат клеток кожицы традесканции сначала при малом, а потом при большом увеличении микроскопа.
4. Обратите внимание на то, что вокруг ядра, а также в цитоплазматических тяжах заметны мелкие сферические блестящие тельца – лейкопласты.
5. Зарисуйте 3–4 клетки кожицы листа с лейкопластами и укажите их составные части.
6. Сделайте выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8



ДВИЖЕНИЕ ЦИТОПЛАЗМЫ В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ

Цель: *ознакомиться со свойствами цитоплазмы в живых клетках.*

Оборудование и материалы: *световые микроскопы, предметные и покровные стекла, пинцеты, препаровочные иглы, фильтровальная бумага, дистиллированная вода, 9 %-й водный раствор хлорида натрия, лист элодеи.*

Ход работы

1. Перед началом работы несколько минут выдержите элодею на солнечном свете при комнатной температуре.
2. Подготовьте микроскоп к работе.
3. Изготовьте временный микропрепарат живых клеток элодеи, поместите их в каплю воды на предметном стекле и накройте покровным стеклом.
4. Рассмотрите препарат при малом увеличении, выберите участок с живыми клетками. При большом увеличении проследите за движением цитоплазмы и хлоропластов (при необходимости подогрейте препарат до +38…40 °С, вводя под покровное стекло теплую воду).
5. Сделайте выводы.

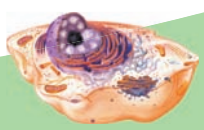
ТЕСТ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАНИЙ

I. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ПРАВИЛЬНЫЙ

1. **Назовите органеллы, для которых характерна определенная степень автономии в клетке:** *а) лизосомы; б) комплекс Гольджи; в) митохондрии; г) эндоплазматическая сеть.*
2. **Укажите соединения, входящие в состав рибосом:** *а) иРНК; б) тРНК; в) рРНК; г) ДНК.*
3. **Назовите органеллы, у которых поверхностный аппарат состоит из двух мембран:** *а) рибосомы; б) митохондрии; в) лизосомы; г) эндоплазматическая сеть.*
4. **Укажите органеллы, присутствующие в клетках прокариот:** *а) комплекс Гольджи; б) рибосомы; в) эндоплазматическая сеть; г) митохондрии.*

II. ВЫБЕРИТЕ ИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ОТВЕТОВ ДВА ПРАВИЛЬНЫХ

1. **Укажите органеллы, способные к самовоспроизведению:** *а) рибосомы; б) хлоропласты; в) лизосомы; г) митохондрии.*



2. **Назовите органеллы, которые имеют собственную ДНК:** *а) рибосомы; б) митохондрии; в) лизосомы; г) хлоропласты.*
3. **Назовите органеллы, которые имеют собственные рибосомы:** *а) комплекс Гольджи; б) митохондрии; в) хлоропласты; г) пищеварительные вакуоли.*
4. **Определите функции, которые в клетке выполняет комплекс Гольджи:** *а) участие в формировании лизосом; б) участие в формировании митохондрий; в) биосинтез белков; г) сортировка и окружение мембранами органических соединений.*

III. ЗАДАНИЯ НА УСТАНОВЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

1. **Определите соответствие между органеллами клеток эукариот и особенностями их строения.**

Тип строения органелл	Органеллы
А Зернистая эндоплазматическая сеть Б Лизосомы В Комплекс Гольджи Г Митохондрии	1 Имеют кристы 2 Способны периодически изменять свой объем, выводя из клетки излишек воды 3 Их основа – скопление плоских одномембранных цистерн 4 Содержат пищеварительные ферменты 5 На их мембранах расположены рибосомы

2. **Определите возможные варианты перехода одних типов пластид в другие.**

Тип пластид	Варианты перехода
А Лейкопласт Б Хлоропласт В Хромопласт	1 Лейкопласт – хлоропласт 2 Хлоропласт – хромопласт 3 Хромопласт – хлоропласт 4 Неспособны превращаться в другие типы пластид

3. **Определите соответствие между органеллами и наличием в них молекул различных нуклеиновых кислот.**

Содержание нуклеиновых кислот	Органеллы и структуры клетки
А Только ДНК Б Только РНК В Как ДНК, так и РНК	1 Рибосомы 2 Лизосомы 3 Митохондрии 4 Нуклеоид

4. **Определите, от каких органелл происходят указанные органеллы эукариотической клетки.**

Органеллы-предшественники	Органеллы, которые от них происходят
А Лизосомы Б Эндоплазматическая сеть В Комплекс Гольджи Г Лейкопласты	1 Хлоропласты 2 Вакуоль с клеточным соком 3 Митохондрии 4 Пищеварительные вакуоли 5 Сократительные вакуоли



5. Определите, какие структуры присущи тем или иным типам органелл.

Тип органелл	Структуры
А Митохондрии Б Хлоропласты В Комплекс Гольджи Г Ядро	1 Тилакоиды 2 Нити хроматина 3 Центриоли 4 Кристы 5 Диктиосома

IV. ВОПРОСЫ ПОВЫШЕННОЙ СЛОЖНОСТИ

1. *Известно, что в клетках прокариот отсутствуют пластиды, митохондрии, лизосомы, комплекс Гольджи, эндоплазматическая сеть. Каким образом их клетки могут функционировать без этих органелл?*

2. *Почему изучение строения и свойств митохондрий и пластид натолкнуло ученых на мысль, что эукариотические клетки могли возникнуть вследствие симбиоза нескольких прокариотических клеток?*

3. *Какое биологическое значение того, что одни типы пластид могут переходить в другие?*

4. *Что общего и отличного в строении и функциях митохондрий и хлоропластов?*

5. *Почему сократительные вакуоли присутствуют преимущественно у одноклеточных животных и водорослей – обитателей пресных водоемов? Ответ обоснуйте.*

ТЕМА 3. КЛЕТКА КАК ЦЕЛОСТНАЯ СИСТЕМА

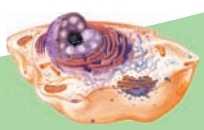
- *Особенности обмена веществ и энергии в клетках автотрофных и гетеротрофных организмов;*
- *жизненный цикл клеток;*
- *положения клеточной теории и ее значение для дальнейшего развития биологии.*

§ 24. КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ. МИТОЗ

Вспомните: *что такое вид, нейроны, хроматин, центриоли и центромера?*

Во время изучения предыдущих тем вы узнали о строении и функциях клеток эукариот и прокариот в целом и их составляющих – органелл и включений. Клетка существует как единая биологическая система благодаря согласованному взаимодействию всех своих частей.

• **Клеточный цикл.** Как вы помните, клетки обычно размножаются делением. *Период существования клетки между началами ее двух последовательных делений или же от начала деления до гибели называют* ***клеточным циклом*** (рис. 24.1). Продолжительность клеточного цикла у разных организмов неодинакова: у бактерий при оптимальных условиях она составляет всего 20–30 мин, у клеток эукариот – 10–80 часов и более (например, инфузория-туфелька делится каждые 10–20 часов). Клеточный цикл состоит из периодов деления и промежутка между ними – интерфазы.



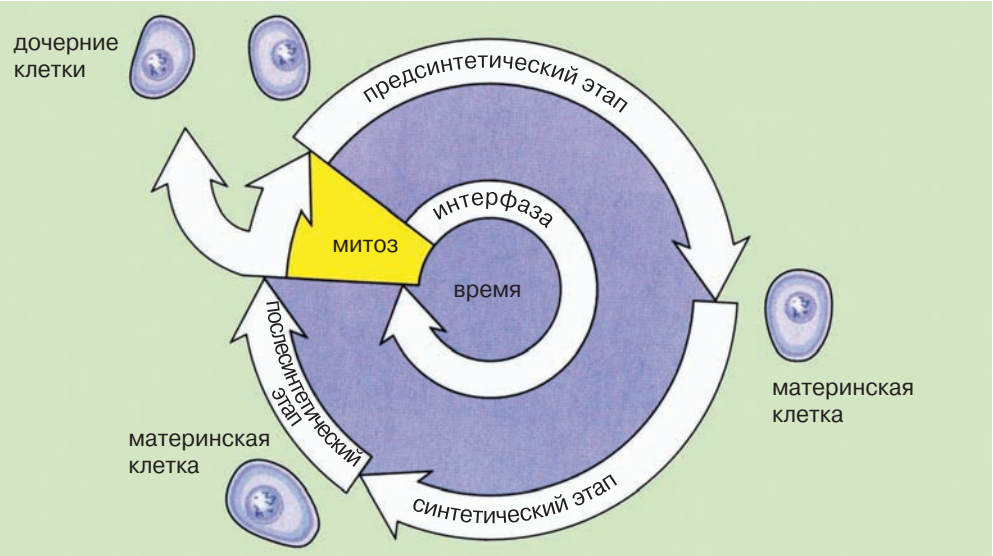


Рис. 24.1. Обобщенная схема клеточного цикла

Интерфаза (от лат. *интер* – между и греч. *фазис* – появление) – период между двумя последовательными делениями клетки или от завершения последнего деления до ее гибели. В интерфазе клетка растет, синтезирует органические соединения и запасает энергию в виде особого типа химической (макроэргической) связи. В интерфазе различают три последовательных этапа (периода). Процессы биосинтеза интенсивно происходят на *синтетическом* этапе. В это время удваиваются молекулы ДНК, хроматиды, центриоли, делятся митохондрии и пластиды и т. п. Этап между завершением предыдущего деления и синтетическим этапом называют *предсинтетическим*, а между завершением синтетического этапа и началом следующего деления – *послесинтетическим* (рис. 24.1). Продолжительность интерфазы обычно составляет до 90 % времени всего клеточного цикла. Достижение клеткой определенных размеров часто побуждает ее к началу следующего деления.

Основным способом деления эукариотических клеток является **митоз** (рис. 24.2) (от греч. *митос* – нить). Он сопровождается уплотнением хромосом и образованием особого *веретена деления*, которое обеспечивает упорядоченное распределение наследственного материала между дочерними клетками.

• **Фазы митотического деления.** Митоз состоит из четырех последовательных фаз: профазы, метафазы, анафазы и телофазы (рис. 24.2) и продолжается от нескольких минут до 2–3 часов.

Профаза (от греч. *про* – перед, раньше и *фазис* – проявление) начинается с уплотнения нитей хроматина: хроматиды укорачиваются и утолщаются (спирализируются) (рис. 24.2, I). Благодаря этому под световым микроскопом можно рассмотреть строение хромосом (в частности, найти первичную перетяжку) и подсчитать их количество. Постепенно уменьшаются и исчезают ядрышки; обычно во время деления ядерная оболочка распадается (за исключением некоторых одноклеточных животных, водорослей и



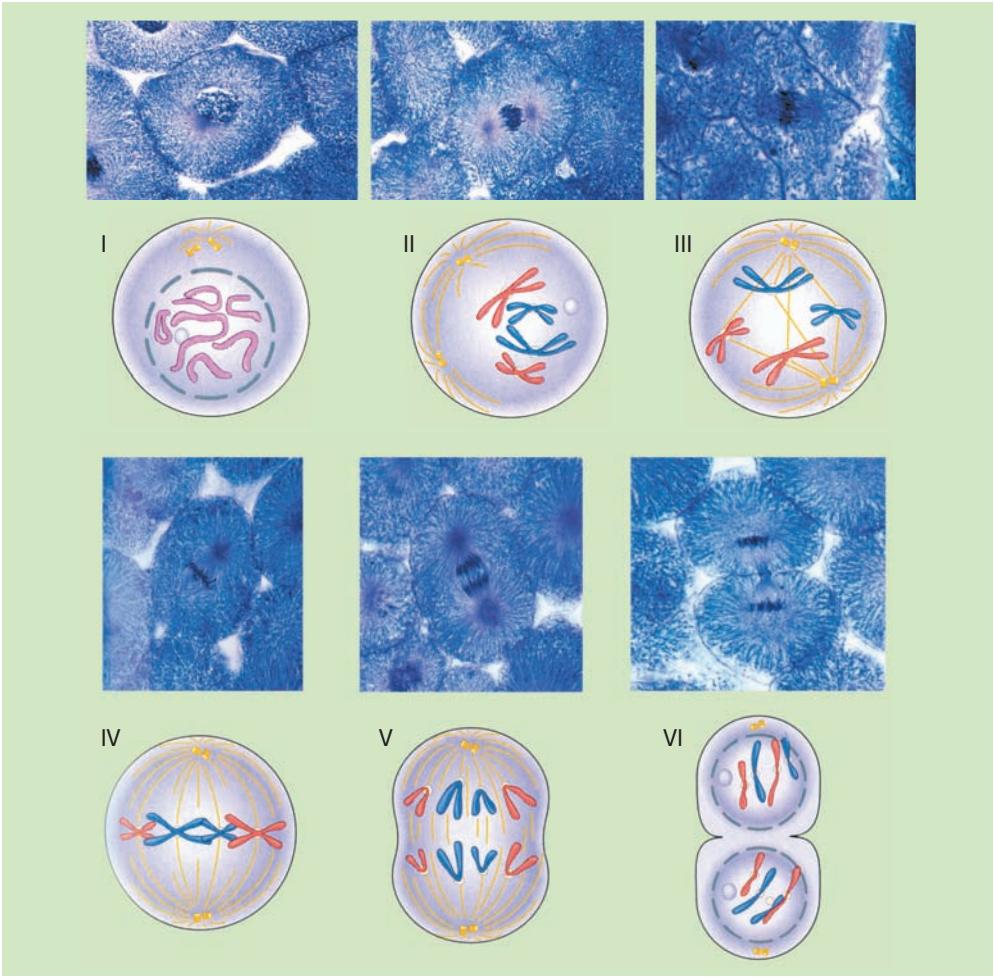
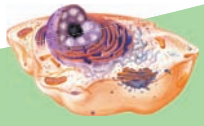


Рис. 24.2. Митоз: I. Профаза: исчезновение ядерной оболочки; II. Профаза: хромосомы оказываются в цитоплазме; III. Начало метафазы: нити веретена деления присоединяются к кинетохорам; IV. Завершение метафазы: хромосомы располагаются по центру клетки; V. Анафаза: хроматиды расходятся к полюсам клетки; VI. Телофаза: формирование ядер, деление цитоплазмы и образование дочерних клеток

грибов), вследствие чего хромосомы оказываются в цитоплазме (рис. 24.2, II). Вместе с тем начинает формироваться веретено деления.

Во время следующей фазы митоза – ***метафазы*** (от греч. *мета* – после, через) – завершаются перемещение хромосом и формирование веретена деления (рис. 24.2, III). Хромосомы «выстраиваются» в одной плоскости в центральной части клетки таким образом, что центромеры гомологических хромосом оказываются практически на одной линии (рис. 24.2, IV). К кинетохорам отдельных хромосом присоединяются нити веретена деления.

Анафаза (от греч. *ана* – снова, вне) – наиболее короткая фаза митоза (рис. 24.2, V). В это время хроматиды каждой из хромосом расходятся к разным полюсам клетки.



Телофаза (от греч. *телос* – конец) длится от завершения расхождения хроматид до образования дочерних клеток (рис. 24.2, VI). В начале телофазы хромосомы вытягиваются и перестают быть заметными под световым микроскопом (деспирализируются). Вокруг каждого из расположенных на полюсах клетки скоплений хроматид формируется ядерная оболочка, появляются ядрышки, т. е. формируются ядра дочерних клеток. В конце телофазы исчезает веретено деления, делится цитоплазма и окончательно формируются дочерние клетки. Подробнее о митотическом делении клетки вы узнаете при выполнении лабораторной работы № 9.

• **Биологическое значение митоза.** Митотическое деление обеспечивает точную передачу наследственной информации от материнских клеток дочерним на протяжении любого количества последовательных клеточных циклов. При этом сохраняются постоянство числа хромосом и структура молекул ДНК в ядре во всех дочерних клетках. Таким образом, процесс митоза обеспечивает стабильность кариотипов, т. е. служит условием существования биологических видов на протяжении большого числа поколений.

• **Гибель клеток.** Различают два типа гибели клеток. Чаще она наступает вследствие повреждения (нарушения проницаемости) плазматической мембраны, необратимых изменений прежде всего ядра и митохондрий, что приводит к прекращению их функций. Такие процессы называют ***некрозом*** (от греч. *некрозис* – омертвение). Обычно отмирают значительные группы клеток. Некрозы развиваются при многих тяжелых заболеваниях человека, например *инфаркте миокарда* (отмирание участков мышечной сердечной ткани). Кроме того, в некротических участках возникают воспалительные процессы (при развитии злокачественных опухолей и т. п.).

Клетки могут гибнуть и при отсутствии физических повреждений или влияния токсичных соединений. Известно, что клетки имеют определенную, наследственно запрограммированную продолжительность жизни. Вследствие старения погибают клетки, утратившие способность к делению (нейроны, эритроциты, ситовидные трубки и т. п.). При этом они претерпевают значительные изменения: уплотняется хроматин, ядро распадается на отдельные части (*фрагментация*), уменьшается объем цитоплазмы и т. п. Этот процесс называется ***апоптоз*** (от греч. *апоптозис* – распад). Таким образом, апоптоз – запланированная гибель клеток, а некроз – незапланированная.

• **Регуляция клеточного цикла.** Сегодня ученые установили, что все этапы клеточного цикла подлежат гуморальной регуляции. Ферментативная регуляция хода основных событий клеточного цикла осуществляется в так называемых *контрольных пунктах*, где он в случае ошибок может быть остановлен (рис. 24.3). Причинами прерывания клеточного цикла могут быть: недостаток питательных веществ, нарушение механизмов роста, удвоения молекул ДНК и расхождения хроматид, внешние влияния и др.

Контрольный пункт в конце предсинтетического этапа устанавливает степень готовности клетки к продолжению клеточного цикла. В случае успешного прохождения этого этапа клетка синтезирует органические ве-



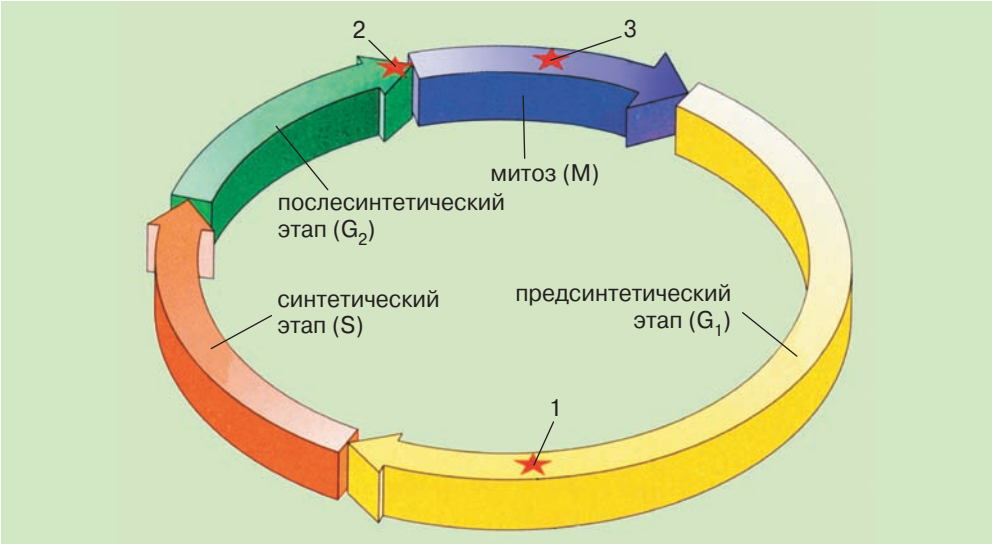


Рис. 24.3. Три основных контрольных пункта клеточного цикла: 1 – в конце предсинтетического этапа (G_1/S); 2 – в конце послесинтетического этапа (G_2/M); 3 – в завершающей стадии метафазы

щества и растет. Проверку надлежащего завершения интерфазы, в частности правильность удвоения молекул ДНК, осуществляет контрольный пункт в конце послесинтетического этапа. Факторы, разрушающие молекулы ДНК или задерживающие их удвоение, могут прервать клеточный цикл на этом этапе. Контрольный пункт в завершающей части метафазы отвечает за правильность размещения хромосом в центральной части клетки и их присоединение к нитям веретена деления.

Регуляцию клеточного цикла обеспечивают сложные молекулярные механизмы, главный из которых – присоединение (или отсоединение) фосфатных групп к определенным аминокислотам в составе особых белков, что изменяет их активность (рис. 24.4).

Вспомните, что на плазматических мембранах клеток расположены многочисленные белки-рецепторы, чувствительные к факторам роста. Когда эти факторы связываются с мембранными рецепторами, то усиливаются сигналы, стимулирующие деление клетки.

Известно свыше 50 разных белков, которые функционируют как факторы роста, но их, без сомнения, больше. Каждый рецептор «узнает» определенный ростовой фактор по форме части его молекулы (рис. 24.5). Если клетки лишены факторов роста, то их цикл завершается на предсинтетическом этапе.

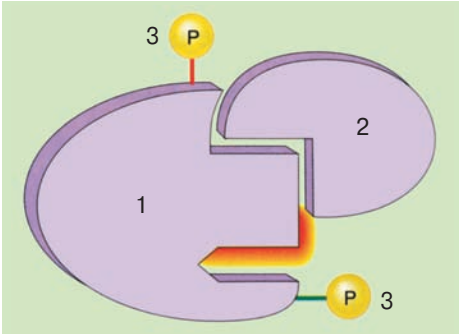


Рис. 24.4. Комплекс белковой молекулы (2) фермента (1) с фосфатной группой (3) обеспечивает продолжение клеточного цикла после прохождения определенного контрольного пункта

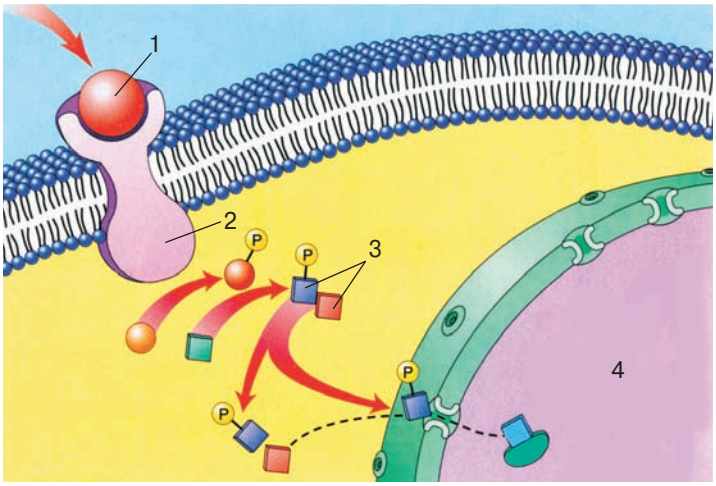


Рис. 24.5. Передача факторов роста в клетку: фактор роста (1) взаимодействует с рецепторной молекулой плазматической мембраны (2) и попадает внутрь клетки. Благодаря комплексу ферментов (3) он проникает в ядро (4). (P – фосфатная группа)

Запомните: регуляция клеточного цикла зависит от степени активности специфических белков, контролируемой соответствующими ферментами. Клетки получают сигналы от белков, которые называют факторами роста, поскольку они влияют на деление клеток.

• **Рак и контроль роста клеток.** Примером нарушения регуляции клеточного цикла служит неуправляемое организмом деление клеток, которое является причиной раковых (онкогенных) заболеваний. Ученые выделили ген, несущий информацию о ферменте, контролирующем целостность ДНК. Если такой фермент обнаруживает поврежденную ДНК, он приостанавливает деление и активизирует другие ферменты, необходимые для восстановления структуры ДНК (процесс репарации), после чего митоз продолжается. Если восстановить молекулу ДНК не удается, этот фермент стимулирует апоптоз. Ученые установили, что данный фермент отсутствует или поврежден в раковых клетках. Найдены многочисленные гены (свыше 50), которые при попадании в клетку способны превращать ее в раковую. Это изначально нормальные гены, которые вследствие повреждений становятся онкогенными (то есть такими, которые могут спровоцировать неконтролируемое деление клетки). Эти гены по-разному взаимодействуют с факторами роста. Вместе с тем есть гены, подавляющие образование раковых опухолей.

Ключевые термины и понятия. ***Клеточный цикл, интерфаза, митоз.***

Кратко о главном

- Клеточным циклом называют время существования клетки между началами ее двух последовательных делений или же от начала последнего деления до гибели. Он состоит из периодов деления и промежутка между ними – интерфазы. В интерфазе клетка растет, синтезирует органические соединения и запасает энергию в виде особого типа химической (макроэргической) связи.
- Основной способ деления эукариотических клеток – митоз. Он состоит из четырех последовательных фаз: профазы, метафазы, анафазы и телофазы.



Кратко о главном

- Во время профазы хромосомы уплотняются, исчезают ядрышки и ядерная оболочка, образуется веретено деления. Во время метафазы хромосомы выстраиваются в ряд в центральной части клетки, а нити веретена деления присоединяются к кинетохорам. Во время анафазы хроматиды каждой из хромосом расходятся к разным полюсам. В начале телофазы происходит деспирализация хромосом, формируются ядерные оболочки, появляются ядрышки, исчезает веретено деления, делится цитоплазма и формируются дочерние клетки.
- Биологическое значение митоза заключается в том, что он обеспечивает точность передачи наследственной информации от материнских клеток дочерним на протяжении последовательных клеточных циклов.

Вопросы для самоконтроля

1. *Из каких периодов состоит клеточный цикл?* **2.** *Что такое интерфаза? Каково ее значение для существования клетки?* **3.** *Что такое митоз? Из каких фаз он состоит?* **4.** *В чем заключается биологическое значение митоза?*

Подумайте. *В чем заключается значение митоза для обеспечения индивидуального развития особей и продолжительного существования видов? Ответ обоснуйте.*

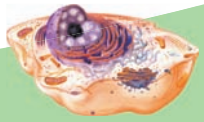
§ 25. МЕЙОЗ

Вспомните: *чем отличаются хромосомные наборы половых и неполовых клеток многоклеточных организмов? Какие наборы хромосом называют гаплоидными, диплоидными и полиплоидными? Что такое интерфаза, гамета, зигота, оплодотворение, жизненный цикл?*

• Как образуются половые клетки с гаплоидным набором хромосом?

Вы уже знаете, что процесс оплодотворения сопровождается слиянием ядер мужской и женской половых клеток, которые большей частью имеют гаплоидный набор хромосом. При этом слиянии двух гаплоидных половых клеток (гамет) при оплодотворении хромосомный набор зиготы удваивается, то есть становится диплоидным. А как образуются гаплоидные клетки? Установлено, что при их образовании осуществляется особая форма деления эукариотических клеток, которая обеспечивает уменьшение хромосомного набора половых клеток вдвое по сравнению с неполовыми.

• Мейоз (от греч. *мейозис* – уменьшение) – особый способ деления эукариотических клеток, вследствие которого их хромосомный набор уменьшается вдвое. Во время мейоза происходят два последовательных деления, интерфаза между которыми укорочена или практически отсутствует. Каждое из этих делений, как и митоз, состоит из четырех последовательных фаз. Первое мейотическое деление получило название ***редукционного*** (от лат. *редуцере* – возвращать, отодвигать назад).



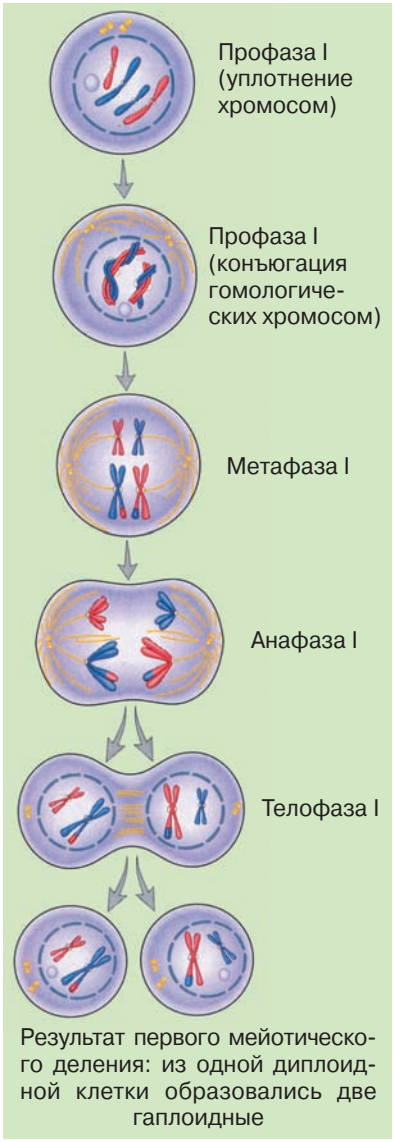


Рис. 25.1. Первое мейотическое деление

Во время профазы первого мейотического деления (***профаза I***) хромосомы уплотняются, приобретая вид палочковидных структур (рис. 25.1). Затем гомологичные хромосомы сближаются и как бы «слипаются» (конъюгируют) между собой. Во время *конъюгации* может происходить ***кроссинговер*** (от англ. *кроссинг овер* – перекрест): обмен участками между гомологичными хромосомами (рис. 25.2). В результате кроссинговера появляются новые комбинации наследственного материала, благодаря чему гомологичные хромосомы отличаются друг от друга наборами наследственной информации. Поэтому кроссинговер служит источником *наследственной изменчивости*.

В конце профазы гомологичные хромосомы разъединяются (но остаются соединенными в местах, где происходит обмен участками), исчезают ядрышки, разрушается ядерная оболочка и начинает формироваться веретено деления.

В метафазе первого мейотического деления (***метафаза I***) нити веретена деления присоединяются к кинетохорам. При этом центромеры гомологичных хромосом расположены одна напротив другой, а не рядом вдоль одной линии, как во время митоза (рис. 25.1).

Во время анафазы первого мейотического деления (***анафаза I***) гомологичные хромосомы расходятся к противоположным полюсам; каждая из них состоит из двух хроматид. Таким образом, в конце анафазы I вблизи каждого из полюсов оказывается половинный набор хромосом. Если клетка к началу мейоза была диплоидной (2n), то после первого мейотического деления она становится гаплоидной (1n).

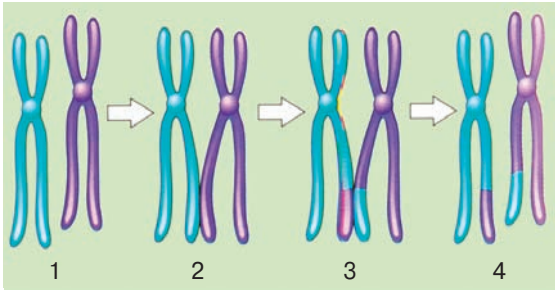


Рис. 25.2. Схема кроссинговера: 1 – гомологичные хромосомы сближаются; 2 – после конъюгации гомологичные хромосомы начинают расходиться, но еще соединены в некоторых участках; 3 – обмен участками между гомологичными хромосомами; 4 – две гомологичные хромосомы с частично отличными наборами наследственной информации

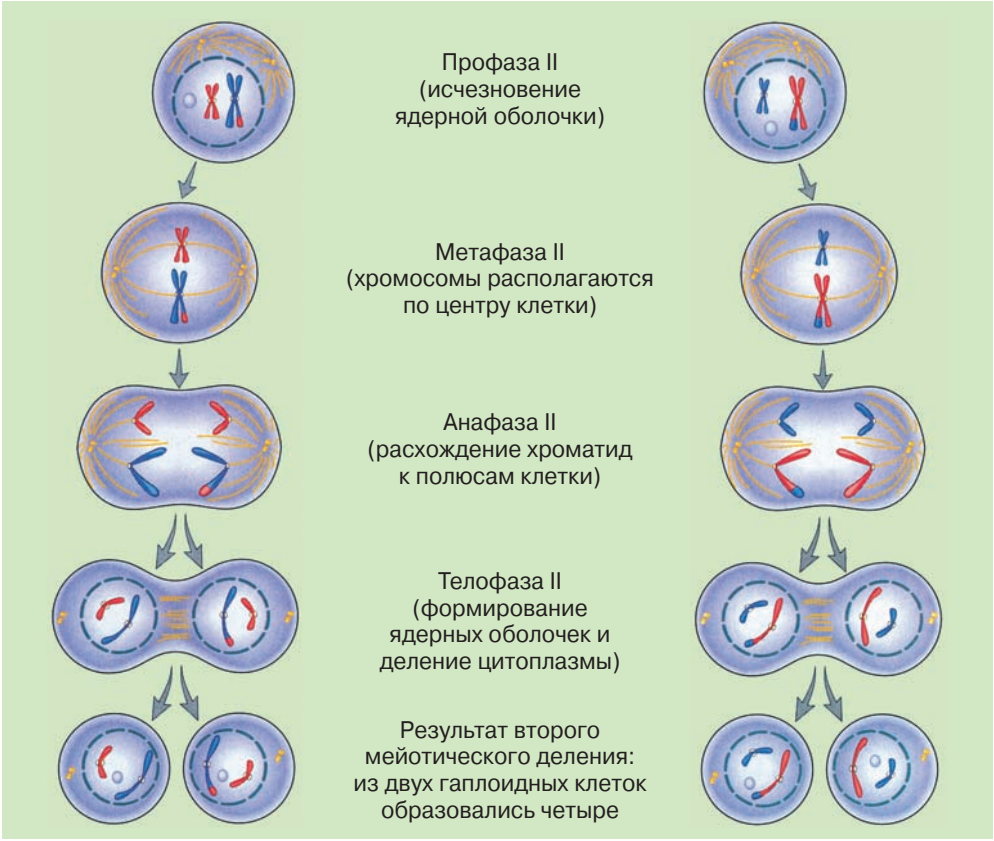


Рис. 25.3. Второе мейотическое деление

В телофазе первого мейотического деления (***телофаза I***) формируется ядерная оболочка. У животных и некоторых видов растений хромосомы деспирализируются и цитоплазма материнской клетки делится, т. е. образуются две дочерние гаплоидные клетки; у большинства видов растений деление клетки не завершается (цитоплазма не разделяется).

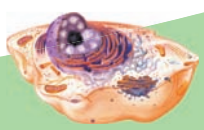
Интерфаза между мейотическими делениями укорочена или практически отсутствует (большинство видов растений); молекулы ДНК в этот период не удваиваются (рис. 25.3).

Во время профазы второго мейотического деления (***профазы II***) хромосомы уплотняются и начинают передвигаться к центральной части клетки, исчезают ядрышки, разрушается ядерная оболочка, начинает формироваться веретено деления (рис. 25.3).

В метафазе второго мейотического деления (***метафазе II***) завершается уплотнение хромосом и формирование веретена деления (рис. 25.3).

В анафазе второго мейотического деления (***анафазе II***) хроматиды отдельных хромосом расходятся к разным полюсам (рис. 25.3).

Во время телофазы второго мейотического деления (***телофазы II***) хромосомы снова деспирализируются, исчезает веретено деления, формируются ядрышки и ядерная оболочка. Завершается телофаза II делением цитоплазмы (рис. 25.3). В результате второго мейотического деления ко-



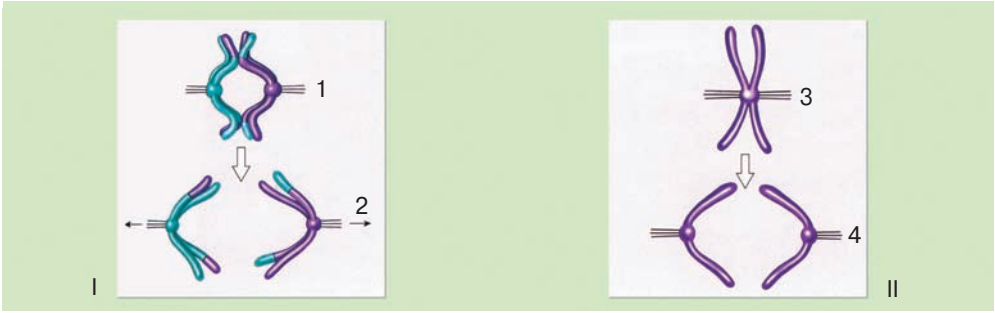


Рис. 25.4. Сравнение событий, происходящих во время метафазы и анафазы первого мейотического деления (I) и митоза (II): 1 – после конъюгации в метафазе I мейоза гомологичные хромосомы начинают отходить друг от друга; 2 – в анафазе I мейоза гомологичные хромосомы расходятся к полюсам; обратите внимание, как происходит обмен участками (обозначены другим цветом) между ними; 3 – в метафазе митоза нити веретена деления присоединяются к кинетохору, как и во время метафазы I мейоза, но в анафазе к разным полюсам расходятся отдельные хроматиды (4)

личество хромосом не изменяется, но каждая хромосома состоит лишь из одной хроматиды. Таким образом, количество ДНК в каждой клетке уменьшается вдвое.

Итак, после двух последовательных мейотических делений из диплоидной материнской клетки образуется четыре гаплоидные дочерние, в которых каждая хромосома представлена одной хроматидой.

• **Биологическое значение мейоза.** Мейоз представляет собой совершенный механизм, обеспечивающий постоянство кариотипа видов, размножающихся половым путем. Благодаря двум последовательным мейотическим делениям число хромосом половых клеток уменьшается вдвое. Диплоидный набор хромосом восстанавливается во время слияния гамет при оплодотворении.

Мейоз также обеспечивает и наследственную изменчивость организмов. Во-первых, в профазе I происходит обмен участками гомологичных хромосом. Во-вторых, в анафазе I гомологичные хромосомы, которые могут содержать отличную наследственную информацию, оказываются в разных дочерних клетках (рис. 25.4). Отличия между митотическим делением клетки и мейозом приведены на рисунке 25.5. Учащиеся, осваивающие биологию на академическом уровне, смогут подробнее изучить эти отличия во время выполнения практической работы № 5.

• **Место мейоза в жизненном цикле организмов.** Вы уже поняли, что в жизненном цикле организмов, размножающихся половым путем, обязательно происходит мейоз. Но у разных видов мейотическое деление может происходить на разных фазах жизненного цикла (рис. 25.6). Например, у паразитических одноклеточных животных-споровиков (в частности, малярийного плазмодия), некоторых водорослей (хламидомонады и др.) зигота начинает делиться путем мейоза. Поэтому у них диплоидна лишь зигота, а все другие фазы жизненного цикла обладают гаплоидным набором хромосом (рис. 25.6, I).

У многоклеточных животных и человека, наоборот, большая часть жизненного цикла представлена диплоидными клетками, а гаплоидные



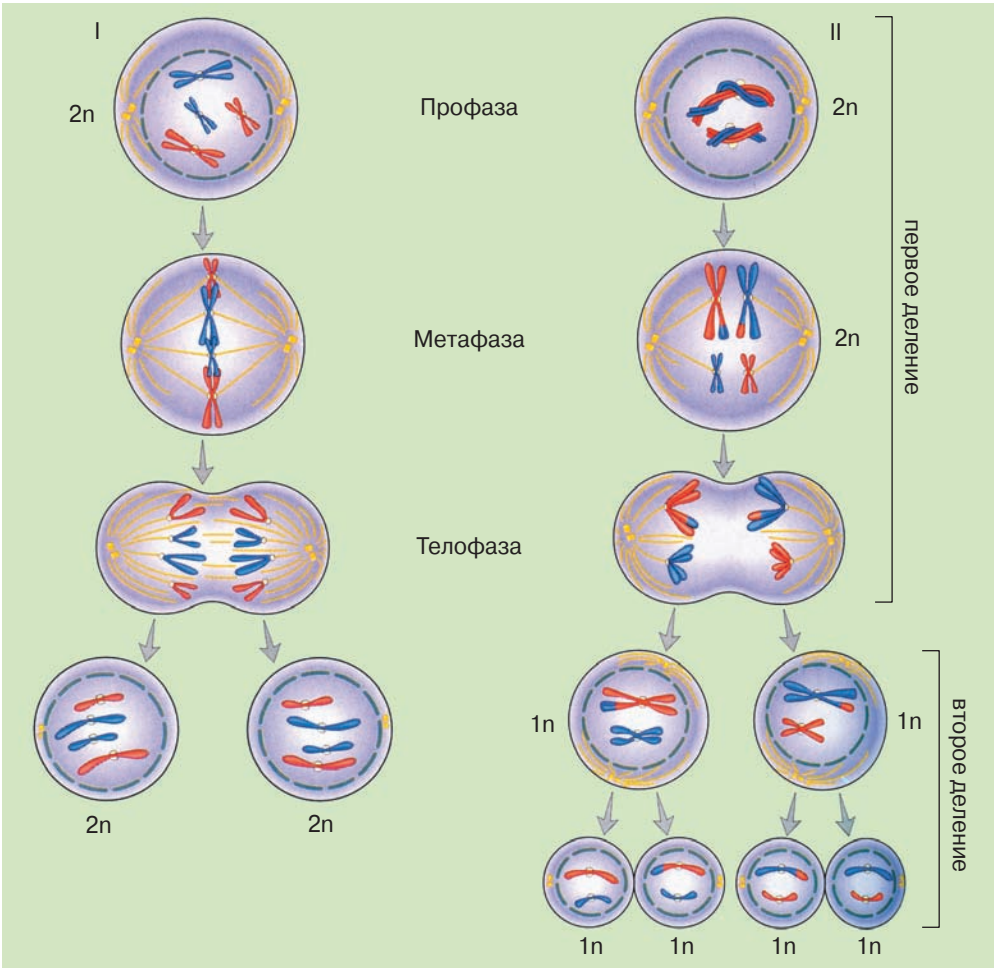


Рис. 25.5. Различия между митозом (I) и мейозом (II)

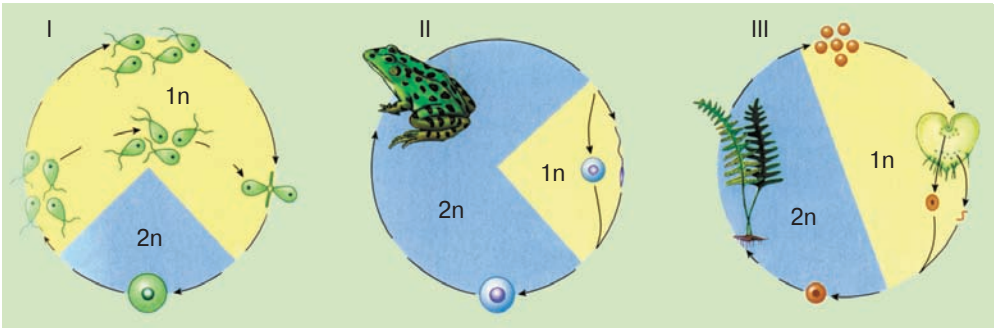


Рис. 25.6. Разные типы ядерных циклов: I – ядерный цикл хламидомонады (деление зиготы начинается мейозом); II – ядерный цикл лягушки (мейоз предшествует образованию гамет); III – ядерный цикл папоротника (половое поколение гаплоидное, бесполое – диплоидное, мейоз происходит при образовании спор, из которых развивается половое поколение)

лишь половые. У них мейоз предшествует образованию половых клеток (рис. 25.6, II).

У высших споровых растений (мхов, папоротников, хвощей, плаунов) мейоз происходит во время образования спор (рис. 25.6, III), из которых развивается гаплоидное поколение, размножающееся половым способом. А из оплодотворенной яйцеклетки развивается диплоидное поколение, которое размножается бесполым путем – спорами. Таким образом, одна половина жизненного цикла этих организмов представлена гаплоидными клетками, а другая – диплоидными. Подобное чередование поколений обнаружено и у морских одноклеточных животных фораминифер.

Ключевые термины и понятия. ***Мейоз, конъюгация хромосом, кроссинговер.***

Кратко о главном

- Мейоз – особый способ деления эукариотических клеток, вследствие которого их хромосомный набор уменьшается вдвое. Во время мейоза происходят два последовательные деления, интерфаза между которыми укорочена или отсутствует.
- В результате первого мейотического деления образуются клетки или лишь ядра с половинным (обычно гаплоидным), по сравнению с материнской клеткой, набором хромосом. Во время конъюгации хромосом на этапе профазы может происходить кроссинговер – обмен участками между гомологичными хромосомами, который служит источником наследственной изменчивости. В результате второго мейотического деления количество хромосом не изменяется, но каждая хромосома состоит лишь из одной хроматиды. Мейоз представляет собой совершенный механизм, который обеспечивает постоянство кариотипа видов, которые размножаются половым способом. Диплоидность восстанавливается во время слияния гамет при оплодотворении.
- У некоторых одноклеточных организмов (малярийного плазмодия, хламидомонады и др.) деление зиготы начинается с мейоза. У многоклеточных животных мейоз предшествует образованию половых клеток. У организмов, в жизненном цикле которых чередуются половое (гаплоидное) и бесполое (диплоидное) поколения, мейоз предшествует появлению особей полового (высшие споровые растения, морские одноклеточные животные – фораминиферы).

Вопросы для самоконтроля

1. *Из скольких делений состоит процесс мейоза?* **2.** *Что такое конъюгация гомологичных хромосом и кроссинговер?* **3.** *Почему мейоз способствует усилению наследственной изменчивости организмов?* **4.** *Какое биологическое значение мейоза?* **5.** *На каких этапах жизненных циклов организмов, размножающихся половым способом, может происходить мейоз?* **6.** *Что общего и отличного между процессами мейоза и митоза?*

Подумайте. *Почему мейоз не происходит у организмов, которым половое размножение не присуще?*



§ 26. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБМІНУ РЕЧОВИН І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В КЛІТИНАХ

Пригадайте: *що таке метаболізм і гомеостаз? Яка кількість енергії виділяється при розщепленні білків, ліпідів і вуглеводів? Яка будова та функції АТФ? Що таке хімічні реакції синтезу та розщеплення? Що таке ферменти, складні та прості білки? Які процеси називають окисними, а які – відновлювальними? Яка будова і функції мітохондрій і лізосом?*

• Загальна характеристика обміну речовин у клітині. Окремі клітини та організми належать до ***відкритих систем***. Це означає, що їхнє існування можливе лише завдяки надходженню в них із зовнішнього середовища поживних речовин, їхніх перетворень та виведення назовні продуктів життєдіяльності. Сукупність цих процесів має назву ***обмін речовин***, або ***метаболізм*** (від грец. *метаболе* – переміна).

В організмах одночасно відбуваються процеси двох типів. До першого типу належать надходження з навколишнього середовища, засвоєння і накопичення речовин, які використовуються для синтезу сполук, необхідних для окремих клітин та усього організму. *Сукупність реакцій синтезу, які забезпечують розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу, називають* ***пластичним обміном*** (від грец. *пластос* – створений). На здійснення цих процесів організм витрачає певну кількість енергії, необхідної для утворення хімічних зв'язків тощо. До другого типу належать процеси розкладу речовин. Вони супроводжуються виділенням енергії, необхідної зокрема для забезпечення пластичного обміну. *Сукупність реакцій розкладу складних сполук в організмі, що супроводжуються виділенням енергії, називають* ***енергетичним обміном***.

Процеси розкладу сполук не завжди врівноважені процесами їхнього синтезу. Так, під час росту клітини чи організму процеси синтезу переважають над процесами розкладу. Завдяки цьому забезпечується накопичення необхідних сполук і ріст організмів. Під час інтенсивної фізичної роботи, у разі нестачі поживних речовин або старіння, навпаки, процеси розкладу переважають над процесами синтезу. Якщо втрати біомаси та енергії не будуть компенсовані харчуванням, то організм поступово виснажуватиметься, що врешті-решт призведе до загибелі.

Отже, енергетичний та пластичний обміни є складовими єдиного процесу обміну речовин і перетворення енергії в живих організмах – метаболізму. Завдяки процесам обміну речовин і перетворення енергії забезпечується підтримання гомеостазу за змін умов навколишнього середовища. Підтримання гомеостазу – необхідна умова нормального функціонування будь-якої біологічної системи від клітинного до біогеоценотичного рівнів організації.

• Автотрофи, гетеротрофи та міксотрофи. Для живих організмів, які населяють нашу планету, основним джерелом енергії є сонячне світло, завдяки якому прямо чи опосередковано задовольняються їхні енергетичні потреби.

Ви пам'ятаєте, що організми, які здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають ***автотрофами*** (від грец. *аутос* – сам



і *трофе* – їжа, живлення). Енергію, яку поглинають з довкілля, вони використовують для забезпечення процесів життєдіяльності та накопичують у вигляді енергії хімічних зв'язків синтезованих сполук. Більшість автотрофних видів – зелені рослини, ціанобактерії, деякі бактерії та одноклітинні тварини (наприклад, панцирні джгутикові) – використовують світлову енергію, переважно сонячну. Деякі бактерії – нітрифікуючі, залізо- та сіркобактерії – для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію, яка вивільняється під час здійснення екзотермічних хімічних реакцій.

Гриби, більшість тварин і бактерій належать до ***гетеротрофів*** (від грец. *гетерос* – інший). Для них джерелом енергії слугують хімічні зв'язки органічних сполук, утворених іншими організмами. Ці органічні сполуки вони отримують, живлячись іншими живими істотами, їхніми рештками або продуктами життєдіяльності. ***Міксотрофи*** (від грец. *міксіс* – змішування) – організми зі змішаним типом живлення (росичка, омела, хламідомонада, евглена зелена). Такі організми здатні не лише синтезувати органічні сполуки з неорганічних, а й поглинати готові органічні речовини. Як ви пам'ятаєте, росичка здатна до фотосинтезу, але також живиться дрібними безхребетними тваринами – переважно комахами. Ця рослина поширена на болотяних ґрунтах, бідних азотистими сполуками. Їх росичка отримує, полюючи на комах.

• **Енергетичний обмін та його етапи.** У біологічних системах енергія існує в різних формах, здатних перетворюватись одна в іншу. Живі організми використовують енергію для забезпечення різних процесів життєдіяльності: хімічних (наприклад, синтезу органічних сполук), механічних (скорочення м'язів, руху одноклітинних організмів), електричних (проходження нервового імпульсу по нервовому волокну), теплових (підтримання сталої температури тіла), світлових (свічення деяких мікроорганізмів, комах, глибоководних риб тощо).

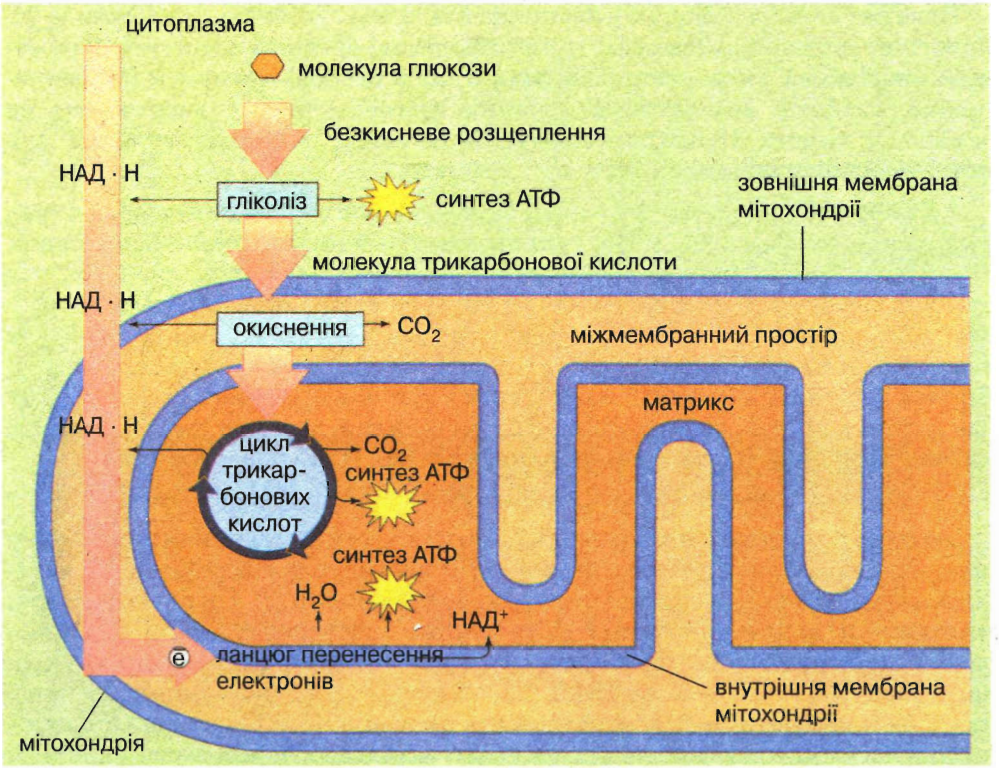
Ми вже згадували, що частина енергії, яка виділяється під час розщеплення органічних речовин, розсіюється у вигляді тепла, а частина – запасається у вигляді високоенергетичних хімічних зв'язків певних сполук. Як ви пам'ятаєте, такою універсальною сполукою – накопичувачем енергії в клітинах – слугує аденозинтрифосфатна кислота (АТФ).

Енергетичний обмін відбувається в три послідовні етапи: підготовчий, безкисневий і кисневий.

• **Підготовчий етап енергетичного обміну.** Початковий етап енергетичного обміну – ***підготовчий*** – відбувається в цитоплазмі клітин усіх організмів, а в більшості багатоклітинних тварин і людини – також і в порожнині органів травної системи. На підготовчому етапі складні органічні сполуки під дією ферментів розщеплюються на простіші: білки – до амінокислот, жири – до гліцерину і жирних кислот, полісахариди – до моносахаридів, нуклеїнові кислоти – до нуклеотидів. Ці процеси супроводжуються вивільненням енергії, але її кількість незначна, і вона розсіюється у вигляді тепла, яке організми можуть використовувати для підтримання певної температури тіла.

• **Безкисневий етап енергетичного обміну** (анаеробне дихання) відбувається в клітинах. Його ще називають ***анаеробним*** (від грец. *ан* – частка, що означає заперечення, та *аер* – повітря), оскільки сполуки, які утвори-





Мал. 26.1. Безкисневий та кисневий етапи енергетичного обміну

лися на попередньому етапі, зазнають подальшого багатоступеневого розщеплення, але без участі кисню.

Анаеробне розщеплення, або анаеробне дихання, – це найпростіша форма перетворення та накопичення енергії в хімічних зв'язках молекул АТФ. Так, деякі мікроорганізми і безхребетні тварини (здебільшого паразити) не можуть використовувати кисень у процесах енергетичного обміну. Необхідну енергію вони отримують лише завдяки анаеробному розщепленню органічних сполук. Більшість організмів у процесах енергетичного обміну здатна використовувати кисень, однак і в них кисневому етапу завжди передує безкисневий.

Суттю безкисневого етапу енергетичного обміну є розщеплення молекули глюкози на дві молекули молочної ($C_3H_6O_3$) трикарбонової кислоти (мал. 26.1). Процеси безкисневого розщеплення вуглеводів, або анаеробне дихання, узагальнено називають ***гліколізом*** (від грец. *глікіс* – солодкий та *лізіс* – розщеплення). Гліколіз можна записати таким рівнянням:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2АДФ \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2АТФ + 2H_2O$$

Унаслідок подальших перетворень синтезується піровиноградна ($C_3H_4O_3$) кислота. Вона бере участь у реакціях наступного – *кисневого етапу*.

Під час гліколізу виділяється приблизно 200 кДж енергії. Частина її (майже 84 кДж, або 35–40 %) витрачається на синтез двох молекул АТФ, а решта – розсіюється у вигляді тепла. Кінцеві продукти гліколізу все ще містять багато хімічно зв'язаної енергії.



Незважаючи на відносно низьку ефективність, гліколіз має важливе фізіологічне значення. Завдяки цьому процесові організми можуть отримувати енергію за умов нестачі кисню, а його кінцеві продукти (піровиноградна кислота) зазнають подальших ферментативних перетворень за наявності кисню. Проміжні продукти гліколізу використовуються для синтезу різних сполук.

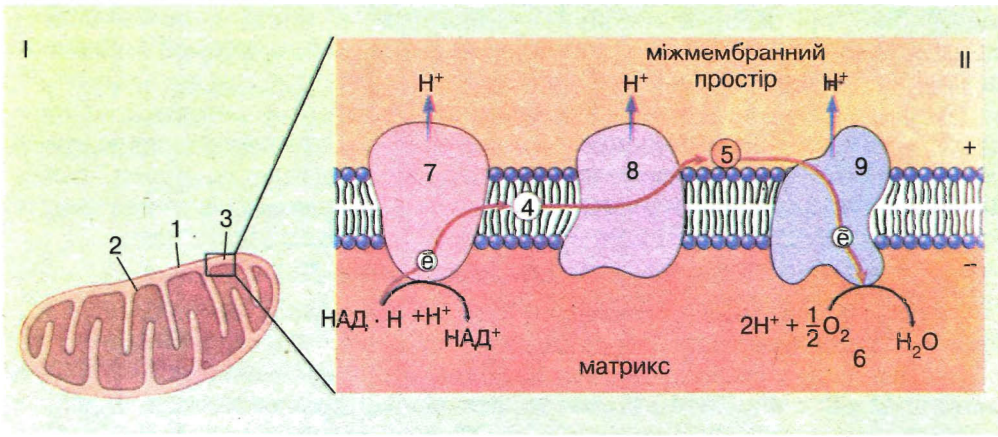
• **Кисневий етап енергетичного обміну** (аеробне дихання) відбувається в мітохондріях (мал. 26.1). Він супроводжується низкою окисно-відновних реакцій за участі певних ферментів. Унаслідок органічні сполуки, які утворилися на попередньому, безкисневому етапі, окиснюються до кінцевих продуктів – CO_2 та H_2O. Завдяки цим реакціям організм отримує значну кількість енергії, необхідної для забезпечення життєдіяльності. Більша частина цієї енергії запасається в хімічних зв'язках молекул АТФ. Кисневий етап енергетичного обміну можливий лише за умов наявності кисню. Тому його ще називають ***аеробним*** (від грец. *аер* – повітря).

$$2C_3H_6O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36АДФ \rightarrow 6CO_2 + 38H_2O + 36АТФ$$

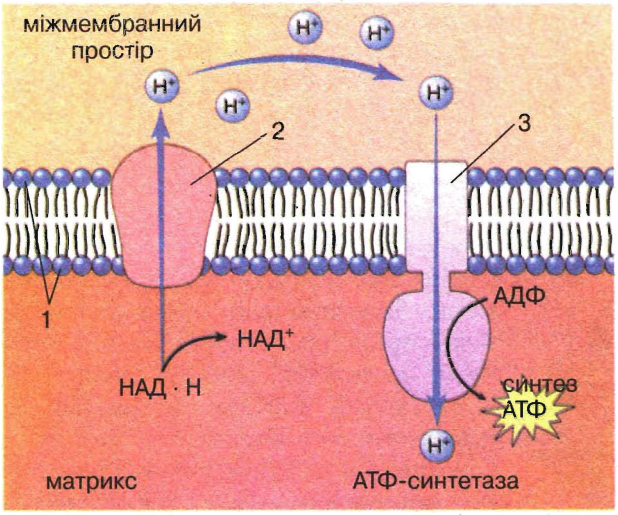
Уважно розгляньте малюнок 26.2. У лівій частині (I) ви бачите мітохондрію в розрізі. Прямокутник охоплює ту її частину, де є зовнішня (1), внутрішня (2) мембрани, а також міжмембранний простір (3). На правій частині малюнка (II) показано у схемі роботу ланцюга транспорту електронів (утворюють транспортні білки), пов'язаного з внутрішньою мембраною мітохондрії. Сполука, позначена як НАД · Н, за участі особливого ферменту окиснюється із звільненням електронів ($\bar{e}$) та протонів (H^+). Електрони ($\bar{e}$), яким надана енергія, транспортуються за участі мобільних білків-переносників (4) на зовнішню поверхню мембрани. Там електрони передаються особливій білковій молекулі (5), що забезпечує їхній подальший транспорт.

Повна назва НАД (не для запам'ятовування) – нікотинамідаденіндинуклеотид. Ця сполука – частина багатьох складних ферментів, що забезпечують окисно-відновні реакції клітинного метаболізму.

Прослідкуємо подальший напрямок руху електронів. Як ви помітили, електрони повертаються всередину мітохондрії. Там вони взаємодіють з протонами (H^+) та Оксигеном з утворенням води (6). Тепер знайдіть на ма-



Мал. 26.2. Схема роботи ланцюга транспорту електронів



Мал. 26.3. Молекула ферменту АТФ-синтетази забезпечує синтез АТФ під час кисневого енергетичного обміну: 1 – внутрішня мембрана мітохондрії; 2 – молекула білка, що забезпечує транспорт йонів H^+ у міжмембранний простір мітохондрії; 3 – АТФ-сома, до складу якої входить фермент АТФ-синтетаза (скорочено – АТФ-аза)

люнку три білкові молекули, що входять до складу внутрішньої мембрани мітохондрії (вони позначені цифрами 7, 8, 9). Ці молекули використовують частину звільненої енергії для перекачування йонів Гідрогену (H^+) у простір між двома мембранами мітохондрії (3). Так виникає різниця концентрації йонів H^+ по обидва боки внутрішньої мембрани мітохондрії (*поміркуйте, де вона буде вищою*).

Отже, на зовнішній поверхні внутрішньої мембрани мітохондрії буде зосереджений позитивний заряд, а біля внутрішньої поверхні – негативний. Цей негативний заряд наче «приваблює» протони і «змушує» їх повертатися до матриксу. Більша частина протонів, які повертаються всередину матриксу мітохондрії, шляхом дифузії проходять через канал у молекулі ферменту АТФ-синтетази (мал. 26.3). Цей фермент відповідає за синтез молекул АТФ. При поверненні йонів Гідрогену (H^+) у матрикс мітохондрій звільняється енергія, яка використовується для синтезу молекул АТФ з АДФ та ортофосфатної кислоти.

Під час реакцій кисневого етапу енергетичного обміну утворюються молекули вуглекислого газу.

Повне окиснення до H_2O та CO_2 продуктів ферментативних перетворень піровиноградної кислоти, які утворилися на кисневому етапі енергетичного обміну, супроводжується виділенням кількості енергії, достатньої для утворення 36 молекул АТФ. Під час цих перетворень виділяється приблизно 2800 кДж енергії, з яких у вигляді хімічних зв'язків молекул АТФ запасається приблизно 55 %, а 45 % – розсіюється у вигляді тепла.

Ви вже знаєте, що в процесі анаеробного етапу енергетичного обміну при розщепленні однієї молекули глюкози утворюються дві молекули АТФ. Таким чином, енергії, яка виділяється внаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози, вистачає на утворення 38 молекул АТФ.

Завершується енергетичний обмін виведенням кінцевих продуктів (вуглекислого газу та води) з організму.

Ключові терміни та поняття. ***Пластичний та енергетичний обмін, автотрофи, гетеротрофи, міксотрофи, гліколіз.***

Коротко про головне

- Окремі клітини та організми належать до відкритих систем. Це означає, що їхнє існування можливе лише завдяки надходженню в них з довкілля поживних речовин, їхніх перетворень та виведення назовні продуктів життєдіяльності. Сукупність цих процесів має назву обмін речовин, або метаболізм.
- Метаболізм забезпечують два типи процесів: пластичний та енергетичний обміни. Сукупність реакцій синтезу, які забезпечують розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу, називають пластичним обміном. На здійснення цих процесів організм витрачає певну кількість енергії, необхідної для утворення хімічних зв'язків тощо. До другого типу належать реакції розщеплення речовин. Вони супроводжуються виділенням енергії, необхідної для забезпечення пластичного обміну та інших процесів життєдіяльності. Сукупність реакцій розщеплення складних сполук в організмі, що супроводжуються виділенням енергії, називають енергетичним обміном. Завдяки збалансованим процесам обміну речовин і перетворення енергії забезпечується підтримання гомеостазу живої системи за змін умов навколишнього середовища.
- Організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних, називають автотрофами. Для гетеротрофів джерелом енергії є органічні сполуки, утворені іншими організмами. Міксотрофи – організми зі змішаним типом живлення: вони здатні не лише синтезувати органічні сполуки з неорганічних, а й поглинати готові органічні сполуки.
- Енергетичний обмін відбувається в три послідовні етапи: підготовчий, безкисневий та кисневий. На підготовчому етапі складні органічні сполуки під дією ферментів розщеплюються на простіші. Ці процеси супроводжуються вивільненням енергії, але її кількість незначна і вона розсіюється у вигляді тепла. Безкисневий, або анаеробний, етап енергетичного обміну відбувається в клітинах. Сполуки, які утворилися на попередньому етапі, зазнають подальшого багатоступеневого розщеплення без участі кисню. Суттю безкисневого етапу енергетичного обміну є розщеплення молекули глюкози на дві молекули молочної кислоти (гліколіз). Під час цього етапу виділяється приблизно 200 кДж енергії, 35–40 % якої запасається в макроергічних зв'язках молекул АТФ.
- Кисневий етап відбувається в мітохондріях, у внутрішніх мембранах яких відбувається синтез АТФ. Унаслідок окисно-відновних реакцій органічні сполуки, які утворилися на безкисневому етапі, окиснюються до CO_2 та H_2O. Повне окиснення молекули молочної кислоти супроводжується виділенням енергії, достатньої для утворення 38 молекул АТФ. Під час цих перетворень запасається приблизно 55 % енергії, а 45 % – розсіюється у вигляді тепла. Таким чином, енергії, яка виділяється внаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози, вистачає на утворення 38 молекул АТФ.

Запитання для самоконтролю

1. *Які процеси називають метаболізмом, пластичним та енергетичним обміном?* **2.** *Які організми називають автотрофами, міксотрофами та гетеротрофами?* **3.** *Які джерела енергії використовують автотрофні організми?* **4.** *Яке значення АТФ у процесах енергетичного обміну?* **5.** *У скільки етапів відбувається енергетичний обмін? Назвіть їх.* **6.** *Охарактеризуйте підготовчий етап енергетичного обміну.* **7.** *Які процеси відбуваються під час безкисневого етапу енергетичного обміну?* **8.** *Які умови здійснення кисневого етапу енергетичного обміну?* **9.** *Скільки загалом молекул АТФ синтезується під час безкисневого та кисневого етапів енергетичного обміну?*

Поміркуйте. *1. Чому життя неможливе без перетворень енергії? 2. Чому при окисненні органічних сполук вивільняється енергія? 3. Чому розщеплення органічних сполук за присутності кисню виявляється енергетично ефективнішим, ніж за його відсутності?*

§ 27. ПЛАСТИЧНИЙ ОБМІН. БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ І НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ

Пригадайте: *яка будова білків? Що таке замінні й незамінні амінокислоти, повноцінні й неповноцінні білки? Яка будова ендоплазматичної сітки та рибосом? Яка будова нуклеїнових кислот? Що таке ген, мутації?*

• **Загальна характеристика пластичного обміну.** Ми вже згадували, що пластичним обміном називають сукупність реакцій синтезу. Внаслідок цих процесів зі сполук, які надходять у клітину, утворюються необхідні для неї речовини. Основні процеси пластичного обміну – це біосинтез білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот.

• **Біосинтез білків.** Як ви пам'ятаєте, розрізняють амінокислоти замінні і незамінні. Перші з них можуть синтезуватися в організмі людини і тварин, другі – надходять до них лише з їжею. Білки їжі перетравлюються (розщеплюються до амінокислот) в органах травної системи. Амінокислоти поглинаються через стінки кишечнику у кров та транспортуються до клітин, де з них синтезуються білки, властиві даному організмові. Рослини та деякі мікроорганізми здатні самі синтезувати всі необхідні їм амінокислоти. Синтез кожної з 20 основних амінокислот – багатоступеневий ферментативний процес.

У живих організмах утворюється величезна кількість різноманітних білків. Інформація про структуру кожного з них має знаходитись у клітинах і передаватися нащадкам. Єдина для всіх живих організмів система запису спадкової інформації дістала назву ***генетичний код***. Він зберігається в клітині у вигляді певної послідовності нуклеотидів у молекулі нуклеїнової кислоти. Саме він визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі під час його синтезу.

Учені виявили, що кожна амінокислота в поліпептидному ланцюзі кодується певною послідовністю з трьох нуклеотидів, так званим ***триплетом***. Чотири різні нуклеотиди РНК можуть утворювати 64 комбінації ($4^3 = 64$). Тобто існує 64 різні триплети. Оскільки відомо лише 20 основних амінокислот, то можна припустити, що одна амінокислота



може кодуватися кількома різними триплетами (див. таблицю 27.1). Встановлено, що більшість (18) основних амінокислот кодують від двох до шести триплетів і лише дві з них – один. Те, що одна амінокислота може кодуватися декількома триплетами, має важливе біологічне значення, оскільки підвищує ***надійність генетичного коду***. Так, випадкова заміна залишку одного нуклеотида в певному триплеті на інший не завжди супроводжуватиметься змінами в первинній структурі білка. Зверніть увагу: оскільки інформацію про структуру білка від молекули ДНК до місця синтезу білкової молекули переносить молекула іРНК, генетичний код зчитується саме з неї. У таблиці 27.1 знайдемо триплети, що кодують амінокислоту лейцин (ЛЕЙ). Припустимо, що в певній молекулі іРНК цю амінокислоту кодує триплет ЦУУ. Унаслідок мутації в цьому триплеті останній нуклеотид У може замінюватися на інший, наприклад на А. Але триплет, що утворився, – ЦУА – все одно кодуватиме амінокислоту лейцин.

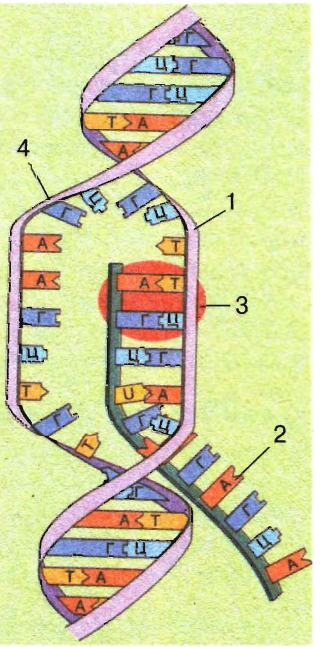
Таблиця 27.1

ГЕНЕТИЧНИЙ КОД

Перша основа	Друга основа				Третя основа
	У	Ц	А	Г	
У	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	У
	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	Ц
	ЛЕЙ	СЕР	-	-	А
	ЛЕЙ	СЕР	-	ТРИ	Г
Ц	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	У
	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	Ц
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	А
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	Г
А	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	У
	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	Ц
	ІЛЕ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	А
	МЕТ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	Г
Г	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	У
	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	Ц
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	А
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	Г

Примітка. У таблиці наведено (не для запам'ятовування) закодовані назви амінокислот: аланіну (АЛА), аргініну (АРГ), аспарагіну (АСН), аспарагінової кислоти (АСП), валіну (ВАЛ), гістидину (ГІС), гліцину (ГЛІ), глутаміну (ГЛН), глутамінової кислоти (ГЛУ), ізолейцину (ІЛЕ), лейцину (ЛЕЙ), лізину (ЛІЗ), метіоніну (МЕТ), проліну (ПРО), серину (СЕР), тирозину (ТИР), треоніну (ТРЕ), триптофану (ТРИ), фенілаланіну (ФЕН) та цистеїну (ЦИС).

За допомогою цієї таблиці можна визначити, яку саме амінокислоту кодує певний триплет молекули РНК. Перший нуклеотид у триплеті беруть з лівого вертикального стовпчика, другий – з верхнього горизонтального і третій – з правого вертикального. У місці перетину ліній міститься інформація про амінокислоту, яку слід визначити.



Мал. 27.1. Процес транскрипції: за принципом комплементарності на одному з ланцюгів молекули ДНК (1) синтезується молекула іРНК (2). Синтез забезпечує фермент РНК-полімераза (3). Другий ланцюг ДНК (4) у цей час залишається неактивним

Ще одна властивість генетичного коду полягає в тому, що ***кожний триплет кодує лише одну певну амінокислоту***. Крім того, генетичний код є ***універсальним***, тобто єдиним для всіх організмів: від бактерій до людини.

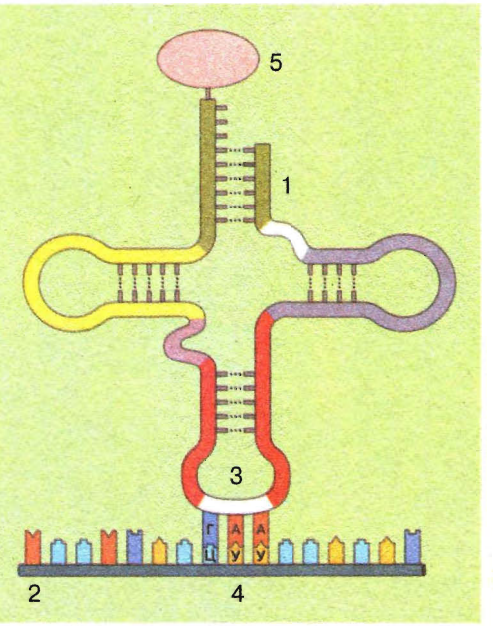
З'ясовано також, що генетичний код ***не перекривається***. Під час синтезу білкової молекули триплети іРНК зчитуються один за одним. При цьому сусідні триплети не перекриваються і між ними відсутній проміжок.

Пригадайте, *ген* – це *певна послідовність нуклеотидів у молекулі нуклеїнової кислоти*. У генетичному коді є також три триплети (УАА, УАГ, УГА), кожний з яких сигналізує про припинення синтезу поліпептидного ланцюга, а триплет АУГ, як правило, визначає початок цього процесу (*використовуючи таблицю 27.1, визначте амінокислоту, яку кодує цей триплет*).

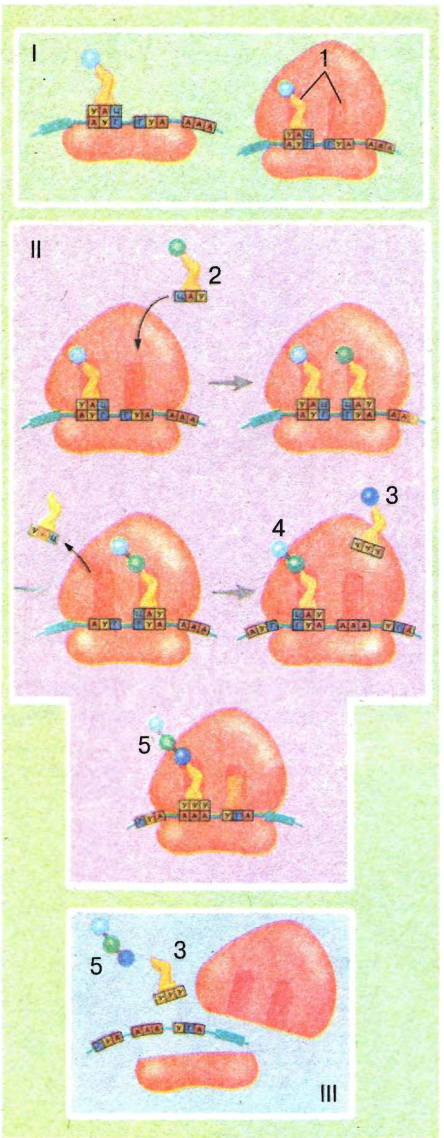
Механізм біосинтезу білків з'ясований у 50-ті роки XX ст. У цьому процесі виділяють кілька етапів.

• **Етапи біосинтезу білків.** Перший етап пов'язаний із синтезом молекули іРНК на молекулі ДНК однієї із хромосом. При цьому особливий фермент (РНК-полімераза) роз'єднує подвійну спіраль ДНК. Потім на одному з її ланцюгів за участі цього ферменту за принципом комплементарності синтезується молекула іРНК. Таким чином, молекула іРНК є точною копією цієї ділянки ДНК. Ці процеси називають ***транскрипцією*** (від лат. *транскрипціо* – переписування) (мал. 27.1). Потім молекула іРНК з ядра надходить у цитоплазму клітини.

На наступному етапі – ***трансляції*** (від лат. *транслятіо* – передача) – послідовність нуклеотидів у молекулі іРНК переводиться в послідовність амінокислотних залишків молекули білка, що синтезується. Спочатку в цитоплазмі котрась із 20 амінокислот приєднується до відповідної молекули тРНК (мал. 27.2).



Мал. 27.2. Взаємодія молекули мРНК (1) з молекулою іРНК (2). Антикодон (3) молекули мРНК взаємодіє з кодоном (4) молекули іРНК; 5 – амінокислота, яку транспортує молекула мРНК



Мал. 27.3. Етапи біосинтезу білків: I – ініціація; II – елонгація; III – завершення синтезу білкової молекули

Цей процес називають ***активацією амінокислот***. У свою чергу іРНК зв'язується з рибосомою, а згодом – і з амінокислотним залишком, приєднаним до певної молекули тРНК. Такий комплекс готовий до початку синтезу молекули білка.

На наступних етапах біосинтезу білка поліпептидний ланцюг подовжується завдяки тому, що амінокислотні залишки послідовно зв'язуються між собою за допомогою особливих міцних ковалентних (пептидних) зв'язків.

Як ви пам'ятаєте, один з кінців молекули тРНК утворює петлю. Там розміщений триплет нуклеотидів, що визначає, яку саме амінокислоту вона транспортує (антикодон). Він має утворювати комплементарну пару з відповідним триплетом іРНК (кодоном). Амінокислотний залишок при цьому приєднаний до протилежної частини молекули тРНК (див. мал. 11.4).

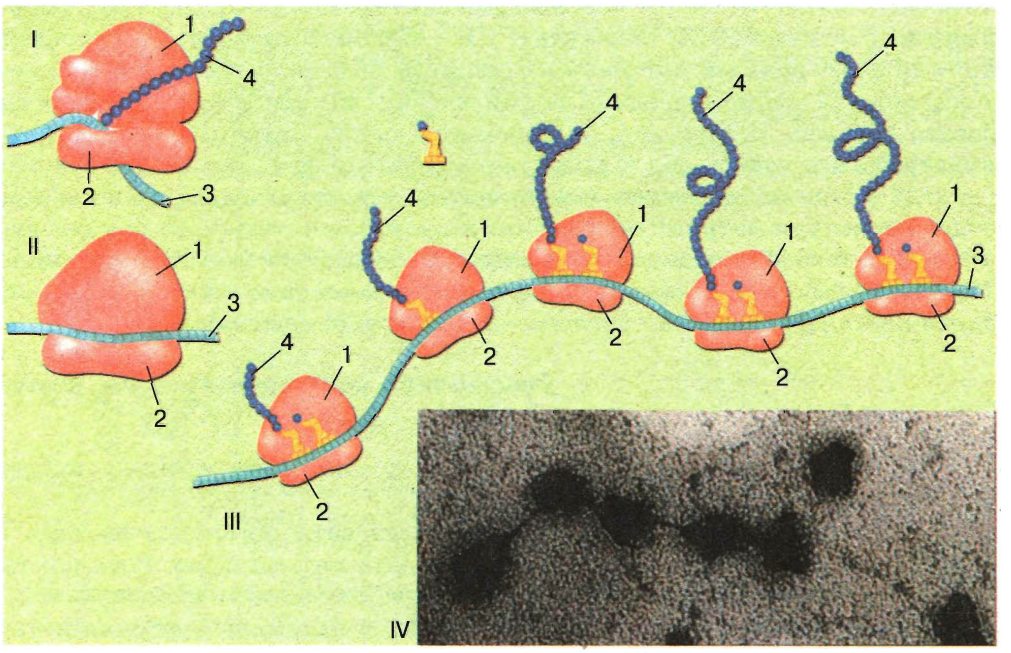
Під час синтезу білкової молекули ниткоподібна молекула іРНК опиняється між двома субодиницями рибосоми (мал. 27.3). Зчитується генетична інформація та приєднуються амінокислотні залишки до молекули білка, що синтезується, в особливій ділянці рибосоми – ***функціональному центрі***. Його розміри відповідають довжині двох триплетів, тому в ньому водночас перебувають два сусідні триплети іРНК. В одній частині функціонального центру антикодон тРНК впізнає кодон іРНК, а в іншій – амінокислота звільняється від тРНК.

Уважно розгляньте малюнок 27.3. Спочатку відбувається процес так званої *ініціації*, коли мала субодиниця рибосоми сполучається з іРНК та її кодон (АУГ) взаємодіє з антикодоном тРНК (УАЦ). При цьому велика субодиниця рибосоми приєднується до малої (I). Зверніть увагу на функціональний центр рибосоми (1), в якому одночасно можуть перебувати дві молекули тРНК. Далі починається сам процес синтезу поліпептидного ланцюга – *елонгація* (II). До функціонального центру рибосоми підходить друга молекула тРНК (2). Її антикодон (ЦАУ) взаємодіє з кодоном іРНК (ГУА). Перша молекула тРНК залишає функціональний центр рибосоми. Два залишки амінокислот за допомогою пептидного зв'язку сполучаються у дипептид (4).

Рибосома робить крок, що дорівнює одному триплету. До ділянки функціонального центру рибосоми, яка звільнилася, надходить третя молекула тРНК (3). Відбувається ще один крок рибосоми. У цей час антикодон третьої молекули тРНК (УУУ) взаємодіє з кодоном ААА. Молекула білка, що синтезується, складається вже з трьох залишків амінокислот (5). Зверніть увагу: у другій ділянці функціонального центру рибосоми молекула тРНК відсутня. Це пов'язано з тим, що там перебуває триплет іРНК УГА, який дає сигнал про припинення синтезу білкової молекули. Завершується процес біосинтезу молекули білка (III), коли велика та мала субодиниці рибосом роз'єднуються та залишають молекулу іРНК. Водночас звільняються й молекули тРНК (3) та синтезована молекула білка (5). (***Завдання.*** *Користуючись таблицею 27.1, з'ясуйте, із залишків яких амінокислот складається синтезована молекула білка.*)

Коли рибосома просувається вперед уздовж молекули іРНК, її місце заступає друга, згодом – третя, четверта тощо і біосинтез нових білкових молекул триває. Кількість рибосом, які одночасно можуть бути розташовані на молекулі іРНК, визначається її довжиною. Комплекс рибосом, об'єднаних молекулою іРНК, називають *полірибосомою*, або скорочено – *полісомою* (мал. 27.4). Таким чином, на одній полісомі водночас відбувається синтез багатьох молекул певного білка.

На завершальному етапі синтезований білок набуває своєї природної конформації. У цей час за участі відповідних ферментів відщеплюються зайві амінокислотні залишки, до складу молекули можуть приєднуватися



Мал. 27.4. Структура та функції полірибосоми. I. Вигляд збоку. Зверніть увагу на розташування великої (1) та малої (2) субодиниць рибосоми, а також молекул іРНК (3) та білків, що синтезуються (4). II. Вигляд спереду. III. Декілька рибосом, об'єднані молекулою іРНК, утворюють полірибосому (полісому). IV. Електронна мікрофотографія полірибосоми

небілкові складові (ортофосфатні, карбоксильні та інші групи, вуглеводи, ліпіди тощо). Лише після цих процесів молекула білка стає функціонально активною.

Процеси синтезу білкових молекул потребують витрат енергії, яка звільняється при розщепленні молекул АТФ.

• **Біосинтез нуклеїнових кислот.** Майже всі живі організми здатні синтезувати нуклеотиди в результаті послідовних ферментативних реакцій. Попередниками нуклеотидів, які входять до складу нуклеїнових кислот, є амінокислоти. Також під час розщеплення нуклеїнових кислот значна частина нітратних основ не розщеплюється, а використовується знову для синтезу нових нуклеотидів.

Різні види нуклеїнових кислот утворюються по-різному. Біосинтез ДНК ґрунтується на здатності молекул ДНК до самоподвоєння – реплікації, унаслідок чого дочірні молекули ДНК стають точною копією материнської.

Усі види РНК (іРНК, тРНК, рРНК) синтезуються за принципом комплементарності на молекулах ДНК. Ці реакції забезпечуються відповідними ферментами. Спочатку синтезуються попередники РНК, які згодом перетворюються на функціонально активні молекули.

• **Особливості реакцій матричного синтезу.** Як ви могли помітити, біологічним системам притаманний особливий тип біохімічних реакцій, коли молекула однієї сполуки слугує основою для синтезу молекули іншої. Так, молекула ДНК слугує основою для синтезу інших молекул ДНК, різних типів молекул РНК, молекула іРНК – білкових молекул. Такі процеси дістали назву ***реакцій матричного синтезу***, бо нагадують промислові методи, коли за допомогою однієї форми-матриці або шаблону виготовляють багато деталей. Наприклад, за допомогою однієї матриці можна надрукувати багато купюр або відкарбувати багато монет. Так само і під час реакцій матричного синтезу нові молекули утворюються згідно з планом будови молекули-матриці: мономери молекули, що синтезується, розташовуються у точній відповідності до розміщення мономерів молекули-матриці. Таким чином, *реакції матричного синтезу є основою однієї з головних властивостей біологічних систем – здатності до самовідтворення.*

Ключові терміни та поняття. ***Генетичний код, транскрипція, трансляція.***

Коротко про головне

- Основні процеси пластичного обміну – це біосинтез білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот.
- Замінні амінокислоти здатні синтезувати організми людини і тварин, незамінні – надходять до них лише з їжею. Рослини та деякі мікроорганізми утворюють усі необхідні їм амінокислоти.
- Генетичний код – система запису генетичної інформації. Це певна послідовність нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот. Вона визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі під час його синтезу. Властивості генетичного коду: він триплетний (один триплет кодує лише одну амінокислоту, але більшість амінокислот кодується



декількома триплетами); у генетичному коді є триплети, які дають сигнали про початок чи завершення синтезу білкової молекули.

- Перший етап біосинтезу білків – це транскрипція: синтез молекули іРНК на молекулі ДНК в ядрі. Далі в цитоплазмі відбуваються процеси трансляції: послідовність нуклеотидів у молекулі іРНК переводиться в послідовність амінокислотних залишків молекули білка, що синтезується. Спочатку молекула однієї з 20 амінокислот приєднується до певної молекули тРНК, далі іРНК зв'язується з рибосомою, а згодом – також із амінокислотним залишком, приєднаним до певної молекули тРНК. На наступних етапах поліпептидний ланцюг подовжується завдяки тому, що амінокислотні залишки послідовно зв'язуються між собою за допомогою міцних хімічних (пептидних) зв'язків.
- Процеси синтезу припиняються, коли рибосома досягає триплету, який сигналізує про припинення синтезу поліпептидного ланцюга. На заключному етапі синтезований білок набуває своєї природної просторової структури.
- Біосинтез ДНК ґрунтується на здатності молекул ДНК до самоподвоєння, унаслідок чого дочірні молекули стають точною копією материнської. Усі види РНК (іРНК, тРНК, рРНК) синтезуються за принципом комплементарності на молекулах ДНК.

Запитання для самоконтролю

1. Яка роль ДНК у біосинтезі білків? 2. Що таке генетичний код і які його властивості? 3. Які основні етапи процесу біосинтезу білків? 4. Яку роль відіграють рибосоми в процесі біосинтезу білків? 5. Як генетична інформація, закодована в молекулі ДНК, реалізується під час синтезу білкової молекули? 6. Чому більшість амінокислот, які входять до складу білків, закодовані не одним, а декількома триплетами? 7. Чим відрізняються процеси біосинтезу ДНК і РНК? 8. Які реакції відносять до реакцій матричного синтезу?

Поміркуйте. *1. Чому ДНК самоподвоюється лише під час інтерфази? 2. Яке біологічне значення того, що на молекулі іРНК одночасно перебуває не одна, а декілька (до 20) рибосом?*

§28. ХЕМОСИНТЕЗ І ФОТОСИНТЕЗ

Пригадайте: *що таке хлорофіл? Яка роль фотосинтезу в біосфері? Які особливості клітин прокаріотів? Яка будова хлоропластів? Що таке тилакоїди? Що таке протони та електрони?*

• **Різноманітність автотрофних організмів.** Ви вже знаєте, що автотрофні організми для синтезу органічних сполук з неорганічних здатні використовувати різні джерела енергії.

• **Хемосинтез** – це тип автотрофного живлення, за якого органічні сполуки синтезуються з неорганічних з використанням енергії, що вивільняється внаслідок певних хімічних реакцій. До хемосинтезуючих організмів, або *хемотрофів* (від грец. *хемейя* – хімія та *трофе* – живлення),

належать деякі групи бактерій: нітрифікуючі, залізобактерії, безбарвні сіркобактерії та інші. Процес хемосинтезу відкрив 1887 року видатний російський мікробіолог С.М. Виноградський.

Нітрифікуючі бактерії окиснюють аміак спочатку до нітритів (солі нітритної кислоти), а згодом – до нітратів (солі нітратної кислоти). Значення цих процесів важко переоцінити, оскільки нітрати потрібні рослинам для повноцінного живлення. *Залізобактерії* отримують енергію за рахунок окиснення сполук двовалентного Феруму до тривалентного. А *безбарвні сіркобактерії* окиснюють сірководень та інші сполуки Сульфуру до сульфатної кислоти.

Яка роль хемотрофних організмів у природі? Насамперед, вони беруть участь у процесах *колообігу* певних хімічних елементів в екосистемах. **Нагадаємо, *колообігом речовин*** *називають закономірне переміщення (міграцію) певних сполук між живою та неживою частинами екосистем та біосфери в цілому.* Перетворення багатьох хімічних елементів у біосфері відбуваються лише за участі хемотрофних організмів, які здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних у тих частинах біосфери, куди не досягає світло. Зокрема, залізобактерії беруть участь у створенні покладів залізних руд.

• **Фотосинтез** – це процес утворення органічних сполук з неорганічних завдяки перетворенню світлової енергії в енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів. Більшість автотрофних істот належить до фотосинтезуючих організмів, або *фототрофів* (від грец. *фотос* – світло). Ви пам'ятаєте, що в клітинах рослин фотосинтез відбувається в хлоропластах, які містять фотосинтезуючі пігменти – хлорофіли. За своєю структурою вони нагадують гем гемоглобіну, але в них замість Феруму в центрі молекули розміщений атом іншого двовалентного металу – Магнію. До фототрофів належать зелені, пурпурові бактерії, ціанобактерії та рослини.

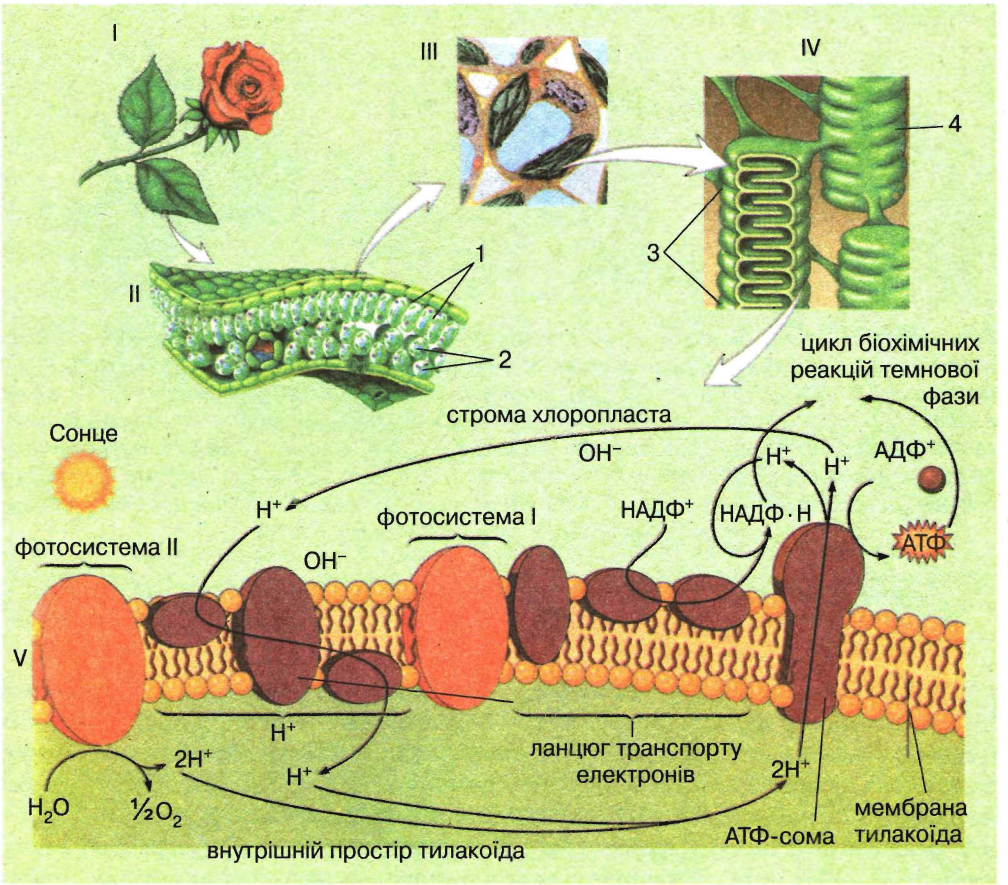
Фотосинтез ґрунтується на послідовності біохімічних реакцій, пов'язаних з утворенням вуглеводів з неорганічних сполук і виділенням в атмосферу молекулярного кисню (за винятком фотосинтезуючих бактерій).

У процесі фотосинтезу в зелених рослинах і ціанобактеріях беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II) (мал. 28.1). ***Фотосистемою*** називають структурну одиницю, що складається з пігментів та інших молекул, які беруть участь у процесах фотосинтезу і містяться у тилакоїдах хлоропластів. Кожна із фотосистем має свій функціональний активний комплекс – *реакційний центр*, що складається з молекул хлорофілу. У реакційному центрі енергія світла використовується для здійснення подальших біохімічних процесів світлової фази фотосинтезу.

Обидві фотосистеми розділені просторово, але пов'язані між собою механізмами перенесення електронів (мал. 28.1). У процес фотосинтезу вони включаються послідовно.

Фотосинтез відбувається у дві фази – світлову і темнову. **Світлову фазу** названо так тому, що її реакції перебігають лише на світлі в мембранах тилакоїдів (див. мал. 28.1).

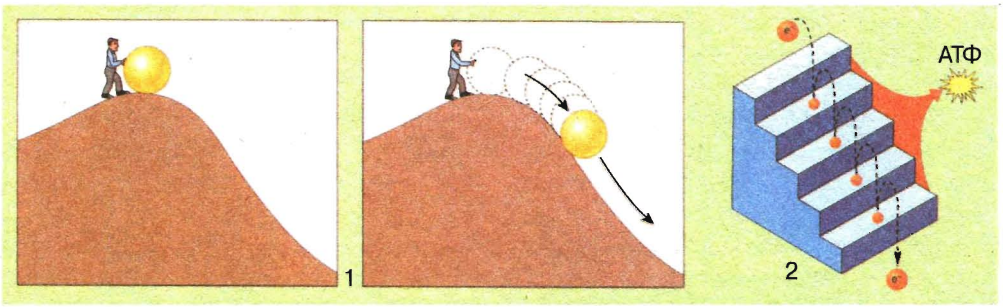




Мал. 28.1. Структури, які забезпечують фотосинтез: I – фотосинтезуюча рослина; II – зріз через листкову пластинку; зверніть увагу на стовпчасті (1) та губчасті (2) клітини, в яких розташовані хлоропласти; III – внутрішня будова рослинної клітини; IV. Деталі будови хлоропласта: окремі тилакоїди (4) та грани (3); V – процес перенесення електронів під час фотосинтезу

Фотосинтез починається з того, що світлову енергію поглинають світлозбиральні пігменти фотосистеми I. Далі вона передається в реакційний центр, де спричиняє збудження молекули хлорофілу. Електрон, якому надана додаткова енергія, електрон-транспортним ланцюгом (утвореним транспортними білками) транспортується на зовнішню поверхню мембрани тилакоїда. Згаданий процес можна порівняти з тим, що коли людина піднімає камінь догори, вона надає йому певної потенційної енергії. А коли цей камінь падає додолу, він віддає цю енергію (мал. 28.2).

У фотосистемі I «збуджений» електрон може взаємодіяти з протонами Гідрогену особливої органічної сполуки зі скороченою назвою НАДФ$^{2+}$, відновлюючи її до НАДФ·Н. Ця сполука бере участь у реакціях темнової фази фотосинтезу. В іншому випадку «збуджений» електрон, повертаючись на свій попередній енергетичний рівень, може відновлювати фотосистему I, заповнюючи «електронну вакансію», яка там утворилася.



Мал. 28.2. 1. Схема, що ілюструє перетворення потенційної енергії в кінетичну. Коли людина піднімає кулю на гору, вона надає їй потенційної енергії. Коли куля котиться з гори, вона віддає цю енергію. Ця енергія розсіюється. 2. Те саме відбувається з електроном: коли він переходить на вищий енергетичний рівень, то отримує потенційну енергію. Коли ж за допомогою ланцюга перенесення електронів він повертається на нижчий рівень, то віддає цю енергію. Частина енергії розсіюється у вигляді тепла, однак вона переважно запасається у вигляді макроергічних зв'язків молекул АТФ

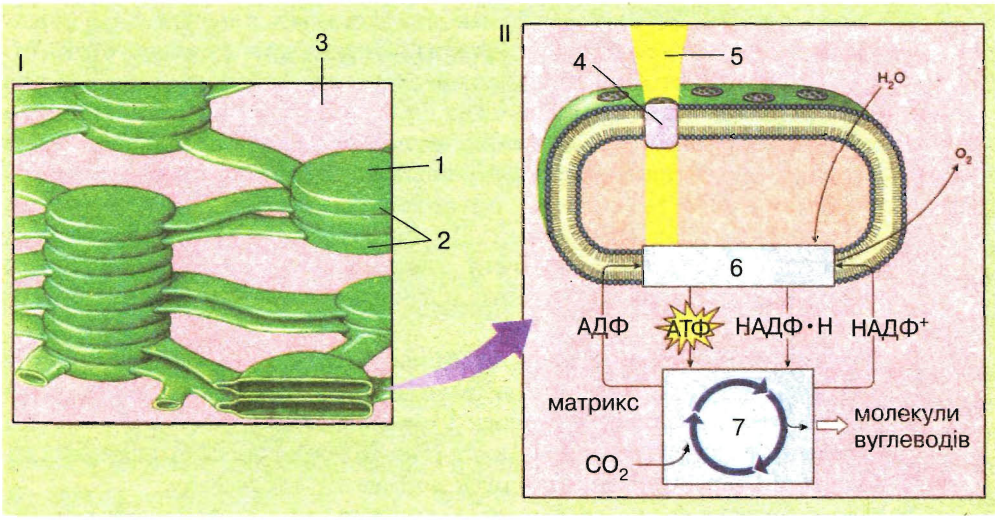
Повна назва НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат. Ця сполука – частина багатьох складних ферментів, що забезпечують окисно-відновні реакції клітинного метаболізму.

Подібні процеси відбуваються й у фотосистемі II. «Збуджені» електрони від реакційного центру фотосистеми II електрон-транспортним ланцюгом переносяться на вищий енергетичний рівень. Там його сприймає особлива сполука – акцептор електронів. Далі за участі інших акцепторів електрон надходить до реакційного центру фотосистеми I, відновлюючи його. Водночас реакційний центр фотосистеми II відновлюється за рахунок ***фотолізу води*** $H_2O \rightarrow H^+ + H^-$. Унаслідок цього процесу молекула води віддає електрони реакційному центру фотосистеми II. При розщепленні молекули води також утворюються протони (H^+) та молекулярний кисень. Цей кисень зрештою надходить у атмосферу.

Транспорт електронів у світлових реакціях спряжений з перенесенням через мембрану тилакоїдів йонів Гідрогену від зовнішньої поверхні мембрани до внутрішньої. Унаслідок цього на мембрані тилакоїдів зростає різниця електричних потенціалів: на її зовнішній поверхні накопичується негативний електричний заряд, а на внутрішній – позитивний. Крім того, по обидва боки мембрани виникає різниця концентрації йонів Гідрогену.

У мембрані тилакоїдів, подібно внутрішній мембрані мітохондрій, розташована особлива ферментна система, завдяки якій синтезуються молекули АТФ. Це відбувається внаслідок того, що йони H^+ через канал у молекулі ферменту, який забезпечує синтез АТФ, переносяться з внутрішньої поверхні мембрани тилакоїдів на зовнішню. При цьому вони вивільняють певну кількість енергії (мал. 28.3).

Реакції **темнової фази** фотосинтезу відбуваються у стромі хлоропластів без участі світла, цілодобово. Вони починаються з того, що особлива сполука (рибульозобіфосфат) фіксує молекулу CO_2. У процесі подальших біохімічних перетворень синтезується молекула глюкози або інших моносахаридів.



Мал. 28.3. I. Внутрішня будова хлоропласта: 1 – тилакоїди, зібрані в грани (2); 3 – строма, де запасається крохмаль. II. Процеси фотосинтезу, що відбуваються в тилакоїдах: 4 – фотосистема; 5 – сонячне світло; 6 – реакції світлової фази; 7 – реакції темнової фази

На всі ці процеси витрачається енергія, що запаслася у хімічних зв'язках АТФ. У реакціях темнової фази використовується і НАДФ · Н. Для перетворення шести молекул CO_2 на молекулу глюкози ($C_6H_{12}O_6$) витрачається 18 молекул АТФ та 12 молекул НАДФ · Н. Через низку послідовних реакцій за участі специфічних ферментів утворюються глюкоза ті інші моносахариди:

$$6CO_2 + 24H \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

Згодом з них синтезуються полісахариди (наприклад, крохмаль, целюлоза та ін.).

• **Значення фотосинтезу для існування біосфери.** Завдяки цьому процесу фотосинтезуючі організми вловлюють світлову енергію Сонця і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів. Коли організми-гетеротрофи (тварини, гриби тощо) споживають живих автотрофів або їхні рештки, то разом з їжею отримують і запасену в ній енергію. Тож існування біосфери можливе саме завдяки фотосинтезу. Уперше на це звернув увагу видатний російський учений К. А. Тимірязєв, обґрунтувавши ***положення про космічну роль зелених рослин.*** Зелені рослини і ціанобактерії, вбираючи вуглекислий газ і виділяючи кисень, підтримують сталий газовий склад атмосфери.

Щорічно завдяки фотосинтезу на Землі утворюється приблизно 150 млрд тонн вуглеводів і виділяється понад 200 млрд тонн газоподібного кисню, який забезпечує дихання всіх організмів. Крім того, під дією космічних променів кисень перетворюється на озон (O_3), який формує озоновий шар (екран) атмосфери. Він поглинає короткохвильові (ультрафіолетові) космічні промені, які згубно діють на живу матерію.

Ключові терміни та поняття. ***Фототрофні та хемотрофні організми, хемосинтез, світлова та темнова фази фотосинтезу, озоновий шар.***

Коротко про головне

- Серед автотрофних організмів розрізняють хемотрофні (хемотрофи) і фототрофні (фототрофи). Перші для синтезу органічних речовин використовують енергію, яка звільняється під час окиснення деяких неорганічних сполук, другі – використовують енергію світла. До хемотрофів належать деякі групи бактерій: нітрифікуючі, залізобактерії, безбарвні сіркобактерії та інші. Вони здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних незалежно від освітлення. До фототрофів належать зелені рослини, деякі одноклітинні тварини (евглена зелена тощо) та прокаріоти (ціанобактерії, пурпурові бактерії, зелені сіркобактерії).
- В еукаріотів фотосинтез відбувається в хлоропластах, які містять фотосинтезуючі пігменти – хлорофіли. У процесі фотосинтезу в зелених рослин і ціанобактерій беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II). Кожна має свій реакційний центр, до складу якого входять молекули хлорофілу.
- Процес фотосинтезу відбувається в дві фази – світлову і темнову. Світлову фазу названо так тому, що її реакції перебігають лише на світлі в мембранах особливих структур хлоропластів – тилакоїдів. Процеси темнової фази можуть перебігати і за відсутності світла.
- Основні процеси світлової фази: уловлення квантів світла молекулами хлорофілу; синтез АТФ; фотоліз води; виділення молекулярного кисню та відновлення особливої сполуки – НАДФ.
- Реакції темнової фази відбуваються у внутрішньому середовищі хлоропластів незалежно від освітлення. За рахунок фіксації CO_2 та використання енергії АТФ у процесі циклічних біохімічних реакцій синтезуються вуглеводи, як-от глюкоза.
- Фотосинтезуючі організми вловлюють світлову енергію Сонця і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів. Ці сполуки споживають організми-гетеротрофи. Зелені рослини і ціанобактерії, вбираючи вуглекислий газ і виділяючи кисень, підтримують сталий газовий склад атмосфери. Під дією космічних променів кисень перетворюється на озон (O_3), який формує захисний озоновий шар (екран) атмосфери.

Запитання для самоконтролю

1. Які організми називають фототрофами та хемотрофами? 2. Які фізико-хімічні умови здійснення хемосинтезу? 3. Які організми здатні до хемосинтезу? 4. Яке біологічне значення хемосинтезу? 5. Як відбувається фотосинтез? 6. Що відбувається у світлову фазу фотосинтезу? 7. Які умови потрібні для здійснення темнової фази фотосинтезу? 8. Чому без зелених рослин неможливе існування сучасної біосфери?

Поміркуйте. *Що спільного і відмінного між здійсненням хемосинтезу й фотосинтезу?*

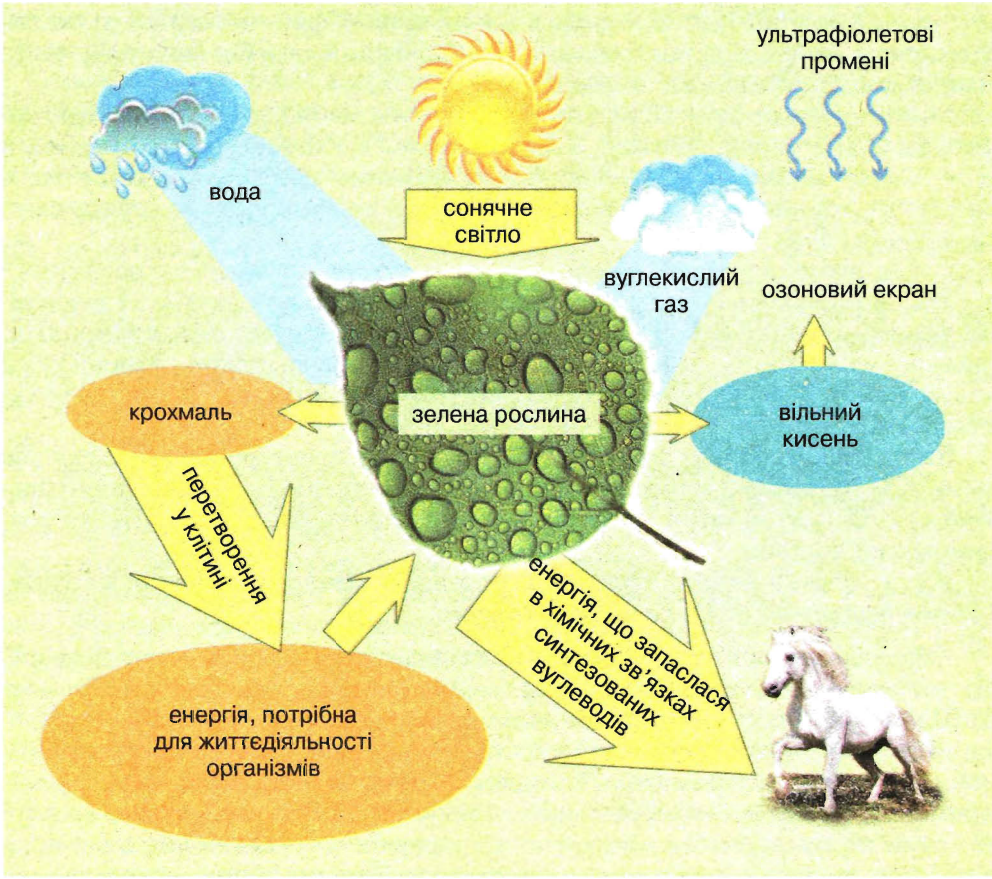


§ 29. СУЧАСНА КЛІТИННА ТЕОРІЯ. МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИТОТЕХНОЛОГІЙ

Пригадайте: *які особливості будови клітин прокаріотів та еукаріотів? Які види штучного вегетативного розмноження застосовують у селекції рослин?*

• **Клітина як інтегрована біологічна система.** Ви вже ознайомилися з особливостями будови та процесів життєдіяльності клітини – основної структурно-функціональної одиниці всіх організмів. Тепер підведемо підсумки.

Клітини є тими універсальними будівельними блоками (одиницями живої матерії), з яких побудовані всі різноманітні живі організми, що населяють нашу планету. Усі клітини складаються з таких основних компонентів: плазматична мембрана, цитоплазма та ядро (у прокаріотів його функцію виконує ядерна зона – нуклеоїд). Клітина – це *досконала біоенергетична система*: вона здатна перетворювати одні форми енергії в інші (хімічну – в механічну, хімічну – в електричну тощо) (мал. 29.1).



Мал. 29.1. Схема, що ілюструє взаємопереходи різних форм енергії в клітині

Клітина становить собою *інформаційну систему*: у ній зберігається закодована спадкова інформація щодо особливостей будови та процесів життєдіяльності як самої себе, так і всього багатоклітинного організму. Вражає компактність зберігання інформації, недоступна навіть найсучаснішим комп'ютерам. Уявіть собі: $6 \cdot 10^{-12}$ г ДНК яйцеклітини людини кодують будову та властивості всіх білків організму! У клітині існують особливі структури для забезпечення реалізації спадкової інформації шляхом біосинтезу білків. Таким чином, кожна клітина слугує *біохімічною фабрикою*, адже щосекунди в ній відбувається безліч узгоджених біохімічних процесів.

Клітинам *властива саморегуляція*: вони здатні підтримувати відносну сталість свого хімічного складу і властивостей (гомеостаз), незважаючи на зміни в навколишньому середовищі. Клітини *здатні до самовідтворення* шляхом розмноження поділом чи брунькуванням.

Клітинам притаманна *подразливість*: вони здатні сприймати різні впливи і певним чином на них відповідати. Як ви пам'ятаєте, цю функцію забезпечують сигнальні білки клітинної мембрани. Клітинам як біологічним системам притаманна *цілісність*, що забезпечується взаємодією внутрішньоклітинних структур унаслідок саморегуляції.

В еукаріотичних клітинах є система внутрішньоклітинних мембран, які поділяють внутрішнє середовище на окремі функціональні ділянки. Наявність таких ділянок забезпечує одночасний перебіг багатьох, часто несумісних, біохімічних процесів.

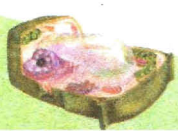
Між окремими функціональними ділянками можуть існувати функціональні й просторові зв'язки. Ви пам'ятаєте, що безпосередньо пов'язані між собою зерниста й незерниста ендоплазматична сітка. Крім того, мембрани зернистої ендоплазматичної сітки контактують із зовнішньою мембраною ядра.

Ендоплазматична сітка бере участь в утворенні вакуоль рослинних клітин, а комплекс Гольджі – в утворенні скоротливих вакуоль і лізосом. Лізосоми, зливаючись із піноцитозними чи фагоцитозними пухирцями, забезпечують формування травних вакуоль (їх ще називають вторинними лізосомами). Мембрани піно- та фагоцитозних пухирців утворено за рахунок певних ділянок плазматичної мембрани.

Лише двомембранні мітохондрії і пластиди просторово безпосередньо не зв'язані з іншими структурами. Ви вже знаєте, що їм притаманний певний ступінь автономії в клітині, зокрема наявність власної ДНК та розмноження поділом.

Узагальнення даних, отриманих під час тривалого вивчення клітини, було сформульоване як ***клітинна теорія***.

• Положення клітинної теорії на сучасному етапі розвитку біології. Як ми згадували, уперше клітинну теорію сформулював німецький зоолог Т. Шванн (1838), який спирався на праці німецького ботаніка М. Шлейдена. Свій внесок у її розвиток зробили й інші дослідники, зокрема російський – К. Бер та німецький – Р. Вірхов. К. Бер показав, що багатоклітинні організми здатні розвиватися з однієї клітини. Р. Вірхов з'ясував, що нові клітини не виникають з міжклітинної речовини (як вважали до нього), а з'являються внаслідок розмноження материнської. Було доведено, що міжклітинна речовина виникає внаслідок діяльності клітин.



На сучасному етапі клітинна теорія включає такі положення:

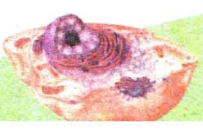
- усі організми складаються з однієї або багатьох клітин. Отже, клітина – елементарна одиниця будови живих істот;
- клітини всіх одноклітинних і багатоклітинних організмів подібні за походженням, будовою, хімічним складом, основними процесами життєдіяльності;
- кожна нова клітина утворюється виключно в результаті розмноження материнської, тобто клітина – елементарна одиниця розмноження;
- багатоклітинні організми розвиваються з однієї клітини, тобто клітина – елементарна одиниця розвитку;
- клітини містять спадкову інформацію, необхідну для здійснення життєвих циклів і забезпечення зміни поколінь певного виду організмів;
- клітинам притаманна подразливість: вони здатні сприймати різні впливи і певним чином на них відповідати;
- у більшості багатоклітинних різні типи клітин формуються внаслідок спеціалізації протягом індивідуального розвитку особини;
- у більшості багатоклітинних тварин і вищих рослин з клітин, подібних за будовою та функціями, формуються тканини;
- з тканин формуються органи, які тісно пов'язані між собою в системи органів та функціональні системи і підпорядковані нервовій та гуморальній регуляції.

Створення клітинної теорії значно вплинуло на подальший розвиток усієї біології. Стало зрозуміло, що існування організмів та зміна їхніх поколінь забезпечуються послідовністю живих клітин. Таким чином, в основі безперервності життя на нашій планеті лежить саме клітина.

• Сучасні напрями досліджень у цитології. Сучасні дослідження у галузі цитології насамперед спрямовані на вивчення найдрібніших органел і структур клітини. Якщо сучасні світлові мікроскопи не можуть забезпечити збільшення об'єктів дослідження більш ніж у 3000 разів, то електронні мікроскопи відкривають нові перспективи перед дослідниками внаслідок досягнення збільшень у сотні тисяч разів. З іншого боку, все більше розвиваються дослідження в галузі клітинної інженерії, так звані цитотехнології.

Цитотехнологія – відносно нова галузь біологічних досліджень. Вона використовує різні методи. Насамперед – методи виділення клітин з організму і перенесення їх на поживні середовища. Там клітини продовжують жити і розмножуватися. Культури таких клітин можна застосовувати не тільки для наукових експериментів, але й у виробництві. Зокрема, це значно знижує собівартість лікарських препаратів та зберігає природні ресурси (наприклад, рідкісного «кореня життя» – женьшеню).

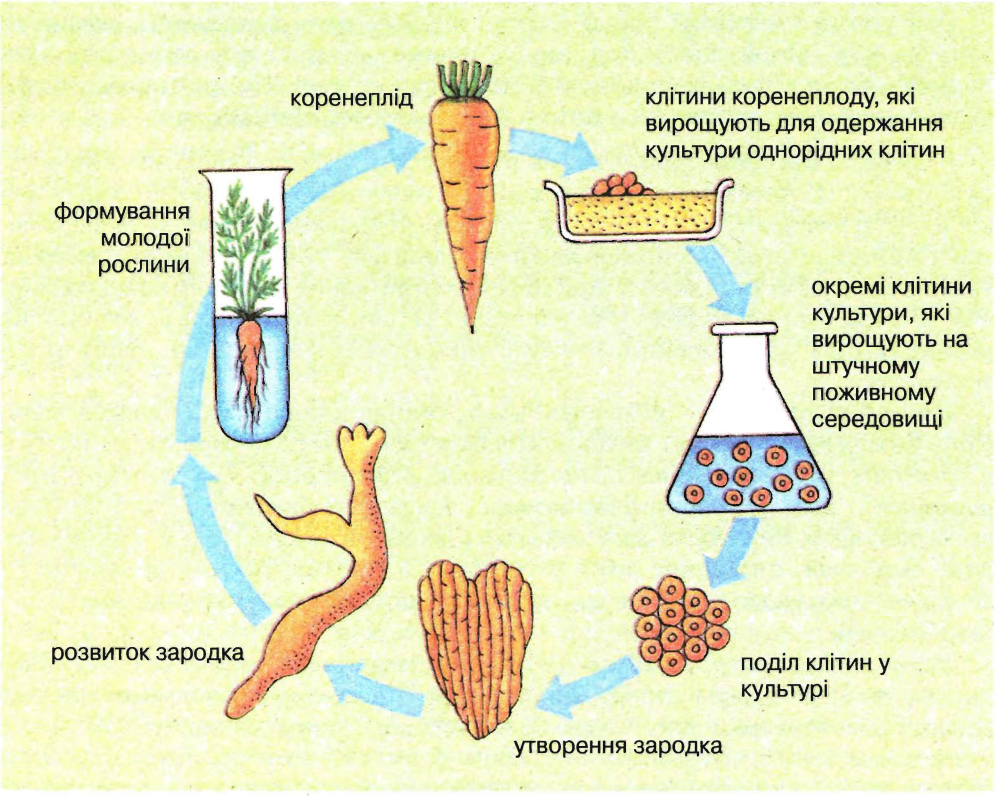
Учені здійснюють гібридизацію соматичних клітин організмів, які належать до різних видів, родів, родин тощо. При цьому за допомогою різних мікроскопічних технологій ядро однієї клітини переносять до іншої; в клітини одного виду переміщують хромосоми або їхні ділянки з клітин іншого та ін. Так штучно «схрещують» клітини організмів, генетичний матеріал яких неможливо об'єднати в інший спосіб (наприклад, людини і миші, людини і моркви, курки і дріжджів тощо). Гібридизація нестатевих



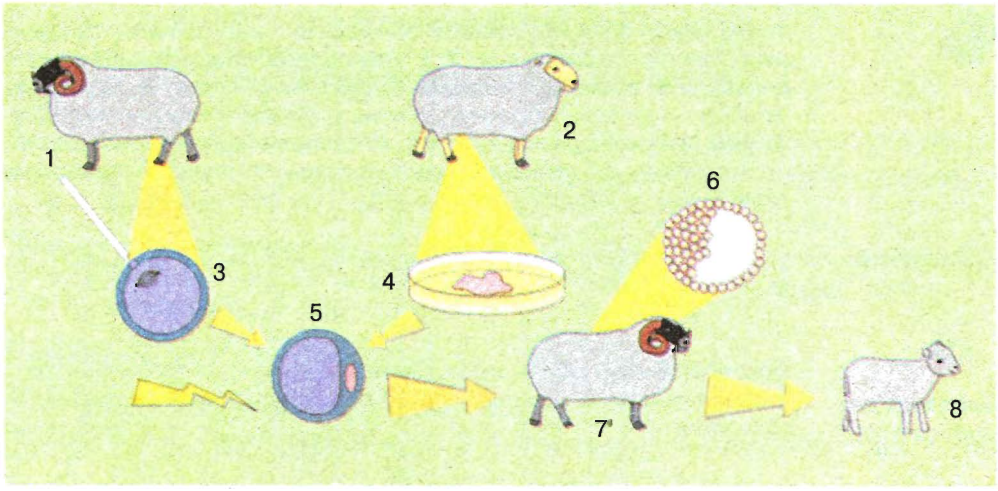
клітин дає змогу створювати препарати, які підвищують стійкість проти різних інфекцій, а також знищують деякі злоякісні пухлини (ракові захворювання). Наприклад, за допомогою гібридизації нормальних клітин з раковими отримано культури гібридних клітин, здатні виробляти протипухлинні антитіла.

Раніше ми вже згадували про методику клонування організмів. *Клоном* (від грец. *клон* – гілка, нащадок) називають сукупність генетично ідентичних клітин або особин, отриманих від спільного предка нестатевим шляхом. Оскільки кожна нестатева клітина зазвичай містить спадкову інформацію, притаманну всьому багатоклітинному організму, то стає можливим отримання з однієї клітини значної кількості організмів з однаковими спадковими якостями (мал. 29.2).

Клонування тварин розпочато лише в останні десятиріччя. Методика такого клонування полягає в тому, що з незапліднені яйцеклітини видаляють ядро і пересаджують в неї диплоїдне ядро соматичної клітини тієї самої особини. Таку штучну «зиготу» поміщають у матку самки даного виду, де розвивається зародок. Це дає змогу отримувати від цінних за своїми властивостями плідників необмежену кількість нащадків, які є їх точною генетичною копією. Наразі вчені клонували представників окремих видів (наприклад, відому вівцю Доллі) (мал. 29.3).



Мал. 29.2. Розвиток рослини моркви на штучному поживному середовищі з кількох клітин коренеплоду



Мал. 29.3. Методика клонування: 1 – донор цитоплазми; 2 – донор ядра соматичної клітини; 3 – видалення ядра; 4 – клітина молочної залози; 5 – вплив електричного струму; 6 – яйцеклітина, що починає поділятись; 7 – сурогатна (не рідна) мати; 8 – результат клонування – вівця Доллі

Ключові терміни та поняття. ***Клітинна теорія, цитотехнології, клон, клонування.***

Коротко про головне

- Клітини:
  – основні структурно-функціональні одиниці організмів;
  – біоенергетичні системи, здатні перетворювати одні форми енергії в інші;
  – інформаційні системи, в яких зберігається спадкова інформація;
  – метаболічні системи, в яких водночас відбувається багато узгоджених біохімічних процесів.
- Клітинам властиві:
  – саморегуляція; вони здатні підтримувати відносну сталість свого внутрішнього середовища і фізико-хімічних властивостей (гомеостаз), незважаючи на зміни у довкіллі;
  – самовідтворення та передача спадкової інформації нащадкам, завдяки чому життя тривалий час існує на нашій планеті;
  – подразливість: вони здатні сприймати різні впливи і певним чином на них відповідати.
- Клітині як інтегрованій біологічній системі притаманна тісна взаємодія різних структур. В еукаріотичних клітинах є система внутрішньоклітинних мембран, які поділяють внутрішнє середовище на окремі функціональні ділянки, що забезпечує одночасний перебіг багатьох, часто несумісних, біохімічних процесів.
- Узагальнення даних, отриманих унаслідок тривалого періоду вивчення клітини, знайшло своє відображення у клітинній теорії.

Запитання для самоконтролю

1. *Які властивості притаманні клітинам як самостійним інтегрованим біологічним системам?* **2.** *У чому полягає просторовий і функціональний зв'язок між основними складовими клітини?* **3.** *Як пояснити вираз «єдина мембранна система клітини»? У чому полягає біологічне значення цього явища?* **4.** *Хто вперше сформулював клітинну теорію?* **5.** *Які основні положення клітинної теорії на сучасному етапі розвитку біології?*

Поміркуйте. *Як і чому клітинна теорія вплинула на подальший розвиток біології?*

Завдання для роботи в групі

Використовуючи різноманітні джерела інформації, підготуйте спільний дайджест про можливості найновіших досягнень у галузі цитотехнології.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

БУДОВА ХРОМОСОМ

(цю роботу доцільніше виконувати після вивчення теми «Загальний план будови клітини. Поверхневий апарат. Ядро»)

Мета: *навчитися розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях хромосоми.*

Обладнання і матеріали: *мікроскопи, предметні і накривні скельця, постійний мікропрепарат слинних залоз «мотиля» (личинок некровосисних комарів – хірономід), препарувальні голки, пінцети, мікрофотографії хромосом клітин слинних залоз мотиля.*

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. При малому збільшенні на постійному мікропрепараті знайдіть клітини слинних залоз мотиля. За відсутності постійного мікропрепарату, виготовте тимчасовий: личинку комара покладіть на предметне скло, відокремте за допомогою пінцета перші два сегменти. Слинні залози (овальні дрібні тільця білого кольору в червонуватій рідині – гемолімфі) видаліть із тіла личинки, вичавлюючи його вміст через отвір на місці видалених передніх сегментів, та накрийте накривним склом.
3. При великому збільшенні розгляньте велетенські хромосоми з клітин слинних залоз мотиля, схожі на посмуговані лінії зі «здуттями». У мотиля вісім хромосом, але в клітинах слинних залоз вони мають вигляд чотирьох, оскільки гомологічні хромосоми з'єднані попарно.
4. Порівняйте побачене з мікрофотографіями хромосом клітин слинних залоз мотиля.
5. Зробіть висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10



МІТОТИЧНИЙ ПОДІЛ КЛІТИН

Мета: *навчитися спостерігати за процесами життєдіяльності клітин та розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях фази мітотичного поділу.*

Обладнання і матеріали: *мікроскопи, постійні мікропрепарати клітин корінців цибулі або інших рослин на різних стадіях мітотичного циклу, мікрофотографії різних стадій мітотичного поділу.*

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. При малому збільшенні мікроскопа знайдіть на мікропрепараті корінця кореневий чохлик, зони поділу і розтягнення.
3. При великому збільшенні мікроскопа знайдіть у зоні поділу клітини на стадіях інтерфази (прямокутні, оточені товстою клітинною стінкою), профази (у центральній частині помітні хромосоми), метафази (помітне веретено поділу, хромосоми у центральній частині клітини складаються з двох хроматид кожна), анафази (хромосоми розташовані на полюсах клітини), телофази (хромосоми розкручуються, з'являється ядерна оболонка і перегородка між дочірніми клітинами).
4. Порівняйте побачене з мікрофотографіями різних стадій мітотичного поділу.
5. Зробіть висновки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ПОРІВНЯННЯ МІТОЗУ І МЕЙОЗУ

(виконують учні академічного рівня навчання)

Мета: *закріпити матеріал, засвоєний під час проходження теоретичного курсу. Уміти на схемах і мікропрепаратах визначати ті чи інші фази мітотичного або мейотичних поділів.*

Обладнання і матеріали: *схеми та мікрофотографії із зображенням усіх фаз мітозу і мейозу, мікропрепарати мітозу і мейозу.*

Хід роботи

1. Уважно вивчіть запропоновані схеми та мікрофотографії.
2. Розкладіть у правильній послідовності схеми та мікрофотографії, на яких зображено відповідні фази мітозу, й пригадайте, які події відбуваються на тій чи іншій фазі.
3. Те саме зробіть зі схемами та мікрофотографіями, на яких зображено відповідні фази першого та другого поділів мейозу.
4. Послідовно порівняйте події, які відбуваються під час певних фаз мітозу та першого поділу мейозу.
5. Виконайте те саме для певних фаз мітозу та другого поділу мейозу.



6. Зробіть висновки у вигляді таблиці за зразком:

Фаза	Мітоз	1-й поділ мейозу	Спільне та відмінне
Профаза Метафаза Анафаза Телофаза			
Фаза	**Мітоз**	**2-й поділ мейозу**	**Спільне та відмінне**
Профаза Метафаза Анафаза Телофаза			

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЗАДАЧ ІЗ ТРАНСЛЯЦІЇ

(виконують учні академічного рівня навчання)

Мета: *навчитися розв'язувати елементарні задачі з молекулярної біології.*

Задача 1. Один з ланцюгів молекули ДНК складається з наступних залишків нуклеотидів:

ТАЦ ГАА ЦГЦ АТГ ЦГА ТЦЦ

Визначте, в якій послідовності до функціонального центру рибосоми будуть надходити молекули тРНК з такими антикодонами:

ЦГА УЦЦ ГАА АТГ УАЦ ЦГЦ

Приклад розв'язку.

За принципом комплементарності встановлюємо послідовність молекули іРНК, яка була синтезована на даній ділянці ланцюга ДНК:

АУГ ЦУУ ГЦГ УАЦ ГЦУ АГГ

Таким чином, послідовність молекул тРНК, які надходитимуть до функціонального центру рибосоми, буде наступною:

тРНК з антикодоном УАЦ, тРНК з антикодоном ГАА, тРНК з антикодоном ЦГЦ, тРНК з антикодоном АТГ, тРНК з антикодоном ЦГА, тРНК з антикодоном УЦЦ.

Задача 2. Ділянка молекули ДНК має наступний вигляд:

АТА ГТЦ ЦГА ГТА ТЦЦ

ТАТ ЦАГ ГТЦ ЦАТ АГГ

Визначте, який з двох ланцюгів цієї молекули ДНК кодує поліпептид, що складається з таких амінокислотних залишків:

ізолейцин – валін – аргінін – валін – серин

Приклад розв'язку.

Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність залишків нуклеотидів молекули іРНК, яка слугувала матрицею для синтезу даного поліпептиду:

АУА – ГУЦ – ЦГА – ГУА – УЦЦ

Далі визначаємо, який саме ланцюг молекули ДНК слугував матрицею для синтезу молекули іРНК: ТАТ ЦАГ ГТЦ ЦАТ АГГ.



Задача 3. Ланцюг молекули ДНК до мутації складався з наступної послідовності залишків нуклеотидів:
ААА ААТ ТГГ ЦАГ ТТГ
Після мутації він набув наступного вигляду:
ААА ААТ ТГГ ЦАТ ТТГ
1. Порівнявши структуру молекули ДНК до та після мутації, знайдіть триплет, який зазнав змін.
2. Визначте будову поліпептидів, які кодував ланцюг ДНК до та після мутації.
3. Зробіть висновки.

Задача 4. Послідовність залишків нуклеотидів одного з ланцюгів молекули ДНК така:
ТАЦ ГАЦ АЦГ ГЦГ АТТ ТАЦ АГГ ЦГГ ТЦГ АЦТ
Визначте, яку кількість молекул поліпептидів вона кодує.

Задача 5. Послідовність амінокислотних залишків молекули поліпептиду така:
аспарагін – ізолейцин – пролін – треонін – валін – цистеїн.
Враховуючи, що більшість основних амінокислот кодуються кількома триплетами, визначте можливі варіанти послідовності залишків нуклеотидів, які можуть кодувати цей поліпептид.

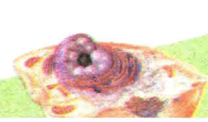
Задача 6. Яка послідовність амінокислот кодується такою послідовністю нуклеотидів іРНК: ГЦУГЦАУАААЦЦУГАЦАГЦУА? Якою стане послідовність амінокислот, якщо внаслідок мутації із цієї молекули випаде другий нуклеотид?

Задача 7. Молекула ДНК становить собою таку послідовність нуклеотидів: ТЦГ ГАА АЦГ ТАА ЦАГ ГТА ЦАТ ТАТ. У якій послідовності будуть підходити молекули тРНК, що транспортують амінокислоти, до рибосоми, яка бере участь у синтезі білкової молекули?

ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

І. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ПРАВИЛЬНУ

1. **Укажіть процес, під час якого відбувається кон'югація хромосом:** *а) мітоз; б) перший мейотичний поділ; в) другий мейотичний поділ; г) брунькування клітини.*
2. **Визначте кількість молекул АТФ, що синтезується під час безкисневого етапу енергетичного обміну:** *а) 1 молекула; б) 2 молекули; в) 4 молекули; г) 36 молекул; д) молекули АТФ не синтезуються.*
3. **Визначте кількість молекул АТФ, що синтезується під час кисневого етапу енергетичного обміну:** *а) 1 молекула; б) 2 молекули; в) 4 молекули; г) 36 молекул; д) молекули АТФ не синтезуються.*
4. **Укажіть, коли саме в процесі фотосинтезу синтезуються молекули АТФ:** *а) під час темнової фази; б) під час світлової фази; в) молекули АТФ не синтезуються.*
5. **Виберіть правильне визначення терміна «транскрипція»:** *а) переписування інформації з молекули ДНК на молекулу іРНК; б) транспорт амінокислотних залишків до місця синтезу білкової молекули; в) сполучення амінокислотних залишків у поліпептидний ланцюг; г) набуття молекулою білка активного стану.*
6. **Зазначте, на мембранах яких органел відбувається синтез білка:** *а) комплексу Гольджі; б) лізосом; в) травних вакуоль; г) зернистої ендоплазматичної сітки; д) незернистої ендоплазматичної сітки.*



7. **Укажіть, де відбувається кисневий етап енергетичного обміну:** *а) у мітохондріях; б) у хлоропластах; в) у комплексі Гольджі; г) у лізосомах; д) у зернистій ендоплазматичній сітці.*

II. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ДВІ ПРАВИЛЬНІ

1. **Назвіть процеси, під час яких синтезуються молекули АТФ:** *а) світлової фази фотосинтезу; б) темнової фази фотосинтезу; в) трансляції; г) підготовчого етапу енергетичного обміну; д) безкисневого етапу енергетичного обміну.*
2. **Укажіть біохімічні процеси, які належать до пластичного обміну:** *а) самоподвоєння ДНК; б) окиснення органічних сполук; в) окиснення неорганічних сполук; г) біосинтез ліпідів.*
3. **Укажіть біохімічні процеси, які належать до енергетичного обміну:** *а) фотосинтез; б) окиснення органічних сполук; в) хемосинтез; г) розщеплення органічних сполук без доступу кисню.*
4. **Укажіть, за рахунок яких електронів відновлюється фотосистема I:** *а) які походять із фотосистеми II; б) власних, які повертаються на свій енергетичний рівень; в) які виникають при розщепленні молекули води; г) які виникають при розщепленні атомів Гідрогену.*
5. **Укажіть, під час яких процесів виділяється вуглекислий газ:** *а) кисневого етапу енергетичного обміну; б) світлової фази фотосинтезу; в) темнової фази фотосинтезу; г) аеробного дихання.*
6. **Зазначте, під час яких процесів відбувається подвоєння кількості молекул ДНК в клітині:** *а) профази мітозу; б) метафази першого мейотичного поділу; в) інтерфази між двома мітотичними поділами; г) злиття гамет.*

III. ЗАВДАННЯ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

1. **Установіть відповідність між етапами енергетичного обміну та кількістю молекул АТФ, які під час цих етапів синтезуються:**

Етапи енергетичного обміну	Кількість синтезованих молекул АТФ
А Підготовчий Б Безкисневий В Кисневий	1 38 молекул 2 36 молекул 3 2 молекули 4 Молекули АТФ не синтезуються

2. **Установіть відповідність між біохімічними процесами та місцями їхнього перебігу:**

Біохімічні процеси	Місце перебігу
А Світлова фаза фотосинтезу Б Цикл трикарбонових кислот В Подвоєння ДНК	1 Зерниста ендоплазматична сітка 2 Ядро 3 Мітохондрії 4 Тилакоїди

3. **Установіть відповідність між процесами, що відбуваються в організмі, та їхніми визначеннями:**

Процеси	Визначення
А Дисиміляція Б Асиміляція В Трансляція Г Транскрипція	1 Сукупність біохімічних процесів, спрямованих на утворення та оновлення структурних частин клітин та тканин; 2 Сукупність біохімічних процесів, спрямованих на розщеплення складних органічних сполук; 3 Набуття білковою молекулою специфічної структури; 4 Синтез білкової молекули на матриці – молекулі іРНК відповідно до генетичного коду; 5 Біосинтез молекули іРНК на молекулі ДНК

4. Установіть відповідність між етапами біосинтезу білкової молекули та подіями, які відбуваються на тому чи іншому етапі:

Процеси	Етапи біосинтезу білкової молекули
А Переписування інформації з молекули ДНК на молекулу іРНК Б Приєднання амінокислот до відповідних молекул тРНК В Утворення комплексів з молекул іРНК, рибосом та тРНК Г Переведення послідовності нуклеотидів молекули іРНК в послідовність амінокислотних залишків білкової молекули, що синтезується	1 Ініціація 2 Термінація 3 Транскрипція 4 Трансляція 5 Активація

5. Установіть відповідність між фазами мітозу та подіями, які під час них відбуваються:

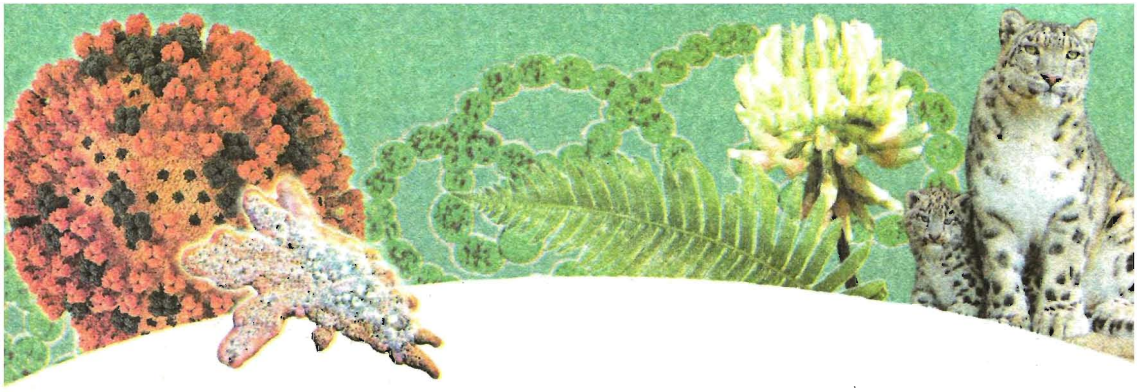
Фази мітозу	Події
А Профаза Б Метафаза В Анафаза Г Телофаза	1 Кон'югація гомологічних хромосом 2 Розходження хроматид 3 Розташування хромосом по центру клітини 4 Формування ядерної оболонки 5 Зникнення ядерець

6. Установіть відповідність між фазами мейозу та подіями, які під час них відбуваються:

Фази мітозу	Події
А Профаза I Б Метафаза II В Анафаза I Г Телофаза II	1 Кросинговер 2 Розходження хроматид 3 Розходження гомологічних хромосом 4 Прикріплення ниток веретена поділу до центромер 5 Формування ядерець

IV. ЗАПИТАННЯ З ВІДКРИТОЮ ВІДПОВІДДЮ

1. *Чому під час поділу клітини зникає оболонка ядра? Відповідь обґрунтуйте.*
2. *Чи трапляється мейотичний поділ у тих організмів, які не розмножуються статевим способом? Відповідь обґрунтуйте.*
3. *Як відбувається обмін речовин між клітиною та її навколишнім середовищем? Відповідь обґрунтуйте.*
4. *Відомо, що алкалоїд колхіцин руйнує веретено поділу і тим самим порушує процес розподілу хромосом між дочірніми клітинами. Чи впливатиме ця сполука на поділ клітин ціанобактерій? Відповідь обґрунтуйте.*
5. *Чи існує в клітинах прокаріотів єдина мембранна система? Відповідь обґрунтуйте.*
6. *Ціанід калію – небезпечна для людини отрута, яка робить неактивними певні компоненти ланцюга дихальних ферментів, вбудованих у внутрішню мембрану мітохондрій. Чим можна пояснити смерть людини, отруєної цією сполукою?*



РОЗДІЛ ІІІ. ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

ТЕМА 1. НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ

- *особливості будови та життєдіяльності вірусів, їхнє положення у системі органічного світу;*
- *роль вірусів у природі та житті людини;*
- *профілактика та лікування вірусних інфекцій;*
- *пріони та пріонові захворювання.*

§30. БУДОВА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ВІРУСІВ

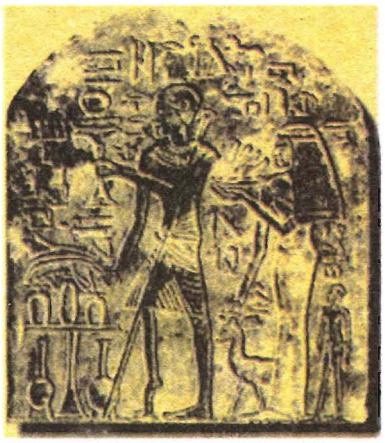
Пригадайте: *що спільного та відмінного між живою та неживою частинами природи? Які характерні ознаки життя? Яка будова і функції клітини як структурно-функціональної одиниці живих організмів? Який принцип роботи електронного мікроскопа? Що таке вакцина та вакцинація?*

• Що становлять собою віруси? Кожен з вас переніс принаймні одне вірусне захворювання (грип тощо). Але ніхто не бачив його збудників, адже розміри вірусних частинок – *віріонів* – такі мізерні (15–300 нм[1]), що більшість з них можна побачити лише за допомогою електронного мікроскопа. Віруси – паразити клітин прокаріотів та еукаріотів, і поза клітиною-хазяїном віріони не виявляють жодних ознак життя. Для свого розмноження вони використовують речовини та енергію клітини-хазяїна. Унаслідок взаємодії між вірусом та клітиною-хазяїном часто розвиваються різні захворювання.

Наука, яка вивчає будову і функції вірусів, їхні властивості, шляхи передачі та способи лікування і профілактики вірусних захворювань, має назву ***вірусологія***.

[1]Нанометр (нм) – міра довжини, яка складає одну мільярдну частину метра, тобто 10^{-9} м.

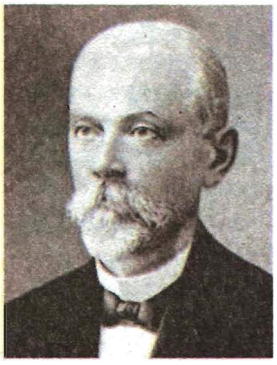
• **Відкриття вірусів.** Перше відоме свідчення про вірусну інфекцію знайдено на давньоєгипетському барельєфі. На ньому зображений жрець з ознаками вірусного захворювання – паралітичного поліомієліту (мал. 30.1). Вивчення мумії фараона Рамзеса V показало, що він помер від вірусного захворювання – віспи – у віці близько 35 років у 1143 році до н. е. На його шкірі виявлено сліди від пустул, типових для цієї хвороби.



Мал. 30.1. Перше свідчення про вірусну інфекцію – барельєф з будівлі у Мемфісі – столиці Давнього Єгипту (близько 3500 р. до н. е.)

Багато тисяч років віспа нищила населення Землі. Лише за минуле тисячоліття від неї загинуло від 300 до 500 мільйонів людей. 1796 року відбулася важлива подія, завдяки якій протягом наступних віків були розроблені та застосовані в планетарному масштабі профілактичні засоби боротьби з цим захворюванням, передусім вакцинація. Ще у стародавньому Китаї практикували профілактику віспи, вводячи здоровим людям гній з виразок хворих на віспу. Як наслідок, в одних випадках людина переносила легку форму захворювання та набувала стійкого імунітету, в інших – інфекція призводила до смерті. Англійський лікар Едуард Дженнер (1749–1823) дійшов висновку, що успішність вакцинації зумовлена ступенем ослаблення культури паразита. Він увів у розріз шкіри восьмирічного хлопчика вміст пустули доярки, яка перехворіла на так звану коров'ячу віспу. У хлопчика, який ніколи не хворів на віспу, утворилася маленька виразка на місці введення вакцини, яка загоїлася за два тижні. Через півтора місяці Дженнер зробив цьому ж хлопчику щеплення рідиною з пустули хворої на віспу людини, але хвороба не розвинулася. Успіх Дженнера зумовлений тим, що віспа у корів перебігає в легкій формі, а віріони адаптовані до організму хазяїна – корови, тому не здатні викликати важку форму захворювання у людини, однак стимулюють утворення антитіл у її крові.

1885 року відомий французький учений Луї Пастер (1822–1895) уперше перевірив на людині дію вакцини проти сказу. Він зробив щеплення дитині, яку покусав скажений собака, і тим самим зберіг їй життя. І хоча на той час віруси ще не були відкриті, саме він ввів терміни ***вірус*** (від лат. *вірус* – отрута) і ***вакцинація*** (на честь Е. Дженнера, від лат. *вакка* – корова). Він також розробив наукову базу для здійснення вакцинації.



Мал. 30.2. Дмитро Йосипович Івановський – основоположник науки про віруси

Відкрив віруси російський учений Д. Івановський (1864–1920), який у 1892 р. оприлюднив роботу про поширення збудника мозаїчної хвороби тютюну. Він довів, що сік уражених рослин, введений здоровим, спричиняє їхнє захворювання. Це відбувалося навіть після фільтрування соку через керамічні фільтри дуже малого діаметра, здатні затримувати

найдрібніші бактерії. Івановський вважав збудників мозаїчної хвороби тютюну найдрібнішими істотами. На відміну від інших відомих на той час мікроорганізмів, культуру цих загадкових паразитів не вдалося виростити в лабораторії на жодному з органічних середовищ.

1898 року вчені встановили, що збудник ящуру рогатої худоби також «фільтрується». Було з'ясовано, що ці «істоти» можуть спричиняти інфекційні захворювання не тільки в рослин, а й у тварин. 1901 року було доведено, що жовту пропасницю спричиняє вірус, який переносять двокрилі кровосисні комахи – комарі. 1915 року були відкриті віруси в клітинах бактерій – ***бактеріофаги*** («пожирачі бактерій»).

На основі багаторічних досліджень були визначені такі властивості вірусів:

- неклітинна будова;
- облігатний паразитизм у прокаріотичних та еукаріотичних клітинах (тобто паразит здатний жити лише в певних умовах);
- використання органел клітини-хазяїна для синтезу нових вірусних частинок;
- відсутність власного обміну речовин;
- відсутність проявів життєдіяльності поза клітиною-хазяїном.

Багато властивостей вірусів (відсутність клітинної будови, метаболізму, росту, здатність до кристалізації) не притаманні іншим організмам. Проте вони побудовані з органічних речовин, спільних для всіх живих істот, вступають з клітинами у симбіотичний зв'язок (паразитизм), їм притаманні спадковість і мінливість, відповідні місця поширення. Це свідчить про належність вірусів до живої частини біосфери.

• Гіпотези походження вірусів. На сьогодні не існує єдиної точки зору на походження вірусів. Учені розглядають три такі основні гіпотези.

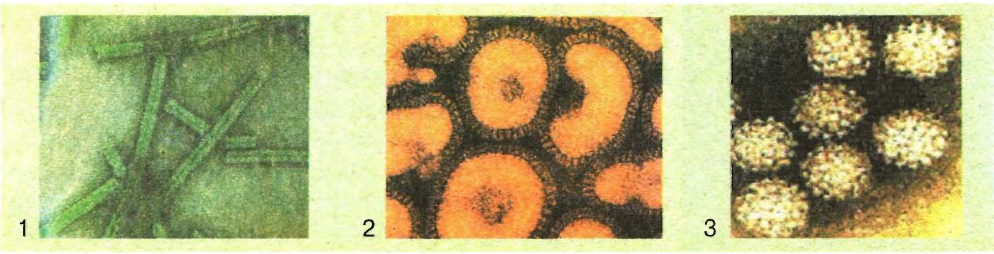
Згідно з гіпотезою *регресивної* (від лат. – зворотний рух) *еволюції*, віруси виникли з клітин, які втратили більшість органел. (**Пригадайте:** є припущення, що подібним шляхом з клітин прокаріотів виникли хлоропласти та мітохондрії.) На жаль, переконливих доказів цієї гіпотези немає.

За гіпотезою *паралельної еволюції*, віруси виникли в прадавні часи незалежно від клітин, використовуючи їхні можливості для перетворення енергії та синтезу білків. Останнім часом більшість учених схиляється саме до цієї гіпотези, оскільки на її користь з'являється все більше доказів, зокрема щодо еволюції РНК.

Гіпотеза *«скажених генів»*, висунута Джеймсом Уотсоном (*пригадайте внесок цього вченого в розвиток біології*), твердить про те, що віруси як ділянки спадкового матеріалу клітин набули здатність існувати самостійно. Зазначимо, що досі не отримано переконливих доказів на підтримку чи спростування жодної із цих гіпотез.

• Будова вірусів. Усередині інфікованої клітини вірусні частинки, як правило, не виявляють, оскільки їхні компоненти (білки та нуклеїнові кислоти) задіяні в клітинному метаболізмі – відбувається реплікація, транскрипція та трансляція вірусних нуклеїнових кислот, синтез вірусних білків. У зовнішньому середовищі (поза клітиною) віруси перебувають у вигляді окремих частинок – віріонів.

За будовою розрізняють прості та складні віруси. У ***простих вірусів*** молекула нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК) оточена тільки білковими молекулами (від декількох десятків до декількох тисяч). ***Складні віруси*** під

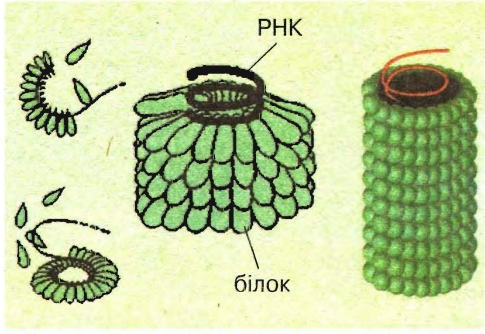


Мал. 30.3. Електронно-мікроскопічні зображення вірусів: 1 – вірусу тютюнової мозаїки; 2 – вірусу грипу (складний вірус, добре видно зовнішню мембрану); 3 – вірусу папіломи (1 і 3 – прості віруси, їхні оболонки не мають зовнішньої мембрани)

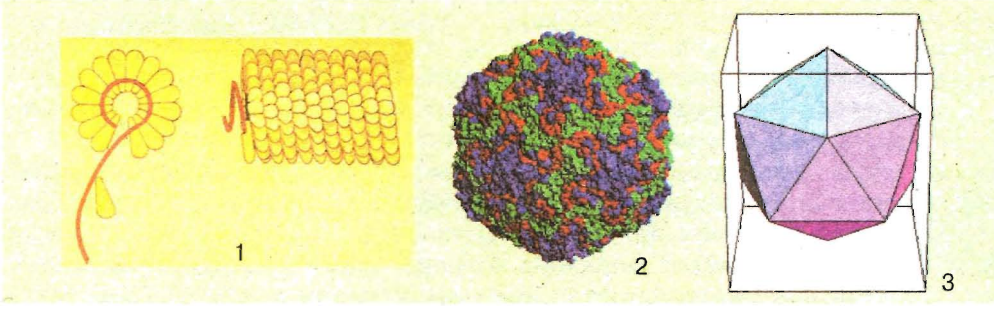
час формування віріонів захоплюють частину клітинної плазматичної мембрани, яку вони «інкрустують» власними білками і використовують як зовнішню оболонку (мал. 30.3).

У складі вірусної частинки може бути тільки один тип нуклеїнової кислоти – або ДНК, або РНК. Молекули нуклеїнових кислот слугують носіями генетичної інформації вірусів. Зверніть увагу: якщо в клітинах прокаріотів та еукаріотів ДНК дволанцюгові, а РНК – одноланцюгові, то у вірусів молекули обох нуклеїнових кислот можуть бути і дволанцюгові, і одноланцюгові.

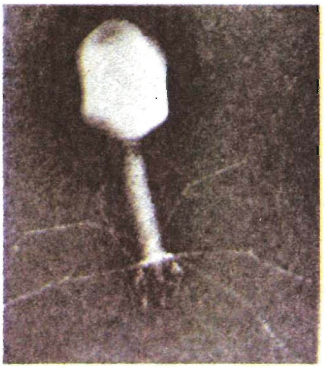
Ще одна важлива відмінність вірусів від клітин прокаріотів та еукаріотів полягає в їхньому унікальному способі утворювати віріони внаслідок так званого *самозбирання* (мал. 30.4). Переважна більшість простих вірусів збирається в чітко визначеному порядку, утворюючи симетричні структури (мал. 30.5). Залежно від виду вірусу, віріон може мати ікосаедричний (наприклад, збудники поліомієліту, папіломи), спіральний (вірус тютюнової мозаїки) або змішаний (бактеріофаги)



Мал. 30.4. Самозбирання вірусу тютюнової мозаїки



Мал. 30.5. Спіральний тип симетрії віріона тютюнової мозаїки (1); ікосаедричний тип симетрії віріона поліомієліту (2); симетрична геометрична фігура ікосаедр (3)

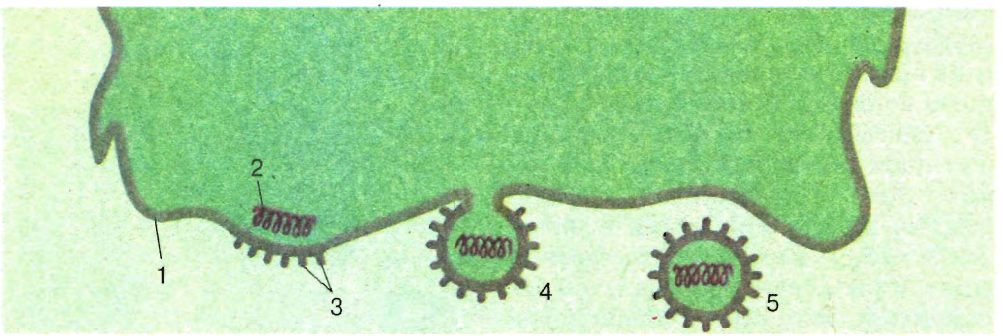


Мал. 30.6. Електронно-мікроскопічна фотографія віріона бактеріофага Т4

типи симетрії. (Ікосаедр – об'ємний 20-гранник.) На малюнку 30.6 зображено віріон бактеріофага Т4, в якого «головка» з молекулою ДНК усередині побудована за ікосаедричним типом симетрії, а «хвіст» – за спіральним. Хвіст оточений чохлом з білків; усередині хвоста проходить порожнистий стрижень, через який молекула ДНК впорскується в клітину бактерії. Зверніть увагу, що цей бактеріофаг, незважаючи на ускладнення будови, належить до простих вірусів, оскільки не має зовнішньої оболонки з ліпідів і вуглеводів.

Прості віруси виходять з ураженої клітини зазвичай унаслідок пошкодження плазматичної мембрани вірусними ферментами або руйнування (апоптозу) клітини. Віріони складних вірусів покидають клітину в оточенні ділянки її плазматичної мембрани. Цей процес називається брунькуванням (мал. 30.7).

Віруси належать до особливого підрозділу живої природи – царства ***Віра***.



Мал. 30.7. Схема виходу складних віріонів з клітини шляхом брунькування: 1 – плазматична мембрана клітини; 2 – нуклеокапсид (внутрішня білкова оболонка складного вірусу); 3 – вірусні поверхневі білки, вбудовані в плазматичну мембрану клітини; 4 – брунькування через плазматичну мембрану; 5 – зріла вірусна частинка

Ключові терміни та поняття. ***Віруси прості та складні, вірусологія, віріон.***

Коротко про головне

- Наука, яка вивчає будову і функції вірусів, їхні властивості, шляхи передачі та способи лікування і профілактики вірусних захворювань, має назву ***вірусологія***.
- Віруси – неклітинні форми життя. Це внутрішньоклітинні паразити прокаріотичних та еукаріотичних організмів. За межами клітин хазяїна вірусні частинки не виявляють жодних ознак живого. Їхнє розмноження можливе лише всередині клітини, в якій вони паразитують. Для розмноження віруси використовують структури, органічні речовини та енергію клітини-хазяїна.
- Кожна вірусна частинка (віріон) складається з єдиної одно- або дволанцюгової молекули ДНК або РНК та оболонки. Залежно від

особливостей хімічного складу оболонки вірусних частинок віруси поділяють на прості та складні. У простих вірусів оболонка складається лише з білків, у складних – до її складу входять також ліпіди та вуглеводи. Учені відносять віруси до особливого підрозділу живої природи – царства Віра.

Запитання для самоконтролю

1. *Яка наука вивчає віруси?* **2.** *Як було відкрито віруси?* **3.** *Які особливості будови вірусних частинок? Які віруси називають простими та складними?* **4.** *Чим нуклеїнові кислоти вірусів відрізняються від нуклеїнових кислот прокаріотів та еукаріотів?* **5.** *Що таке віріон?*

Поміркуйте. *Будова вірусних частинок значно простіша, ніж клітин еукаріотів і прокаріотів. Чи могли віруси з'явитися раніше організмів, які мають клітинну будову?*

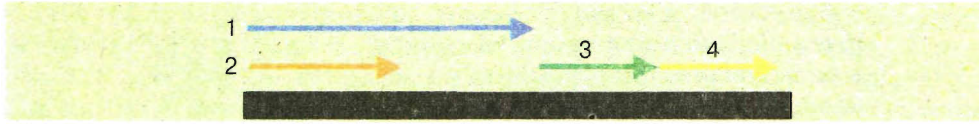
§31. РОЗМНОЖЕННЯ ВІРУСІВ. ОСНОВНІ ЕТАПИ ВЗАЄМОДІЇ ВІРУСУ І КЛІТИНИ

Пригадайте: *як розмножуються клітини? Що таке реплікація, транскрипція, трансляція? Що таке мутації? Які особливості будови бактеріофагів?*

Як ви вже знаєте, віруси мешкають усередині клітин та не здатні самостійно забезпечувати власні обмін речовин і перетворення енергії. Вірусам притаманна вибіркова здатність потрапляти до певних про- та еукаріотичних клітин, у яких існують сприятливі умови для подальшого розмноження. Способи проникнення віріонів до клітин досить різноманітні та залежать від особливостей будови поверхневого апарату видів-хазяїв.

• **Віруси рослин.** Рослинні клітини, крім плазматичної мембрани, вкриті також міцною і потовщеною целюлозною клітинною стінкою, яка практично непроникна навіть для вірусів. Віріони можуть потрапити в цитоплазму клітин рослин лише через ушкоджені ділянки клітинної стінки. Наприклад, відомий вірус тютюнової мозаїки проникає в клітини нових хазяїв через подряпини листкових пластинок чи кореневих волосків. Однак більшість вірусів рослин «обрала» інший шлях – вони набули здатності до проникнення в клітину-хазяїна завдяки різноманітним тваринам-переносникам – комахам (попелиці тощо) та круглим червам, які живляться соком певних видів рослин, проколюючи клітинну стінку. Із рослинними рідинами до переносника потрапляють вірусні частинки. Вони циркулюють в організмі переносника, однак врешті-решт накопичуються в слинних залозах. Під час живлення тварини впорскують у клітини рослин слину разом із вірусними частинками.

У вірусів, що містять ДНК, генетична інформація з її молекули переписується на молекулу іРНК, яка включається в механізми синтезу білка клітиною-хазяїном. Вірусна РНК після проникнення до цитоплазми одразу потрапляє до рибосом, де на основі її спадкової інформації утворюються вірусні білки. Проте перед вірусом «постає», здавалося б, нерозв'язна проблема: для нових дочірніх вірусних частинок треба синтезувати такі самі одноланцюгові молекули РНК. Але у клітині відсутні ферменти, які б забезпечували перезапис інформації з однієї молекули РНК на іншу. Виявляється, до складу РНК вірусу входять два гени, які кодують особливий



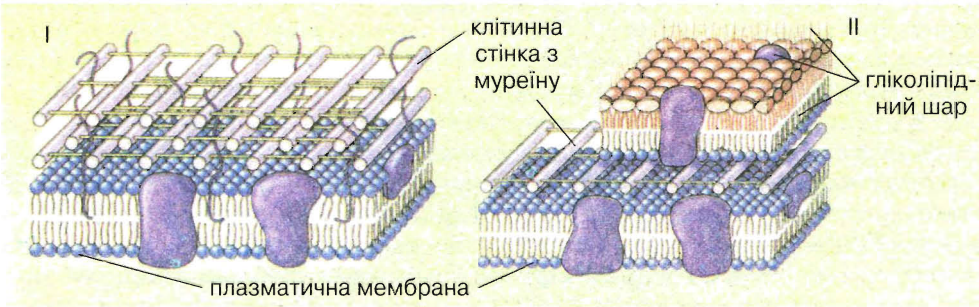
Мал. 31.1. Структура спадкового матеріалу вірусу тютюнової мозаїки. Показане взаєморозміщення чотирьох генів: 1, 2 – кодують білки, що входять до складу ферменту, 3 – кодує білок руху, 4 – кодує структурний білок

фермент. За його допомогою інформація безпосередньо перезаписується з однієї молекули РНК на іншу під час синтезу вірусних частинок.

Вірусні білки бувають декількох типів. Одні з них – це ферменти, що забезпечують самовідтворення молекул вірусної РНК або ДНК, інші – структурні білки оболонок нових вірусних частинок. На побудову нових вірусних частинок витрачаються енергія і «будівельні матеріали» (амінокислоти та нуклеотиди) клітини. У результаті цього в цитоплазмі клітини накопичується багато молекул вірусних білків і нуклеїнових кислот. З них у подальших процесах самозбирання формуються нові вірусні частинки. Цей процес дещо нагадує складання автомобіля на конвеєрі. У певних місцях клітини із структурних білків утворюються попередники оболонок вірусів, до кожної з яких приєднуються молекули вірусної геномної нуклеїнової кислоти. Так утворюються повноцінні віріони.

Ми щойно розглянули процеси, які відбуваються всередині інфікованої клітини. Але як вірусна інфекція поширюється по рослині і спричиняє розвиток захворювання? Учені детально вивчили закономірності поширення вірусу тютюнової мозаїки між клітинами та органами рослини-хазяїна. Виявляється, для інфікування сусідніх клітин віруси використовують плазмодесми, які проходять крізь клітинні стінки. Встановлено, що РНК вірусу тютюнової мозаїки кодує особливий *білок руху* (мал. 31.1). Він зв'язується з РНК вірусу і транспортує її через плазмодесму до сусідньої здорової клітини. До різних органів рослини вірусні частинки потрапляють з рухом розчинів поживних речовин по ситоподібних трубках.

Слід пам'ятати, що запис генетичної інформації у вигляді РНК сприяє збільшенню кількості самочинних мутацій, адже надійність якісного перезапису з однієї молекули РНК на іншу приблизно на три порядки менша, ніж у разі перезаписування з молекули ДНК на молекулу іРНК: ймовірність помилок у тисячу разів більша. Як наслідок, генетична інформація

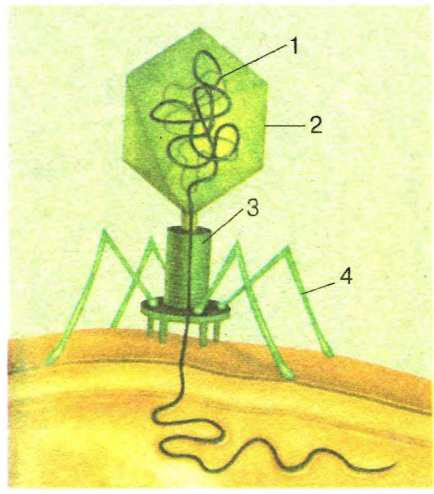


Мал. 31.2. Порівняння будови клітинних оболонок грам-позитивних (I) і грам-негативних (II) бактерій

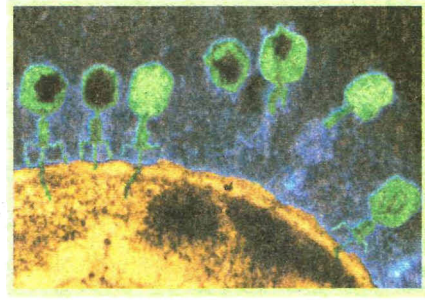
РНК-умісних вірусів дуже швидко змінюється. Так утворюються генетично неоднорідні популяції вірусів.

• Віруси бактерій, або бактеріофаги. Бактеріальна клітина надійно захищена від навколишнього середовища своєрідним «фортечним муром» – клітинною стінкою складнішої будови, ніж у рослин і грибів (мал. 31.2). Тому процес проникнення частинок бактеріофагів до прокаріотичної клітини-хазяїна має особливості.

Розглянемо цей процес на прикладі вже відомого нам бактеріофага Т4 (мал. 31.3). До кінця його хвостового відростка приєднано шість білкових ниток, які закінчуються особливими ділянками – рецепторами. У свою чергу, на поверхні клітинної стінки бактеріальної клітини-хазяїна (бактеріофаги Т4 «спеціалізуються» на бактеріях кишкової палички) є глікопротеїди (як ви пам'ятаєте, так називають сполуки білків з вуглеводами), з якими і зв'язуються рецептори вірусу. Після цього бактеріофаг щільно притискає до клітинної стінки хвостовий відросток і впорскує свою дволанцюгову молекулу ДНК в цитоплазму клітини (мал. 31.3, 31.4).



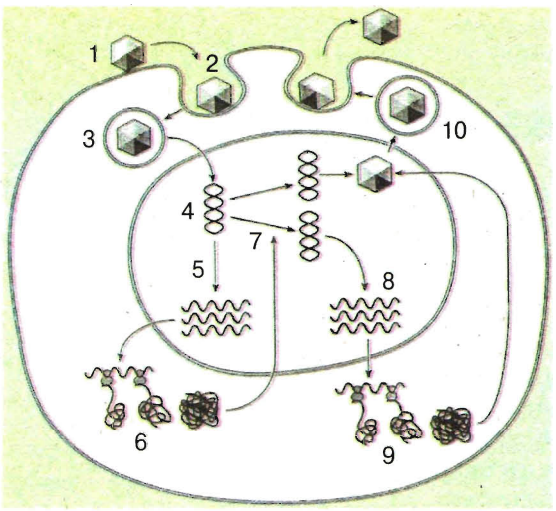
Мал. 31.3. Схематична будова бактеріофага Т4: 1 – геном у вигляді дволанцюгової ДНК; 2 – головка; 3 – хвостовий відросток із чохлом; 4 – білкові нитки



Мал. 31.4. Електронно-мікроскопічна фотографія моменту впорскування ДНК бактеріофага Т4 в цитоплазму бактеріальної клітини

За дуже короткий час (20–40 хвилин) в інфікованій клітині накопичується велика кількість вірусних структурних білків і копій ДНК. Після самозбирання у цитоплазмі бактерії утворюється близько 100 нових вірусних частинок. Особливі ферменти вірусів розчиняють клітинну стінку зсередини, і віріони опиняються у навколишньому середовищі. Генетичний матеріал бактеріофага Т4 включає близько 150 генів.

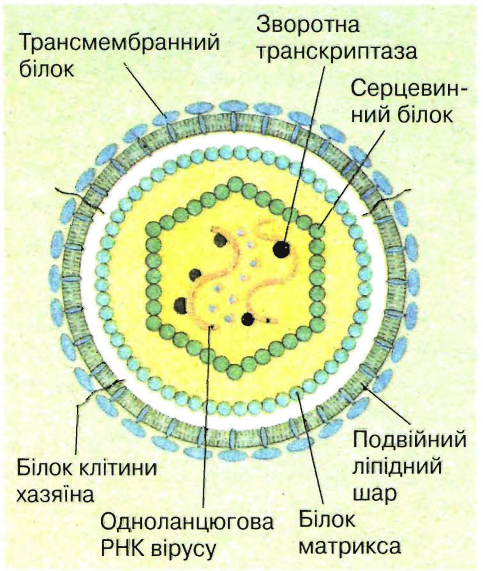
• Віруси людини і тварин. Розглянемо особливості розмноження вірусів людини і тварин на двох прикладах: вірусу поліомієліту та вірусу імунодефіциту людини. Перший з них є простим вірусом, другий – складним. Вірус поліомієліту має специфічні рецептори, розташовані на поверхні його вірусної частинки. Після приєднання вірусної частинки до плазматичної мембрани чутливої клітини вона вгинається всередину, утворюючи пухирець, який транспортує вірус до зернистої ендоплазматичної сітки, де вірусна РНК звільняється і відбувається синтез вірусних білків. Нові молекули РНК вірусу поліомієліту синтезуються в ядрі клітини, яке внаслідок цього руйнується. Велика кількість вірусних молекул РНК виходить із ядра, і в процесі самозбирання формуються нові вірусні частинки.



Мал. 31.5. Життєвий цикл вірусу поліомієліту: 1 – приєднання до чутливої клітини; 2 – вгинання цитоплазми клітинної мембрани; 3 – утворення пухирця; 4 – проникнення вірусної РНК до ядра; 5 – транскрипція вірусної РНК; 6 – трансляція іРНК; 7 – реплікація вірусного геному; 8 – синтез структурних білків вірусу; 9 – самозбирання вірусу; 10 – «вихід» віріонів з інфікованої клітини

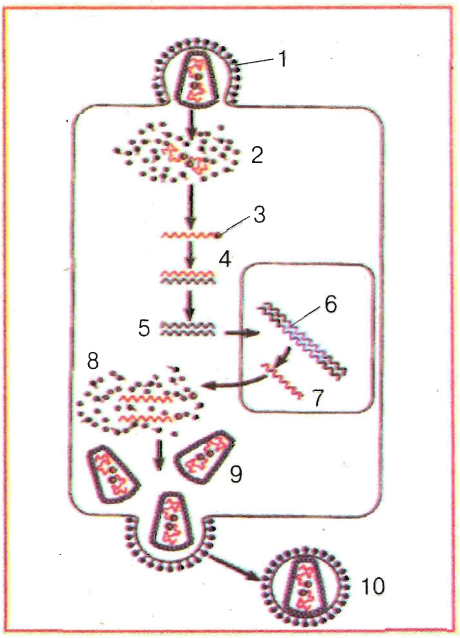
Віріони потрапляють у позаклітинний простір після руйнування плазматичної мембрани (мал. 31.5).

На прикладі ***вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)*** ви дізнаєтеся про те, як формуються складні вірусні частинки. Проте спочатку ознайомимося з основними характеристиками цього вірусу. Як видно з малюнка 31.6, вірусна частинка складається з двох однакових молекул одноланцюгової РНК, оточених білковою оболонкою. Зовні від неї є ще одна оболонка, яка насправді є ділянкою мембрани клітини-хазяїна. Вона складається з ліпідів і полісахаридів, а також поверхневих вірусних білків-рецепторів; у складі віріона є специфічний фермент (зворотна транскриптаза) для забезпечення перезапису генетичної інформації з молекули вірусної РНК на молекулу ДНК клітини-хазяїна.



Мал. 31.6. Схематична будова вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ)

• Як розмножується вірус імунодефіциту людини? За допомогою поверхневих білків віріони ВІЛ визначають чутливі клітини (зазвичай це Т-лімфоцити) та прикріплюються до їхньої поверхні. У результаті такої взаємодії поверхнева мембрана віріона зливається з плазматичною мембраною клітини, а його центральна частина потрапляє до цитоплазми (мал. 31.7), де відбувається матричний синтез дволанцюгової вірусної ДНК. На наступному етапі вона транспортується до ядра, де вбудовується в одну із хромосом. Після цього вірусна ДНК може тривалий час співіснувати із хромосомою (так званий провірус) у пасивному стані, тобто не реалізуючи власну генетичну інформацію. Інфі-



Мал. 31.7. Життєвий цикл вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ): 1 – приєднання ВІЛ до чутливої клітини та проникнення всередину; 2 – «роздягання» вірусу; 3–4 – зворотна транскриптаза геному вірусу; 5 – утворення дволанцюгової ДНК вірусу; 6 – вбудовування геному вірусу в геном клітини; 7–8 – синтез іРНК і білків вірусу; 9 – збирання та брунькування вірусу; 10 – вихід нових вірусів із клітини

кованих вірусом імунодефіциту людей на цьому етапі розвитку захворювання називають носіями ВІЛ.

Однак під дією певних чинників клітинного середовища ДНК вірусу може перейти до активного стану, тобто розпочинаються її транскрипція та синтез білків ВІЛ, які накопичуються в цитоплазмі. Зокрема, білки, які відповідають за утворення зовнішньої оболонки вірусу, проникають до цитоплазматичної мембрани, формуючи ділянки, які в подальшому стануть зовнішньою оболонкою складної вірусної частинки (мал. 31.7). В одній інфікованій клітині може одночасно синтезуватися близько сотні нових вірусних частинок. У разі їхнього одночасного відбруньковування від плазматичної мембрани клітина гине. Оскільки ВІЛ уражає Т-лімфоцити, їхня загибель призводить до дефіциту імунних клітин в організмі. Звідси походить назва – вірус імунодефіциту людини. Нагадаємо, що цей вірус спричиняє смертельно небезпечне захворювання людини – ***синдром[1] набутого імунодефіциту людини (СНІД)***.

Ключові терміни та поняття. ***Бактеріофаг, вірус імунодефіциту людини (ВІЛ), синдром набутого імунодефіциту людини (СНІД).***

Коротко про головне

- Вірусам рослин для проникнення в цитоплазму необхідне ушкодження клітинної стінки внаслідок механічних впливів або дії ротових органів безхребетних тварин-переносників (комахи та круглі черви). Сусідні клітини інфікуються через плазмодесми.
- Під час перебування вірусу в клітині синтезуються вірусні білки, одні з яких діють як ферменти, що забезпечують подальше відтворення молекул вірусних нуклеїнових кислот, інші – слугують компонентами оболонок нових вірусних частинок.

[1]Синдром (від грец. *синдроме* – той, хто біжить разом) – сукупність ознак (симптомів) певного захворювання.

Коротко про головне

- Бактеріофаги знаходять прокаріотичних хазяїв за допомогою рецепторів, що приєднуються до глікопротеїдів бактеріальної клітинної стінки.
- Простий вірус поліомієліту складається з молекули РНК (синтезується в ядрі клітини-хазяїна) та білкової оболонки. Частинка (віріон) складного вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ) має додаткову оболонку з мембрани клітини-хазяїна.
- Оскільки ВІЛ уражає Т-лімфоцити, їхня загибель призводить до нестачі (дефіциту) носіїв клітинного імунітету в організмі. Звідси походить назва – вірус імунодефіциту людини.

Запитання для самоконтролю

1. Які особливості розмноження вірусів рослин і грибів? 2. Які особливості розмноження бактеріофагів? 3. Що вам відомо про утворення простих та складних віріонів? Наведіть приклади.

Поміркуйте. *Деякі з учених заперечують, що вірус імунодефіциту людини (ВІЛ) спричиняє захворювання на СНІД. Як це можна спростувати чи підтвердити?*

§ 32. РОЛЬ ВІРУСІВ У ПРИРОДІ ТА ЖИТТІ ЛЮДИНИ. ВІРУСНІ ІНФЕКЦІЇ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

Пригадайте: *що таке паразитизм та інфекція? Які способи зараження збудниками захворювань вам відомі? Що таке переносники? Які організми слугують переносниками вірусних інфекцій?*

• Особливості поширення вірусів у біосфері. Ми вже знаємо, що віруси є внутрішньоклітинними паразитами різноманітних видів прокаріотів та еукаріотів. Тому поширення вірусів у біосфері визначене ареалами чутливих до них організмів.

Певні види вірусів завжди мають певну сукупність (коло) видів хазяїв. Цікаво, що віруси рослин не інфікують людину, тварин і бактерії, віруси бактерій – відповідно рослини і тварини, віруси людини і тварин – рослини і бактерії.

З іншого боку, організми одного виду (наприклад, людина) можуть уражатися вірусами багатьох видів, які паразитують у клітинах різних тканин та органів (як-от: вірусні інфекції дихальних шляхів, органів травлення, нервової системи, шкіри тощо). Деякі вірусні інфекції характерні тільки для людини (наприклад, гепатит В, ВІЛ) або лише певних видів тварин (ящур, чума собак), рослин, грибів чи бактерій. Відомі віруси з широким колом хазяїв, наприклад спільні для людини та різних видів диких або свійських тварин (кліщового енцефаліту, сказу, жовтої пропасниці).

Пристосування вірусів до паразитизму проявляються в різноманітності способів ефективного зараження хазяїв. Розглянемо шляхи передачі вірусів на прикладі людини. Віріони збудників захворювань органів дихання

потрапляють до хазяїв повітряно-крапельним шляхом (грип); органів травлення – з їжею та водою (гепатит[1] А); покривів тіла – через слизові оболонки (герпес, віспа, папілома).

Переносниками віріонів часто слугують різні членистоногі, зокрема кровосисні комарі (жовта пропасниця, лихоманка Західного Нілу) та кліщі (тайговий, або кліщовий, енцефаліт). Зараження можливе також при недотриманні санітарних норм під час переливання крові або хірургічних операцій (віруси гепатиту В, імунодефіциту людини). Для деяких вірусів встановлена можливість передачі при статевих контактах (герпес, імунодефіцит людини, гепатит С).

Не завжди потрапляння вірусу до організму призводить до розвитку хвороби. Це залежить від чутливості хазяїна, стану його імунної системи, концентрації вірусних частинок та їхньої ***патогенності*** (здатності спричиняти патологічний процес).

Досить часто виникають сприятливі умови для поширення вірусів, що призводить до спалахів епідемій інфекційних захворювань (грипу, кору, СНІДу). Нагадаємо: ***епідемією*** (від грец. *епідемія* – поширена в народі хвороба) називають масове поширення в певній місцевості того чи іншого захворювання.

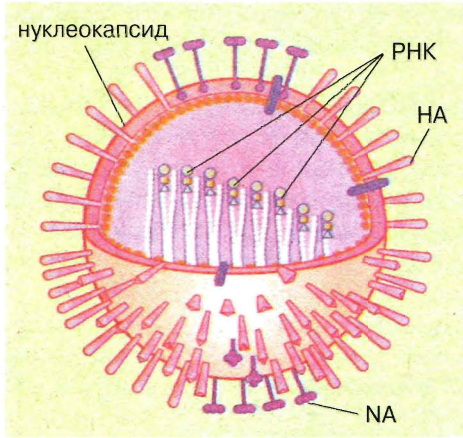
Слід відмітити, що в переліку значних катастрофічних подій, які спіткали людство за всю його історію, одне з чільних місць посідає епідемія вірусу грипу 1918 року, так звана іспанка. Ця епідемія забрала понад 50 млн життів (порівняйте – у Другій світовій війні за 6 років загинуло близько 50 млн людей).

Науку, яка вивчає закономірності перебігу епідемій, тобто досліджує причини виникнення і поширення інфекційних хвороб та застосовує отримані знання для боротьби з ними, називають ***епідеміологією*** (від грец. *епідемія* та *логос* – наука). Значний внесок у розвиток цієї науки зробив відомий український учений Д.К. Заболотний. Головне положення епідеміології говорить про те, що епідемічний процес виникає і підтримується тільки за умови спільних дій таких первинних чинників: наявності джерела збудника; здійснення механізму його передачі; високого ступеня сприйнятливості популяції хазяїв до інфекції. Якщо вилучити хоча б один із цих чинників, епідемічний процес припиняється. Саме на цьому ґрунтуються засоби попередження (профілактики) інфекційних захворювань.

Для здійснення профілактичних заходів необхідно правильно визначити (діагностувати) збудника захворювання. Така діагностика дає змогу зрозуміти біологію вірусу: шляхи його передачі, здатність уражати ті чи інші клітини та органи, а також правильно застосовувати засоби профілактики. Докладніше розглянемо розвиток епідемічного процесу на двох конкретних прикладах вірусів, які значно відрізняються за своїми властивостями: грипу та імунодефіциту людини.

• **Вірус грипу,** як ми вже знаємо, належить до складних вірусів (*пригадайте, які ознаки їм притаманні*). Його генетична інформація закодована

[1]Гепатити (від грец. *гепа* – печінка) – група захворювань, які проявляються запаленням печінки. Розрізняють інфекційні та токсичні (унаслідок отруєння) гепатити.



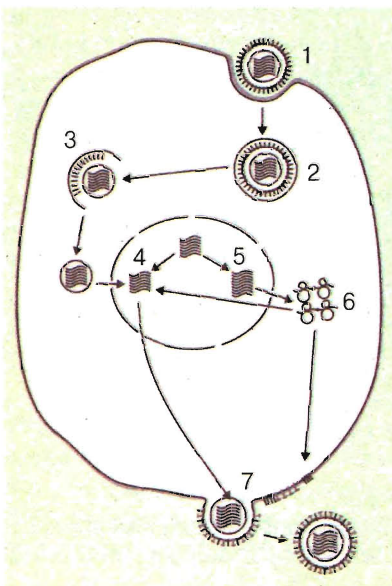
Мал. 32.1. Схематична будова вірусу грипу: NA та HA – різні поверхневі білки

у вісьмох одноланцюгових молекулах РНК (мал. 32.1).

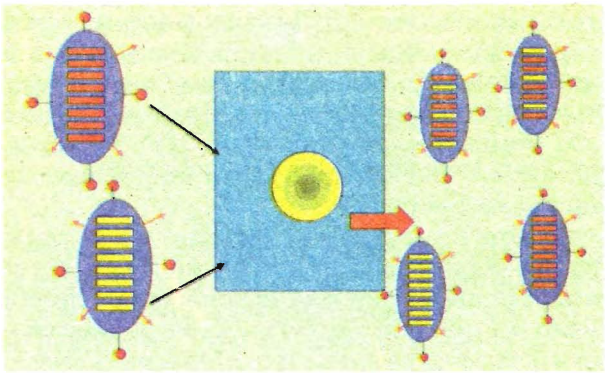
Вірус грипу передається повітряно-крапельним шляхом, уражуючи слизові оболонки верхніх дихальних шляхів. Приєднавшись за допомогою рецепторних молекул (*знайдіть їх на малюнку 32.1*) до клітин епітелію, вірусна РНК проникає через цитоплазму до ядра клітини. У клітині відбувається самозбирання вірусних частинок, яке супроводжується руйнуванням клітинних структур і виходом віріонів у міжклітинний простір (мал. 32.2). Коли таких клітин в епітеліальній тканині виявиться багато, спостерігають симптоми інфекції. Накопичення решток зруйнованих клітин в організмі викликає кашель, підвищення температури. Вірусні частинки під час кашлю зі слиною хворого потрапляють на слизові оболонки здорових людей. Так може розпочатися епідемія грипу. Найчастіше це відбувається восени та взимку (*поміркуйте, чому*).

Чому майже щороку люди хворіють на грип? Адже імунна система повинна була б забезпечити несприйнятливість організму до цього вірусу. Відповідь проста: щоразу, коли починається епідемія, ми маємо справу з новим вірусом, генетична інформація якого змінилася (відбулася мутація). Саме тому наша імунна система не може його знешкодити.

Як виникають віруси-мутанти зі зміненою генетичною інформацією? Насамперед РНК вірусу здатна змінюватися сама по собі (унаслідок помилок під час перезапису генетичної інформації). Але головна причина в іншому – віруси грипу людини за будовою та властивостями подібні до вірусів – збудників схожих на грип захворювань диких птахів і свиней. Існує гіпотеза про те, що вірус грипу потрапив до людської популяції саме від птахів. Це підтверджує той факт, що в оболонці віріонів пташиного грипу виявлено 25 різновидів поверхневих білків, а у збудника свинячого та людського грипу – лише деякі з них. Занепокоєність світової спільноти можливим



Мал. 32.2. Життєвий цикл вірусу грипу: 1 – приєднання вірусу до чутливої клітини; 2 – утворення ендосоми (пухирця) з вірусом; 3 – злиття мембран і потрапляння РНК вірусу в цитоплазму; 4 – проникнення РНК вірусу до ядра клітини; 5 – транскрипція і реплікація вірусної РНК; 6 – синтез вірусних структурних білків та збирання віріонів; 7 – «вихід» віріонів з клітини



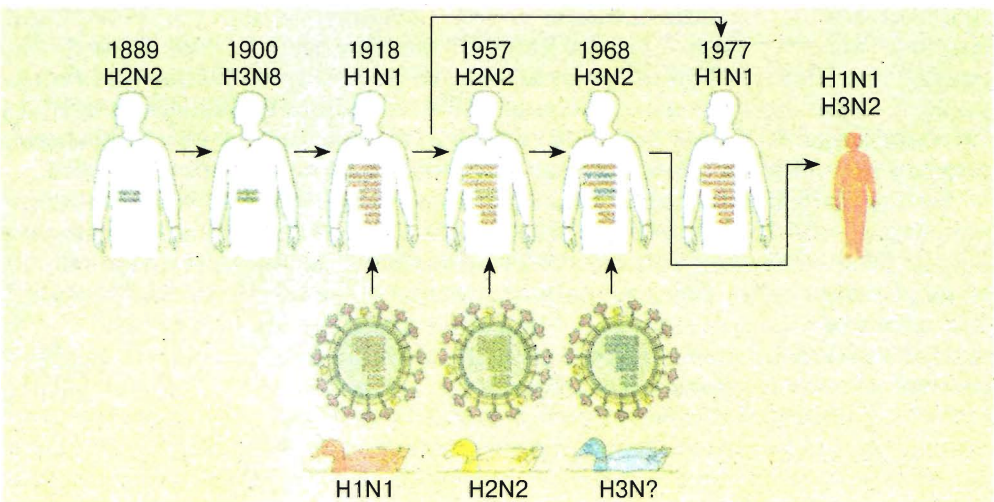
Мал. 32.3. Обмін ділянками молекул РНК між різними штамами вірусу грипу: 8 червоних і 8 жовтих смужок – елементи РНК двох різних штамів

розвитком епідемії «пташиного грипу» серед людей пов'язують з тим, що в оболонці віріонів цього захворювання знайдений білок, який раніше не виявляли в оболонці вірусів людини – H5N1.

Як вірус набуває нових ознак? Часто в одну клітину потрапляють не один, а два чи більше різновидів (штамів) вірусів, між якими можливий обмін однією або декількома ділянками РНК (мал. 32.3). У такий спосіб виникають нові віруси з раніше невідомими властивостями. Вважають, що саме в такий спосіб з'явився вірус грипу, який спричинив епідемію «іспанки» 1918 року (мал. 32.4).

• **Вірус імунодефіциту людини (ВІЛ)** призводить до розвитку смертельно небезпечного захворювання – синдрому набутого імунодефіциту, тобто СНІДу. (СНІД можуть викликати і деякі інші причини, пов'язані з відмовою імунної системи реагувати на збудників тих чи інших захворювань.) ВІЛ був відкритий 1983 року вченими Пастерівського інституту (Париж) Л. Монтаньє та Ф. Барре-Синуссі, за що вони 2008 року отримали Нобелівську премію в галузі медицини.

Ви вже знаєте про основні біологічні властивості ВІЛ, тому розглянемо епідеміологічні проблеми СНІДу. Зараження ВІЛ відбувається під час ста-



Мал. 32.4. Послідовні штами (еволюція) вірусу грипу людини

тевих контактів із ВІЛ-інфікованими, у разі порушень санітарних правил переливання крові, ін'єкцій лікарських препаратів і наркотиків за допомогою шприца, який перед тим використовувала інфікована людина. Крім того, вірус може надходити від матері до дитини під час вагітності, пологів або вигодовування молоком. ВІЛ не передається повітряно-крапельним шляхом, з їжею, через укуси кровосисних комах та кліщів, через речі та при рукостисканні.

З моменту проникнення вірусу в чутливу клітину починається прихований період ВІЛ-інфекції – вірусоносійство, який може тривати 7–10 років і більше. У цей час інфікована людина почувається цілком здоровою. Рано чи пізно починається саме захворювання – СНІД, що триває зазвичай 1–3 роки та завжди закінчується смертю. До цього часу не зареєстровано жодного випадку одужання ВІЛ-інфікованої людини. Це пов'язано з тим, що ВІЛ вбудовує свою генетичну інформацію у вигляді дволанцюгової ДНК у хромосому клітини, яка (а відповідно й організм) довічно стає носієм вірусу. Оскільки вірус вражає клітини імунної системи, зокрема Т-лімфоцити та макрофаги, у разі розвитку СНІДу інфіковані клітини масово гинуть. Імунна система перестає знешкоджувати збудників різних хвороб. Тому хворий гине не від вірусу імунодефіциту, а внаслідок інших інфекцій, збудників яких в нормі наша імунна система активно пригнічує (наприклад, молочниці, яку спричиняє паразитичний грибок). Вірус імунодефіциту людини за останні 25 років значно поширився серед населення різних країн, серед яких і Україна, а СНІД набув характеру ***пандемії*** (від грец. *пандемія* – весь народ) – епідемії, що охоплює більшість країн на нашій планеті.

Пандемія СНІДу – унікальне явище в історії людства за швидкістю розповсюдження, масштабами та глибиною наслідків. Починаючи з 1981 року, коли був зареєстрований перший випадок захворювання, від СНІДу вже померло 20 млн людей, і ще близько 44 млн у всьому світі живуть з ВІЛ-інфекцією. Зростання захворюваності на СНІД часто буває не прогнозованим, оскільки шляхи передачі вірусу міняються місцями. Наприклад, раніше в Україні основним шляхом передачі ВІЛ був ін'єкційний, а останнім часом почав переважати гетеросексуальний. Якщо на початку епідемії кількість ВІЛ-інфікованих чоловіків значно переважала кількість інфікованих жінок, то тепер жінки становлять близько 50 % заражених людей, а половина нових випадків інфікування ВІЛ у світі припадає на вікову групу 15–24 роки. Протягом останніх років понад 6 тисяч молодих людей щодня заражуються цим небезпечним вірусом.

За цей час людство навчилось ефективно протистояти епідемії завдяки впровадженню лікувальних препаратів і профілактиці розповсюдження вірусу. Широка поінформованість суспільства та інтенсивні профілактичні засоби дали змогу деяким країнам знизити рівень передачі ВІЛ-інфекції. Але загалом у світі кількість інфікованих людей щорічно зростає.

Підсумовуючи проблему поширення вірусів та епідеміології вірусних захворювань, слід відзначити провідну роль людини в появі нових і збільшенні патогенності давно відомих вірусних інфекцій. Такі чинники, як широкомасштабні транспортні перевезення людей, їхніх продуктів харчування тощо, забруднення повітря, нищення лісів, міграції диких тварин унаслідок руйнування середовищ їхнього мешкання, розширення ареалів (інтродукція) свійських тварин і культурних рослин, тривале вирощування

на певній території одних і тих самих культур, порушення правил переливання крові, випадкові статеві контакти, вживання наркотиків, неконтрольований ріст великих міст призводять до поширення інфекцій серед людських популяцій і спадкових змін самих вірусів.

Ключові терміни та поняття. ***Патогенність, епідеміологія, пандемія.***

Коротко про головне

- Поширення вірусів як внутрішньоклітинних паразитів у біосфері визначене ареалами чутливих до них організмів. Певні види вірусів завжди мають певну сукупність (коло) видів хазяїв; зокрема, віруси рослин не інфікують людину, тварин і бактерії, віруси бактерій – відповідно рослини і тварини тощо.
- В організмах одного виду можуть мешкати різні види вірусів, які паразитують у клітинах різних тканин та органів. Деякі вірусні інфекції характерні тільки для людини або певних видів тварин, рослин, грибів чи бактерій. Інші віруси мають широке коло хазяїв, наприклад, спільні для людини та різних видів диких або свійських тварин (кліщовий енцефаліт, сказ, жовта лихоманка).
- Пристосування вірусів до внутрішньоклітинного паразитизму проявляються в різноманітності способів ефективного зараження хазяїв. Віріони збудників захворювань органів дихання потрапляють до хазяїв повітряно-крапельним шляхом (грип); травлення – з їжею та питтям (гепатит А); покривів тіла – через слизові оболонки (герпес, віспа, папілома). Переносниками віріонів часто слугують різні членистоногі, зокрема кровосисні комарі (жовта пропасниця) та кліщі (кліщовий енцефаліт). Зараження можливе також при недотриманні санітарних норм під час переливання крові або хірургічних операцій (гепатит В, ВІЛ). Для деяких вірусів встановлена можливість передачі при статевих контактах (герпес, ВІЛ, гепатит С).
- Науку, яка вивчає причини виникнення й поширення інфекційних хвороб та застосовує отримані знання для боротьби з ними, називають епідеміологією.
- Віруси здатні до спадкових змін шляхом мутацій або обміну ділянками РНК між різними видами. Ця їхня властивість сприяє виникненню нових вірусних частинок та інфекційних захворювань, наприклад вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ), який спричинює смертельну хворобу – синдром набутого імунодефіциту (СНІД).

Запитання для самоконтролю

1. Які ви знаєте шляхи передачі збудників вірусних інфекцій людини, тварин і рослин у природі? 2. Які ви знаєте способи запобігання вірусним інфекціям? 3. Що таке епідемічний процес? 4. Які основні характеристики вірусів грипу та ВІЛ?

Поміркуйте: *Чому найбільше ВІЛ-інфікованих людей реєструють у бідних країнах?*

§ 33. ПРОФІЛАКТИКА ТА ЛІКУВАННЯ ВІРУСНИХ ІНФЕКЦІЙ

Пригадайте: *що становить собою імунна система людини? Які види імунітету вам відомі? Що таке вакцина та з якою метою її застосовують? Що таке лізоцим, інтерферон, макрофаги?*

• Профілактика вірусних інфекцій. Вірусні інфекції завдають величезної шкоди здоров'ю людини й значних збитків тваринництву, рослинництву та мікробіологічній промистовості. Тому вірусологи шукають можливості запобігання розвитку вірусних інфекцій та ефективні засоби лікування уражених організмів. Оскільки віруси є внутрішньоклітинними паразитами, то ліків, які б були дієвими проти них і водночас безпечними для всіх клітин організмів хазяїв, поки що не знайдено. Отже, на сьогодні головним напрямом антивірусної стратегії є запобігання (профілактика) вірусних інфекцій. Усі засоби профілактики можна поділити на три основні категорії:

- заходи, спрямовані на ліквідацію джерел поширення збудника (наприклад, ізоляція хворих);
- заходи, спрямовані на переривання механізму передачі збудника від інфікованих особин до здорових: застосування респіраторів, засобів гігієни, препаратів, що знищують кровосисних комах – переносників вірусів тощо;
- заходи, спрямовані на створення специфічної несприйнятливості населення (імунізація) – здійснення профілактичного щеплення.

Ви вже знаєте, що після відкриття Е. Дженнером вакцини проти вірусу віспи та досліджень Л. Пастера стало можливим масове щеплення населення. Це сприяло різкому зниженню захворюваності на певні вірусні інфекції. Так, у 1981 р. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) оголосила, що завдяки масовим щепленням та іншим засобам профілактики вірус віспи в біосфері зник, а ця хвороба перестала існувати як загроза людству.

• Механізми створення стійкості до вірусних інфекцій. Якщо ввести в організм вакцину – послаблену або неактивну культуру певного вірусу, то імунна система активується і стає готовою до боротьби з високопатогенним штамом цього збудника. Тепер існують вакцини проти більшості відомих високопатогенних вірусів.

З'ясуємо докладніше процеси, які відбуваються при виробленні імунітету у разі введення в кров людини вакцини, на прикладі вірусу віспи корів. Коли вірус з'являється в організмі, деякі види білих кров'яних клітин (лімфоцитів) розпізнають його поверхневі білки як невластиві людині (чужорідні), тобто *антигени*. У відповідь особливі В-лімфоцити виробляють специфічні білки – *антитіла*, або імуноглобуліни, які нейтралізують (роблять неактивними) антигени. Антитіла, у свою чергу, вводять у дію механізми так званої *імунної пам'яті*. Вона проявляється в тому, що при повторному потраплянні в організм певного антигену швидко утворюється велика кількість антитіл, які припиняють розвиток захворювання.

Встановлено, що смертельно небезпечний вірус віспи людини дуже подібний до вірусу віспи корів, зокрема їхні поверхневі білки практично однакові. Введення вірусу віспи корів у складі вакцини в організм люди-

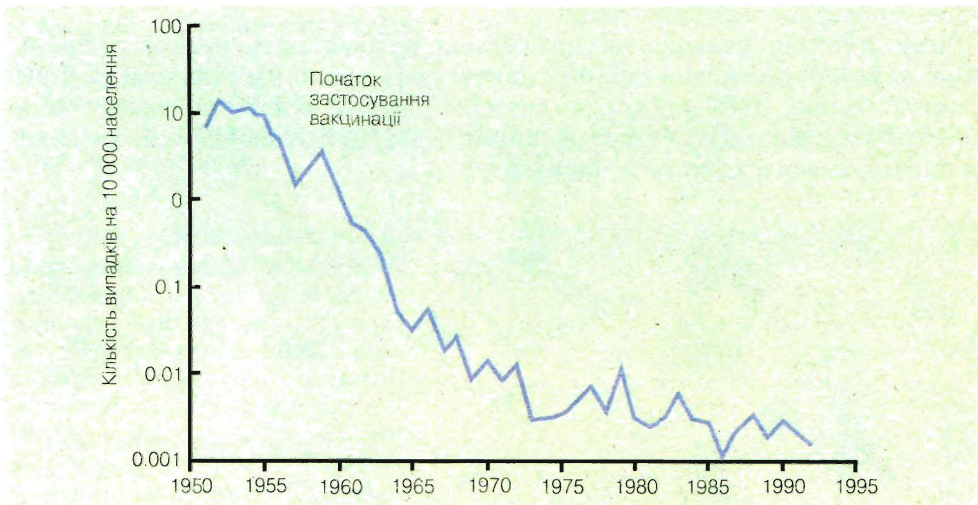
ни зумовлює утворення антитіл, які ефективні і проти людської віспи. Цим самим завдяки *імунній пам'яті* людина убезпечена від захворювання на віспу. Всі сучасні антивірусні вакцини діють саме за таким принципом: в організм вводять послаблений вірус або вірусний білок, у відповідь на який виробляються антитіла і розвивається імунна пам'ять. Отже, вакцинація робить організм стійким до даного вірусу на багато років або на все життя.



Мал. 33.1. Унаслідок поліомієліту людина стає інвалідом

Саме завдяки імунізації людство практично позбулося ще однієї страшної недуги – вірусного поліомієліту. Ще до середини минулого сторіччя ця хвороба вважалася однією з найнебезпечніших, оскільки віріони потрапляли до людини через кишковий тракт, а в подальшому – вражали нейрони. У людини розвивався паралітичний поліомієліт унаслідок блокування нервових імпульсів до рухових скелетних м'язів (мал. 33.1). Як видно з малюнка 33.2, застосування вакцинації протягом тридцяти років практично звело проблему поліомієліту нанівець. На сьогодні створені та застосовуються ефективні вакцини до вірусів жовтої пропасниці, сказу, кліщового енцефаліту, кору та багатьох інших. Вакцина проти вірусу гепатиту В водночас запобігає деяким раковим захворюванням, оскільки саме цей вірус призводить до розвитку злоякісної пухлини печінки.

Учені та лікарі, знаючи біологічні властивості вірусу грипу, ефективно застосовують профілактичні заходи для запобігання розповсюдженню інфекції. Це, зокрема: ізоляція хворих (постільний режим при клінічних проявах грипозної інфекції), уникання великого скупчення людей, застосування марлевих пов'язок для зниження ризику передачі віріонів з



Мал. 33.2. Графік частоти захворювань на поліомієліт за останні десятиріччя

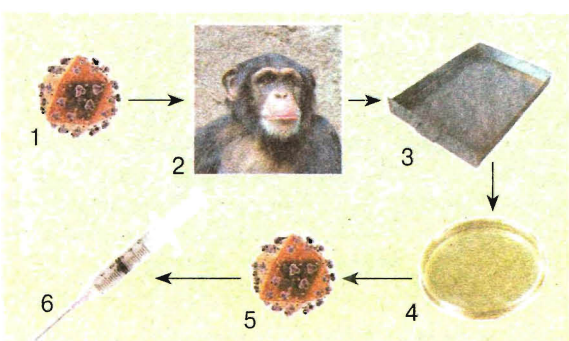
крапельками слизу та слини. Унаслідок високої мінливості вірусу грипу досі не вдалося створити надійної вакцини проти його різновидів, хоча часто провадять імунізацію населення до очікуваного штаму.

Однак на прикладі вірусу імунодефіциту людини ми можемо переконатися, що профілактичні заходи, дієві проти вірусу грипу, не можуть бути застосовані при розвитку епідемії ВІЛ/СНІДу. На відміну від вірусів поліомієліту, вітрянки або кору, дієвої вакцини проти вірусу імунодефіциту людини поки що не існує. Це пов'язано з величезною кількістю змін, які відбуваються у спадковому матеріалі ВІЛ. Тож, аби убезпечити себе від інфікування ВІЛ, слід вести здоровий спосіб життя. А це насамперед – утримання від безладних статевих контактів та наркотиків, оскільки саме такими шляхами вірус сьогодні поширюється серед молоді.

Отже, імунітет розвивається тоді, коли організм видужав від інфекційного захворювання або якщо був штучно введений антиген – вакцина. Такий імунітет дістав назву ***специфічного*** (або набутого). Імунітет може бути й ***неспецифічним*** (вродженим, або природним). Він ґрунтується на поєднанні дії гуморальних (лізоцим, інтерферон та ін.) і клітинних (лімфоцити, макрофаги тощо) чинників. Неспецифічний імунітет допомагає боротися з будь-яким вірусом, незалежно від його видової належності (звідси і назва). Зазвичай для захворювань з коротким прихованим (латентним) періодом, під час якого симптоми ще не проявляються, неспецифічний імунітет слугує головним бар'єром для розвитку хвороби.

Для створення специфічного імунітету застосовують вакцини декількох типів. *Живими* називають вакцини, що містять «послаблені» вірусні частинки, які здатні проникати до клітин організму, але втратили патогенність (мал. 33.3). *Убитими*, або інактивованими, називають вакцини, у складі яких є віруси, оброблені токсичними речовинами (наприклад, формаліном) або рентгенівським випромінюванням; нуклеїнова кислота таких вірусів стає нездатною до реалізації генетичної інформації. До складу *субодиничних* вакцин входять не цілі вірусні частинки, а тільки окремі вірусні білки. Отже, спільним для всіх вакцин є наявність вірусного білка, який розпізнається імунною системою хазяїна як антиген, стимулюючи вироблення відповідних антитіл.

До вакцин майбутнього, які нині тільки розробляють, належать *синтетичні вакцини* (антигени для них синтезують хімічним шляхом) та *ДНК-вакцини*. У разі ДНК-вакцин в організм вводять генетичну інформацію про антиген у вигляді ділянки дволанцюгової ДНК; унаслідок цього антиген синтезується в клітинах людини.



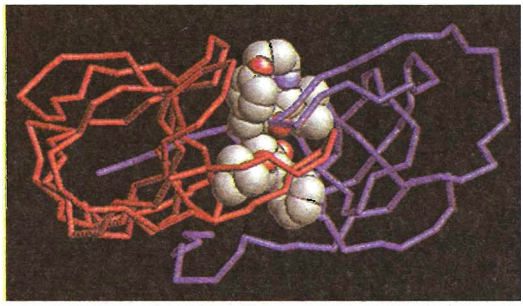
Мал. 33.3. Схема отримання живої вакцини: 1 – патогенний вірус; 2 – ряд повторних штучних заражень мавпи; 3 – отримання культури клітин; 4 – контрольне зараження мавпи для перевірки активності вірусу; 5 – виділення і очищення вірусу; 6 – створення препарату

До складу вакцин також входять консерванти (речовини, які забезпечують тривале зберігання вакцини), підсилювачі імунної відповіді організму, буферний розчин. У нашій країні провадять обов'язкові вакцинації дітей проти деяких вірусних захворювань (гепатиту В, поліомієліту, вітрянки, кору, паротиту). Часто вакцинують не все населення, а лише ту частину, для якої ризик зараження найвищий. Наприклад, проти кліщового (тайгового) енцефаліту вакцинують людей, яким потрібно працювати в тайзі (геологи, мисливці тощо). Проти жовтої пропасниці вакцинують туристів, які прямують до деяких країн Африки чи Латинської Америки. Отже, ***запам'ятайте:*** проти деяких збудників вірусних хвороб вакцинація обов'язкова, для більшості – тільки у разі ризику зараження.

• **Противірусні ліки.** Якщо імунна система організму не здатна протистояти вірусній інфекції, розпочнеться захворювання. Майже всі захворювання бактеріального і грибкового походження виліковують за допомогою специфічних ліків (антибіотиків і фунгіцидів). Але на збудників вірусних інфекцій ці лікарські препарати впливають недостатньо ефективно. Для боротьби з вірусними інфекціями використовують або природні сполуки (зокрема, інтерферон), або близькі за дією до природних синтезовані препарати. Інтерферон пригнічує розмноження більшості вірусів у клітинах організму-хазяїна. Завдання створення антивірусних ліків дуже важке, адже вони повинні пригнічувати збудника інфекції, проте не впливати на структуру та обмін речовин клітини. Нині розроблено й ефективно використовують чимало препаратів, які впливають на різні етапи життєдіяльності вірусів. Ознайомтеся з основними мішенями дії найпоширеніших антивірусних препаратів (не для запам'ятовування) (мал. 33.4).



Мал. 33.4. Основні мішені дії антивірусних препаратів на прикладі вірусу грипу



Мал. 33. 5. Модель активного центру ферменту (протеази) ВІЛ та її інгібітора: червоні та сині лінії – дві субодиниці протеази, біла молекула – інгібітор, приєднаний до активного центру протеази

Важливим кроком до створення ефективних антивірусних ліків став хімічний синтез так званих пригнічувачів (*інгібіторів*) вірусних ферментів. Такі препарати здатні зв'язуватися виключно з активним центром білка-ферменту вірусу та пригнічувати його активність. Застосування пригнічувача ферменту, який забезпечує синтез білків вірусу імунодефіциту людини, дало змогу продовжити життя хворим на багато років (тому такі новітні ліки дістали назву високоефективної антиретровірусної терапії – ВАРТ).

Розвиток сучасної науки, поєднання досягнень синтетичної хімії, вірусології та біоінформатики дають змогу сподіватися на створення високоефективних антивірусних препаратів (таких як інгібітор протеази ВІЛ) уже найближчим часом (мал. 33.5).

Ключові терміни та поняття. ***Специфічний та неспецифічний імунітет, інгібітор.***

Коротко про головне

- Головним напрямом боротьби з поширенням вірусних захворювань є профілактика інфекцій. Винайдення антивірусних вакцин створило умови для масових запобіжних щеплень населення. Це сприяло різкому зниженню захворюваності на певні вірусні інфекції.
- Коли вірус з'являється в організмі, імунна система розпізнає поверхневі білки його віріонів як чужорідні (антигени). У відповідь клітини виробляють антитіла (білки імуноглобуліни), які нейтралізують антигени. Антитіла, у свою чергу, вводять у дію механізми так званої імунної пам'яті. Вона проявляється в тому, що при повторному потраплянні в організм певного антигену швидко утворюється велика кількість антитіл, які припиняють розвиток захворювання.
- Імунітет, або несприйнятливість організму до захворювання, буває набутим і вродженим. При набутому (специфічному) імунітеті відповідні антитіла виникають унаслідок перенесеного захворювання (природний імунітет) або вакцинації (штучний імунітет).
- Неспецифічний (вроджений, або природний) імунітет ґрунтується на пригнічуванні життєдіяльності різних видів вірусів властивими організму хазяїна гуморальними (лізоцим, інтерферон тощо) і клітинними (лімфоцити, макрофаги та ін.) факторами.

Запитання для самоконтролю

1. *У чому полягає профілактика вірусних інфекцій?* **2**. *Яка роль вакцинації у боротьбі з вірусними інфекціями?* **3**. *Які антивірусні вакцини вам відомі?* **4**. *За рахунок чого віруси здатні уникати захисних механізмів організму-хазяїна?* **5**. *Які види імунітету спрямовані проти вірусних інфекцій?* **6**. *Що вам відомо про антивірусні ліки?*

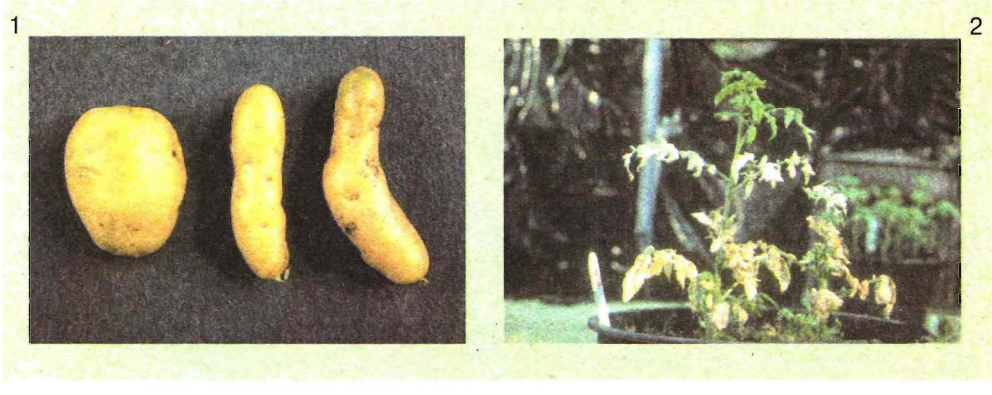
Поміркуйте: *що спільного та відмінного у вірусних та бактеріальних інфекціях?*

§34. ВІРОЇДИ І ПРІОНИ

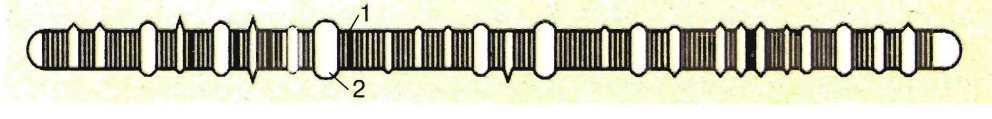
Пригадайте: *як відбувається передача і реалізація генетичної інформації у вірусів?*

Ви дізналися про особливості будови життєдіяльності вірусів, а також про їхню відмінність від клітинних форм життя. Однак до неклітинних форм життя належать вироїди і пріони, побудовані ще простіше, ніж віруси. Ці інфекційні частинки здатні до самовідтворення. Що ж відрізняє вироїди і пріони від звичайних вірусів?

• **Вироїди** відкрив 1971 року Теодор Дінер, який вивчав інфекційне захворювання картоплі, відоме під назвою «веретеноподібність бульб» (мал. 34.1). На превеликий подив дослідника під час біохімічного аналізу очищеного збудника не виявили жодних ознак білка. З'ясувалося, що інфекцію спричиняла одноланцюгова молекула РНК. Подальші детальні дослідження дали змогу встановити, що вона має форму замкненого ланцюга і складається всього з 375 нуклеотидів (мал. 34.2). Ця РНК не кодує



Мал. 34.1. Симптоми інфекції, спричинені вироїдом веретеноподібності бульб картоплі: 1 – на бульбах; 2 – на надземній частині рослин



Мал. 34.2. Схема будови молекули вироїду: 1 – комплементарні ділянки одноланцюгової РНК; 2 – некомплементарні ділянки одноланцюгової РНК

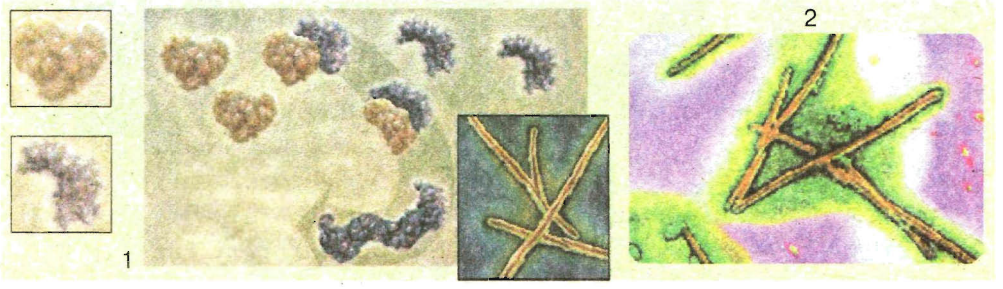
жодного білка, оскільки самовідтворюється в клітині хазяїна. Отже, **запам'ятайте: *віроїди** – інфекційні частинки, що становлять собою низькомолекулярні одноланцюгові молекули РНК, які не кодують власних білків.*

Наразі відомо вже багато різних захворювань рослин (екзокортіс цитрусових, «каданг-каданг» кокосових пальм, сонячного опіку авокадо та ін.). Цікаво, що віроїди знайдено виключно у рослин: у людини, тварин і бактерій подібних збудників не виявлено. Віроїди передаються від рослини до рослини під час механічного ушкодження. В інфікованій клітині ця частинка потрапляє до ядра або хлоропласта, де використовує клітинний фермент РНК-полімеразу для відтворення власних молекул. Симптоми захворювання виникають унаслідок активного відтворення молекул РНК віроїду, що спричиняє патологічний[1] процес в інфікованій клітині.

• **Пріони** (від англ. *proteinaceous infectious particle* – інфекційні білкові частинки) – білкові частинки, здатні спричиняти захворювання нервової системи людини і **тварин. Пріонові** (або повільні) інфекції характеризуються повільним, **але неухильним** розвитком симптомів та завершуються загибеллю хазяїна.

Повільні інфекційні захворювання тварин відомі людству понад 300 років; це, наприклад, захворювання овець під назвою «скрейпі». Відкриття повільних інфекцій у людини пов'язане з ім'ям Карлтона Гайдучека, який у 60-х роках XX ст. досліджував місцеву хворобу «куру» у представників племені Форе в Новій Гвінеї («куру» в перекладі з місцевого діалекту – «смерть, що сміється»). Ця хвороба має дуже тривалий латентний період – від кількох місяців до десятків років. К. Гайдучек довів, що збудник цієї інфекційної хвороби передається при ритуальному канібалізмі[2], зокрема поїданні мозку загиблої людини. У хворих людей та овець виявили особливий білок, який дістав назву «пріон». Виявилося, що захворювання виникають при потраплянні в організм цього інфекційного білка.

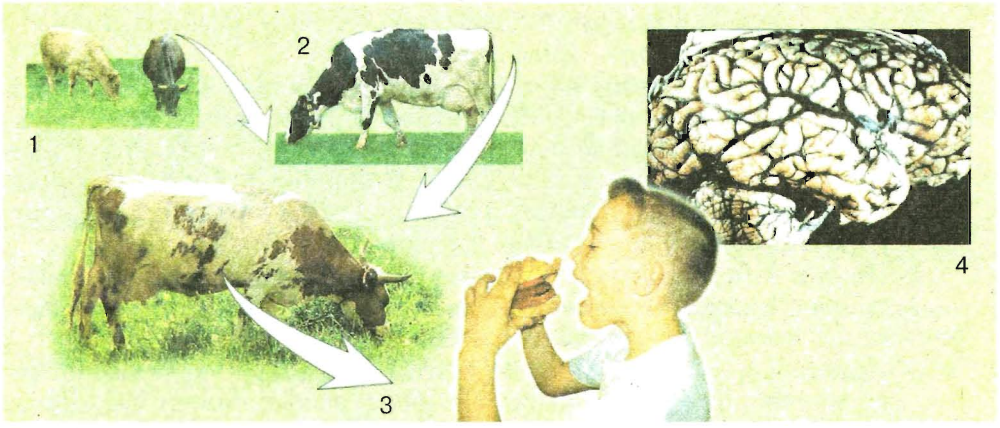
Пріони в організмі можуть з'являтись унаслідок інфікування чи успадкування або самочинно утворюватися без впливу будь-яких чинників. В організмі людини та тварин знайдений близький до пріонного білок, закодований у ДНК. Таким чином, ***пріон** – це особлива форма природного білка.* На малюнку 34.3 показано, як утворюється пріоновий білок. При



Мал. 34.3. 1. Перетворення нормального клітинного білка (світлий колір) на пріоновий білок (темний колір) з утворенням особливих ниток (фібрил). 2. Фібрили

[1]Патологічний (від греч. *патос* – біль, страждання та *логос* – наука, вчення) – хворобливий, ненормальний.

[2]Канібалізм – поїдання людьми інших людей.



Мал. 34.4. Один з ланцюжків передачі збудника хвороби Крейтцфельдта–Якоба: 1 – з їжею до корови; 2 – від тварини до тварини при поїданні екскрементів; 3 – з їжею до людини; 4 – ураження півкуль головного мозку

потраплянні в іншу клітину пріон перетворює нормальний подібний до себе білок на інфекційну форму. Цікаво, що при цьому амінокислотна послідовність клітинного білка залишається попередньою, а змінюється лише його третинна структура. Пріонна форма білка може накопичуватися в клітині у вигляді кристалів та ниток – фібрил, які й спричиняють патологічні зміни. Насамперед це відбувається у нейронах головного мозку – так розвивається губкоподібна енцефалопатія.

На сьогоднішній день у різних видів ссавців знайдено лише один білок, що має пріонові властивості. У людини пріони викликають ряд повільних інфекцій, а саме: куру, хворобу Крейтцфельдта–Якоба, синдром Герстмана–Штрауслера тощо. У тварин описані скрейпі овець і кіз, губкоподібна енцефалопатія[1] (сказ корів) та захворювання головного мозку курей, кішок, оленів та ін.

Для людини найнебезпечною вважають хворобу Крейтцфельдта–Якоба, на прикладі якої можна прослідкувати можливості передачі пріонної інфекції. Існує кілька варіантів цієї хвороби. Родинний варіант зумовлюють зміни у гені, який кодує природний білок; тому пріон передається спадково – звідси і назва. За ятрогенної[2] форми захворювання інфікування відбувається при пересадці пацієнту тканин або органів інфікованої людини. Спорадична (від грец. *спорадикос* – розсіяний, окремий) форма зумовлена спонтанними перетвореннями нормального білка на пріоновий. Ще один варіант хвороби характеризується тим, що людина інфікується, поїдаючи мозок заражених пріонами корів (мал. 34.4).

Пріонові білки відкрито також у дріжджів.

Ключові терміни та поняття. ***Віроїди, пріони.***

[1]Енцефалопатія (від грец. *енцефалос* – мозок та *патос* – біль, страждання) – загальна назва захворювань головного мозку.

[2]Ятрогенія (від грец. *ятрос* – лікар та *генео* – породжений; той, що виник) – захворювання, спричинюване необережними висловлюваннями або поведінкою лікаря, які людина сприймає як доказ особливої складності її хвороби. Ятрогенія також може виникнути під впливом прочитаної медичної літератури.

Коротко про головне

- Вірусологія, крім вірусів, вивчає також інші інфекційні неклітинні форми живого – віроїди та пріони.
- Віроїди – інфекційні частинки, які становлять собою кільцеві одноланцюгові молекули РНК, які не кодують білків. Вони спричиняють інфекційні захворювання рослин, які передаються при механічних ушкодженнях хазяїв. В інфікованій клітині віроїд усередині ядра або хлоропласта використовує клітинний фермент РНК-полімеразу для відтворення власних молекул.
- Пріони – інфекційні білкові частинки, які спричиняють довготривалі інфекційні захворювання нервової системи, що закінчуються загибеллю організму хазяїна.
- Пріони в організмі можуть з'являтись унаслідок інфікування чи успадкування або самочинно утворюватися без впливу будь-яких чинників.
- В організмі людини та тварин знайдений близький до пріонного закодований у ДНК білок. Отже, пріон – це особлива форма природного білка.

Запитання для самоконтролю

1. Що собою становлять віроїди? В організмах видів якого царства живої природи вони паразитують? 2. Що спільного та відмінного у будові РНК еукаріотів та віроїдів? 3. Як віроїди проникають в організм рослини? 4. Що таке пріони? 5. Які причини виникнення пріонних захворювань? 6. В організмах яких видів паразитують пріони? 7. Які шляхи поширення пріонних інфекцій?

Поміркуйте: *внаслідок порівнянь між собою віроїдів, пріонів і вірусів знайдіть їхні спільні та відмінні риси.*

Завдання для роботи в групі

Використовуючи різноманітні джерела інформації, докладно ознайомтеся з життєвими циклами таких поширених вірусних захворювань, як грип і ВІЛ/СНІД. Закріпіть знання щодо профілактики ВІЛ/СНІДу та інших вірусних хвороб, обговоривши свої дослідження у групі.

ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

І. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ПРАВИЛЬНУ

1. **Визначте, як називають науку, яка вивчає будову та властивості вірусів, шляхи їхньої передачі від одного хазяїна до іншого, способи лікування і профілактики вірусних інфекцій:** *а) біотехнологія; б) цитологія; в) біохімія; г) вірусологія.*
2. **Назвіть сполуки, які входять до складу простих вірусів:** *а) білок і нуклеїнова кислота; б) лише нуклеїнова кислота; в) білок, нуклеїнова кислота і ліпіди; г) білок, нуклеїнова кислота і вуглеводи.*
3. **Віруси розмножуються за допомогою:** *а) партеногенезу; б) статевим шляхом; в) самозбирання; г) брунькування.*
4. **Назвіть прізвище ученого, який відкрив віруси:** *а) Е. Дженнер; б) Л. Пастер; в) Д. Івановський; г) Дж. Уотсон.*
5. **Укажіть властивості, за якими віруси відносять до живого:** *а) відсутність власних систем, здатних синтезувати білки; б) можливість кристалізації; в) наявність власного спадкового матеріалу; г) наявність органел.*

6. **До складу вірусних частинок входить:** *а) тільки ДНК; б) тільки РНК; в) або ДНК, або РНК; г) одночасно і ДНК, і РНК.*

II. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ДВІ ПРАВИЛЬНІ

1. **Визначте віруси, які належать до ДНК-вмісних:** *а) бактеріофаг Т4; б) вірус тютюнової мозаїки; в) вірус імунодефіциту людини; г) вірус герпесу.*
2. **Назвіть віруси, які належать до складних:** *а) вірус грипу А; б) вірус тютюнової мозаїки; в) вірус поліомієліту; г) вірус імунодефіциту людини.*
3. **Зазначте віруси, у поширенні яких беруть участь тварини (комахи, кліщі або круглі черви):** *а) вірус грипу; б) вірус тютюнової мозаїки; в) вірус кліщового енцефаліту; г) вірус герпесу.*
4. **Зазначте неклітинні форми життя, які складаються лише з білків або молекули нуклеїнової кислоти:** *а) бактеріофаги; б) віроїди; в) пріони; г) парвовіруси.*
5. **Назвіть віруси-паразити клітин людини:** *а) вірус огіркової мозаїки; б) вірус кліщового енцефаліту; в) вірус тютюнової мозаїки; г) вірус герпесу.*
6. **Назвіть сполуки, які можуть входити до складу оболонки складних вірусів:** *а) ДНК; б) ліпіди; в) РНК; г) вуглеводи.*

III. ЗАВДАННЯ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

1. **Порівняйте ознаки, притаманні пріонам, вірусам, а також клітинам прокаріотів та еукаріотів:**

Біологічні системи	Ознаки
А Віруси Б Пріони В Клітина прокаріотів Г Клітина еукаріотів	1 Складаються лише з молекули нуклеїнової кислоти 2 Містять нуклеоїд 3 Містять ендоплазматичну сітку 4 Складаються з білків та молекули нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК) 5 Складаються лише з білкової молекули

2. **Порівняйте особливості організації пріонів, віроїдів, простих і складних вірусів:**

Біологічні системи	Ознаки
А Віруси прості Б Віруси складні В Пріони Г Віроїди	1 Складаються тільки з молекули білка 2 Складаються з молекул білків та нуклеїнової кислоти 3 Складаються тільки з молекули нуклеїнової кислоти 4 Складаються з молекул білків, ліпідів, вуглеводів і нуклеїнової кислоти

IV. ЗАПИТАННЯ З ВІДКРИТОЮ ВІДПОВІДДЮ

1. *Чи могли віруси бути першими формами живої матерії, які з'явилися на нашій планеті? Відповідь обґрунтуйте.*
2. *Чому розмноження вірусів можливе лише у клітині-хазяїні?*
3. *Чому проти багатьох вірусних інфекцій не вдається створити ефективні вакцини?*
4. *Які можливі наслідки паразитування в одній клітині двох чи більше видів вірусів?*
5. *Чому пріонові хвороби характеризуються тривалим прихованим (латентним) періодом?*
6. *Чи могли віроїди виникнути внаслідок спрощення будови вірусних частинок?*
7. *Які заходи можуть забезпечити повну ліквідацію ВІЛ на планеті? Чи можливо це взагалі?*

ТЕМА 2. ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ

- *особливості будови та процесів життєдіяльності одноклітинних прокаріотичних та еукаріотичних організмів;*
- *відмінності між прокаріотами та одноклітинними еукаріотами;*
- *колонії одноклітинних організмів;*
- *роль одноклітинних організмів у природі;*
- *значення одноклітинних організмів для людини та її господарства;*
- *значення мікробіологічної промисловості для людини.*

§ 35. ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ТА ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ПРОКАРІОТИЧНИХ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте: *що собою становлять клітини прокаріотів та які їхні основні відмінності від клітин еукаріотів? Що таке поділ і брунькування клітини? Які відмінності між автотрофними, гетеротрофними та міксотрофними організмами? Що таке симбіоз та які його форми? Що таке фотосинтез і хемосинтез?*

• Різноманітність прокаріотів. Як вам уже відомо, характерними рисами прокаріотів є особливості їхньої клітинної будови. Вони не мають ядра, пластид, мітохондрій, комплексу Гольджі, ендоплазматичної сітки, лізосом.

Прокаріоти – одноклітинні чи колоніальні організми, розміри яких зазвичай не перевищують 10–20 мкм. Розмножуються лише нестатево (в окремих представників відомий обмін спадковою інформацією у формі кон'югації). Прокаріотів і одноклітинних еукаріотів через їхні малі розміри можна вивчати лише за допомогою світлового чи електронного мікроскопів. Тому вони дістали загальну назву ***мікроорганізми***. Їх вивчає наука ***мікробіологія***.

З основними групами надцарства Прокаріотів (схема 35.1) ви попередньо ознайомилися під час вивчення § 23.

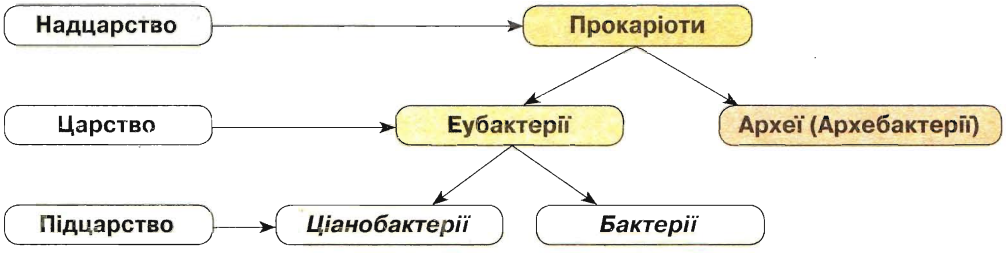
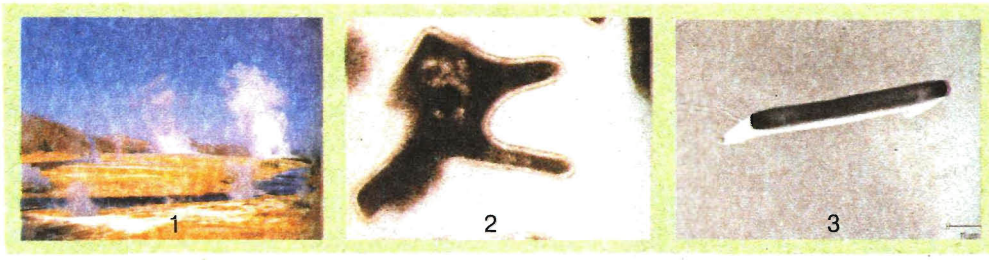


Схема 35.1. Система прокаріотичних організмів

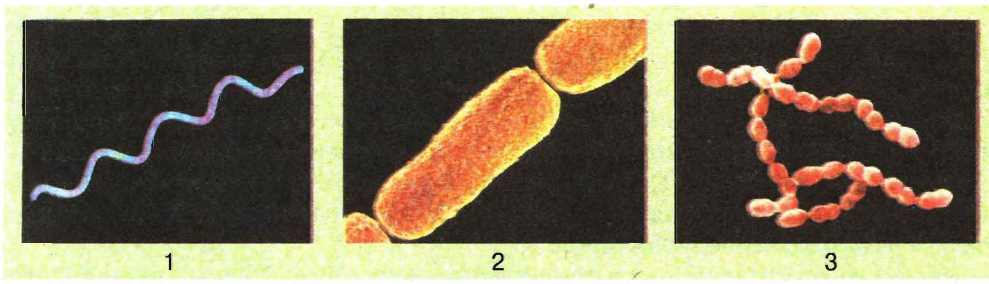


Мал. 35.1. 1. Гарячі джерела з температурою води понад +100 °С – місця мешкання термофільних (теплолюбних) архебактерій; 2, 3 – електронно-мікроскопічні фотографії термофільних архебактерій

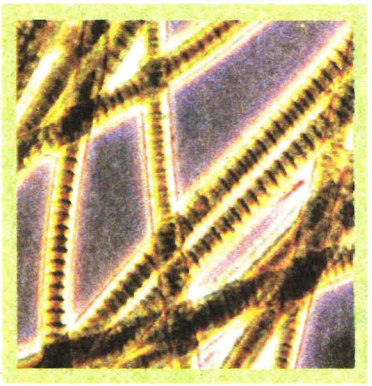
Царство Археї (Архебактерії) – група мікроорганізмів, які за особливостями будови та процесів життєдіяльності відрізняються від інших прокаріотів – справжніх бактерій. У них інша будова клітинної стінки, дещо інший хімічний склад плазматичної мембрани. Водночас для спадкового матеріалу архебактерій характерні ознаки, властиві й еукаріотам (наприклад, деякі нуклеотидні послідовності, наявність екзонів та інтронів у генах). Особливості будови клітинної стінки дають змогу деяким архебактеріям мешкати в екстремальних умовах. Зокрема, певні види виявляють у гарячих джерелах за температури +85...+105 °С (мал. 35.1).

Серед архебактерій є як гетеротрофні, так і автотрофні види, здатні до хемо- або фотосинтезу. Цікаві гетеротрофні метаноутворюючі бактерії. Вони мешкають в анаеробних ділянках перезволожених ґрунтів, на болотах, у мулі водойм, зокрема очисних споруд, у рубці (частина шлунка) жуйних тварин. У деяких країнах культури цих бактерій використовують для отримання біогазу з органічних відходів у промислових обсягах.

До царства ***Еубактерії***, або **Справжні бактерії**, належать різноманітні за формою клітин (мал. 35.2) та особливостями процесів життєдіяльності прокаріоти, яких налічують близько 30 тис. видів. Серед них відомі одноклітинні та колоніальні (стрептококи, стафілококи тощо) форми. Одні із цих бактерій нерухомі, інші здатні пересуватися за допомогою джгутиків чи виділяючи слиз. У деяких бактерій рух досить швидкий; відомі клітини, що за секунду здатні долати відстань, яка дорівнює приблизно 20 їхнім діаметрам.



Мал. 35.2. Різні форми клітин бактерій: 1 – спірила (паличкоподібна клітина, закручена у вигляді спіралі); 2 – ланцюжок клітин бацил (паличкоподібна форма); 3 – колонія стрептококів (з бактеріальних кулястих клітин – коків)



Мал. 35.3. Нитчасті ціанобактерії роду Осцеляторія

Особливе місце серед справжніх бактерій належить *ціанобактеріям*, яких налічують понад 2 тис. видів (мал. 35.3). Тривалий час, на підставі того, що ці прокаріоти, подібно до водоростей і вищих рослин, здійснюють фотосинтез за допомогою хлорофілу ***a*** з виділенням кисню, їх відносили до царства Рослини під назвою «синьо-зелені водорості». Але клітинна стінка ціанобактерій містить сполуку муреїн, притаманну прокаріотам. Зовні від стінки розташований шар з пектинових речовин і білків, зокрема скоротливих. Ядро відсутнє. За рахунок вп'ячувань плазматичної мембрани утворюються поодинокі тилакоїди, в яких розташований фотосинтетичний апарат.

Ціанобактерії мешкають переважно у прісних водоймах та ґрунті, деякі – у морях; відомі види, здатні вступати у тісне співжиття (симбіоз) з іншими організмами (наприклад, разом з грибами можуть входити до складу лишайників, трапляються в клітинах діатомових водоростей). Окремі клітини та колонії забарвлені в різні кольори – від синьо-зеленого, звідки й походить стара назва, до червоного, чорного тощо. Таке забарвлення є наслідком одночасної присутності в клітині хлорофілу та інших яскраво забарвлених пігментів.

• **Особливості процесів життєдіяльності прокаріотів. Живлення.** Серед прокаріотів відомі гетеротрофи (сапротрофи, паразити, мутуалісти, коменсали тощо) та автотрофи (фототрофи та хемотрофи). Фототрофів серед справжніх бактерій небагато: зелені, пурпурові бактерії тощо. Їхні клітини забарвлені в різні кольори: червоний, помаранчевий, зелений завдяки особливим пігментам. Як донор електронів для відновлення фотосинтезуючих пігментів вони, на відміну від ціанобактерій, використовують не воду, а інші сполуки: H_2S, H_2, певні органічні речовини. Тому під час бактеріального фотосинтезу кисень не виділяється.

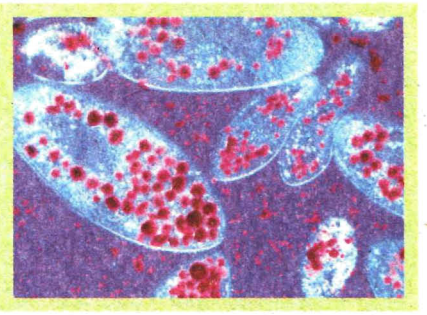
До хемотрофів належать нітрифікуючі бактерії, залізобактерії, безбарвні сіркобактерії тощо. Ми вже згадували, що для енергетичного забезпечення хемосинтезу ці прокаріоти окиснюють певні неорганічні сполуки. Наприклад, аміак (NH_3) до солей нітритної кислоти (HNO_2) – нітритів; нітрити до нітратів (солі нітратної кислоти – HNO_3); різні сполуки Сульфуру до сульфатів; сполуки двовалентного Феруму (Fe^{2+}) до тривалентного (Fe^{3+}).

Серед гетеротрофних бактерій є **сапротрофи** – організми, здатні використовувати для живлення різні відмерлі організми та продукти життєдіяльності (гній та ін.). До них належать бактерії гниття, бродіння тощо. Слід зазначити, що в природі не існує жодної органічної речовини, яку не могли б розщеплювати бактерії.

Бактерії здатні існувати в різних формах симбіозу. Різноманітні паразитичні види спричинюють захворювання людини, тварин, грибів і рослин. Натомість, мешкання в еукаріотичному організмі мутуалістичних бактерій корисне для обох партнерів. Пригадайте приклади взаємовигідних

зв'язків прокаріотів та еукаріотів: бульбочкових бактерій з бобовими рослинами, бактерій травної системи рослиноїдних тварин, кишкової палички кишечнику людини.

Цікавий приклад симбіозу спостерігають між інфузоріями з роду Парамеціум і певними видами бактерій (мал. 35.4). У клітині-хазяїні ці бактерії виробляють токсичну речовину, яка виділяється назовні, де вбиває інших інфузорій цього виду. Гинуть ті інфузорії, які позбавлені симбіотичних бактерій. У цьому разі вони стають чутливими до отрути.



Мал. 35.4. Одноклітинні еукаріоти – інфузорії роду Парамеціум із сімбіотичними бактеріями

Дихання. Для одних видів прокаріотів характерне аеробне дихання (з використанням атмосферного кисню), для інших – анаеробне (без використання кисню). Зокрема, до анаеробних видів належать бактерії, здатні спричиняти різні види бродіння: молочнокисле, маслянокисле та ін.

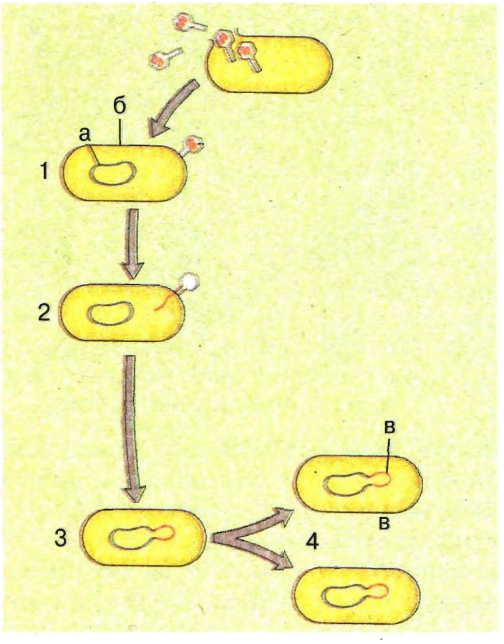
Розмноження прокаріотів. Клітини прокаріотів розмножуються лише нестатево: поділом навпіл, зрідка – брунькуванням. Перед поділом клітина збільшується в розмірах, її спадковий матеріал (молекула ДНК) подвоюється та рівномірно розподіляється між дочірніми клітинами. Таким чином, кожна з дочірніх клітин, які утворилися внаслідок поділу материнської, отримує свою частину носія спадкової інформації – кільцеву молекулу ДНК (мал. 35.5, 1).

Обмін спадковою інформацією між двома клітинами бактерій можливий за допомогою ***кон'югації***. При цьому генетичний матеріал від однієї клітини передається до іншої (мал. 35.5, 2). Кон'югація відбувається за прямого контакту двох клітин. Дослідження показали, що не всі клітини бактерій здатні передавати частину свого спадкового матеріалу іншим. Для цього в клітині має бути присутня особлива плазміда – кільцева дволанцюгова молекула ДНК.

Перед перенесенням з клітини-донора до клітини-реципієнта молекула ДНК подвоюється і та з них, яка щойно синтезувалася, наче проштовхується всередину клітини-реципієнта. Після цього у клітині-реци-



Мал. 35.5. I – Етапи поділу бактеріальної клітини. II – Процес кон'югації в бактерій (1 – ДНК ядерної зони; 2 – плазміда)



Мал. 35.6. Спадкова інформація бактерій може змінюватись за участі вірусів-бактеріофагів (а – молекула ДНК у ядерній зоні, б – клітинна стінка, в – спадкова інформація бактеріофага, вбудована в молекулу бактерії): 1 – бактеріофаг прикріплюється до клітинної стінки бактерії; 2 – молекула ДНК бактеріофага проникає в клітину; 3 – ДНК бактеріофага вбудовується в молекулу ДНК бактерії; 4 – при поділі бактерії дочірні клітини отримують разом із ДНК материнської клітини частину спадкової інформації бактеріофага

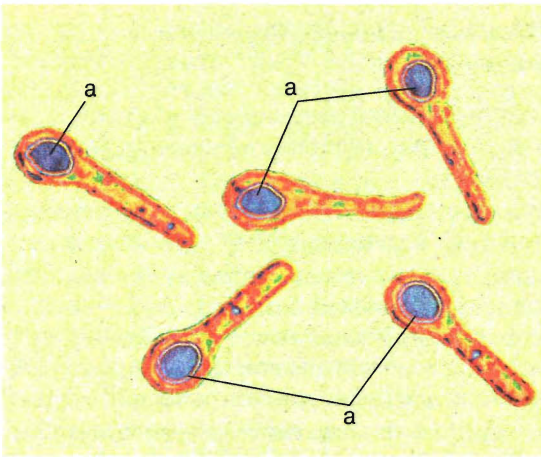
пієнті відбувається обмін ділянками між молекулою ДНК, яка надійшла від клітини-донора, і молекулою ДНК ядерної зони. Процес кон'югації сприяє підвищенню здатності прокаріотів пристосовуватися до змін у навколишньому середовищі. Наприклад, якщо в одному середовищі перебувають клітини бактерій, стійкі до певного антибіотика й нестійкі до нього, то через певний час завдяки кон'югації клітини, які були нестійкі до дії антибіотика, можуть набути такої стійкості.

Обмін спадковою інформацією між клітинами бактерій можливий і без безпосереднього контакту між ними, зокрема за участі бактеріофагів (мал. 35.6). Ці віруси під час подвоєння власної ДНК включають ділянки молекули ДНК однієї клітини і переносять їх в іншу.

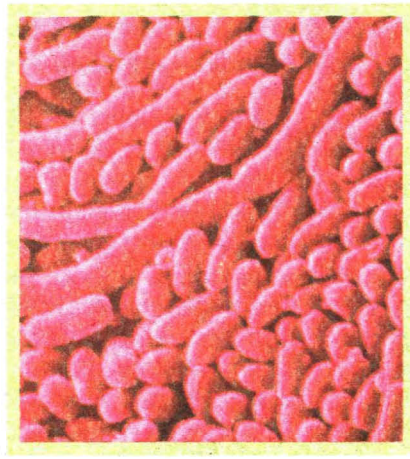
Спадкова інформація від однієї бактерії до іншої також може передаватись і на відстані за участі розчинних ДНК, що переходять від клітини до клітини. Цей процес дістав назву ***трансформація***.

• **Стратегія розмноження прокаріотів.** Прокаріотам притаманна здатність до високих темпів розмноження (клітини за сприятливих умов здатні поділятися кожні 20–30 хв) і росту. Це врівноважує незначні розміри та масу кожного окремого організму, сприяє повнішому використанню ресурсів довкілля. Зниженню конкуренції з боку інших мікроорганізмів сприяє і виділення певними видами біологічно активних речовин. Наприклад, молочнокислі бактерії підвищують кислотність середовища (знижують його pH) до рівня, за якого припиняються ріст і розмноження інших бактерій.

• **Переживання несприятливих умов.** Ви вже знаєте, що за настання несприятливих умов у багатьох видів прокаріотів відбувається ***спороутворення*** (мал. 35.7). Усередині спори в цитоплазмі зменшується вміст води, і всі життєві процеси припиняються. Спори дуже стійкі до дії високих температур, іонізуючого опромінення, токсичних хімічних сполук тощо.



Мал. 35.7. Спори (а), утворені всередині клітини бактерій роду Клостридіум



Мал. 35.8. Колонія справжніх бактерій

Потрапивши в сприятливі умови, вони «проростають», тобто бактеріальна клітина покидає оболонку спори. Таким чином, спори прокаріотів не є формою розмноження, а слугують для збереження життєздатності за несприятливих умов.

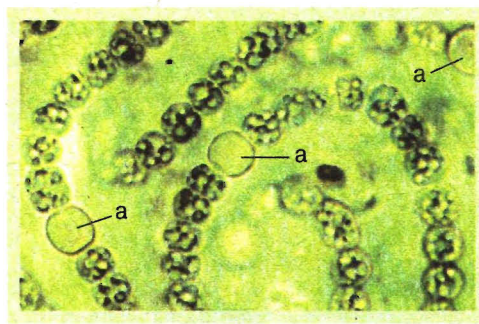
Деякі прокаріоти здатні до ***інцистування*** (від лат. *ін* – в, всередині та грец. *кистіс* – міхур), за якого щільною оболонкою вкривається вся клітина. Цисти прокаріотів стійкі до дії радіації, висушування, але нестійкі до перегрівання.

Спори та цисти слугують для поширення прокаріотів за допомогою вітру, води, живих організмів, забезпечення зараження хазяїв.

• **Колоніальні прокаріоти.** Прокаріоти здатні утворювати колонії різної форми. Колонія прокаріотів становить собою групу з'єднаних між собою клітин (мал. 35.8). Колонії можуть утворюватися за рахунок того, що після поділу материнської клітини дочірні ще певний час залишаються зв'язаними між собою, утворюючи ланцюжки, грона, пакети тощо. Колонії бактерій можуть бути оточені своєрідним чохлом – капсулою зі слизу.

У ціанобактерій на відміну від колоній справжніх бактерій сусідні клітини пов'язані цитоплазматичними містками, які проходять крізь отвори в оболонках клітин.

Крім того, у ціанобактерій поширена диференціація клітин, зокрема наявні особливі клітини, вкриті додатковими оболонками, в яких відбувається засвоєння атмосферного азоту (мал. 35.9).



Мал. 35.9. Нитчаста ціанобактерія роду Анабена. Зверніть увагу на особливі клітини (а), оточені додатковими оболонками, які здатні фіксувати атмосферний азот

Ключові терміни та поняття. ***Мікроорганізми, мікробіологія, кон'югація, спороутворення, інцистування.***

Коротко про головне

- До прокаріотів належать одноклітинні та колоніальні організми. Клітини прокаріотів не мають ядра, пластид, мітохондрій і більшості одномембранних органел.
- Прокаріотів та одноклітинних еукаріотів через їхні малі розміри називають мікроорганізмами. Їх вивчає наука мікробіологія.
- Прокаріоти – особливе надцарство живих організмів, до якого належать царства Архебактерії та Справжні бактерії. Архебактерії відрізняються від справжніх бактерій особливостями будови клітинної стінки та організацією спадкового матеріалу. Серед архебактерій є аероби та анаероби, автотрофні та гетеротрофні види.
- До царства Справжні бактерії належать бактерії та ціанобактерії. На відміну від архебактерій, до складу їхньої клітинної стінки входить особлива сполука муреїн.
- Серед справжніх бактерій є гетеротрофи (сапротрофи, паразити, мутуалістичні види, коменсали) та автотрофи (фототрофи та хемотрофи). Фототрофи – це зелені бактерії, пурпурові сірчані та несірчані бактерії, ціанобактерії. До хемотрофів належать нітрифікуючі бактерії, залізобактерії, безбарвні сіркобактерії тощо.
- Клітини прокаріотів розмножуються лише нестатево: поділом навпіл, зрідка – брунькуванням. У деяких видів існує обмін спадковою інформацією у вигляді кон'югації. Прокаріотам притаманна здатність до високих темпів розмноження (клітини за сприятливих умов здатні поділятися кожні 20–30 хв).
- За настання несприятливих умов деякі види утворюють спори або цисти. Спори та цисти слугують для поширення прокаріотів за допомогою вітру, води, живих організмів та зараження хазяїв.

Запитання для самоконтролю

1. Які організми називають прокаріотами? 2. Які групи виділяють у межах надцарства Прокаріоти? 3. Чим відрізняються Архебактерії та Справжні бактерії? 4. Які особливості організації ціанобактерій? 5. Які типи живлення притаманні прокаріотам? 6. Які способи дихання спостерігають у прокаріотів? 7. Які способи розмноження відомі у прокаріотів? 8. Яке біологічне значення спороутворення та інцистування у прокаріотів?

Поміркуйте. *Чому бактеріальний фотосинтез відбувається без виділення кисню?*

§ 36. РОЛЬ ПРОКАРІОТІВ У ПРИРОДІ ТА ЖИТТІ ЛЮДИНИ

Пригадайте: *що таке біотехнологія? У яких галузях господарства людини застосовують різні види бродіння? Що таке екосистема, біосфера, колообіг речовин? Що таке антибіотики, біологічний метод боротьби зі шкідливими видами?*

• **Роль прокаріотів у біосфері.** Ми вже згадували, що різні види прокаріотів поширені майже скрізь, де на нашій планеті існує життя. Мікроорганізми мешкають у ґрунтах, водоймах, інших живих організмах, їхні

спори та цисти виявлені на значній висоті в атмосфері. Так, в 1 г родючого вологого ґрунту або 1 мл води забруднених органікою водойм знайдено мільйони клітин бактерій та ціанобактерій. Прокаріоти здатні постійно існувати в умовах, де інші організми не трапляються (гарячі джерела, нафтоносні пласти на глибинах до кількох кілометрів тощо).

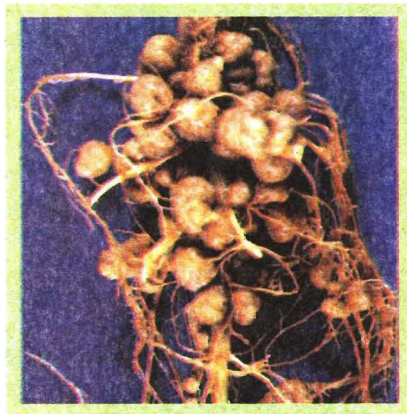
Чи замислювалися ви над тим, що без прокаріотів існування біосфери було б неможливе? Ви вже знаєте, що головною умовою існування біосфери як єдиної екосистеми нашої планети є здійснення колообігу речовин. **Пригадайте:** *колообіг речовин – це обмін хімічними сполуками між живою (організми) та неживою частинами екосистем.* І саме без прокаріотів, здатних розкладати органічні речовини до неорганічних, колообіг речовин був би неможливий. Зокрема, це стосується важливих для живих організмів сполук Карбону, Нітрогену, Сульфуру, Фосфору, Феруму. Розкладаючи органічні сполуки, бактерії утворюють велику кількість CO_2, необхідного для процесу фотосинтезу.

За участі прокаріотів з різноманітних органічних сполук утворюються речовини (гумусні кислоти тощо) найродючішого (гумусового) шару ґрунту. Ціанобактерії збагачують ґрунт і водойми киснем (O_2).

Санітарна роль прокаріотів полягає в тому, що, розкладаючи мертві організми та продукти життєдіяльності, вони звільняють поверхню нашої планети від цих решток. Прокаріоти беруть участь у процесах самоочищення водойм: живлячись органічними речовинами, вони зменшують їхній вміст у воді та мулі.

Завдяки діяльності бактерій-хемосинтетиків, яка триває вже близько 4 мільярдів років, у земній корі утворилися поклади залізних руд, сполук Сульфуру та деяких інших корисних копалин. Наявності запасів основних енергоємних речовин сьогодення – нафти та газоподібних вуглеводнів, зокрема метану, як припускають вчені, ми завдячуємо діяльності певних груп бактерій.

Деякі ґрунтові (вільноживучі та бульбочкові) бактерії-азотфіксатори здатні засвоювати з повітря атмосферний азот і включати його до складу різних синтезованих ними органічних сполук, насамперед білків. Через кореневі волоски проростка бульбочкові бактерії потрапляють у тканини кореня і, виділяючи особливі сполуки, спричиняють їхнє розростання у вигляді бульбочок (мал. 36.1). Ці бактерії постачають рослині сполуки Нітрогену, отримуючи натомість органічні сполуки, переважно цукри.



Мал. 36.1. Бульбочки на коренях бобової рослини

В особливому відділі шлунка (рубці) жуйних парнокопитних (корів, овець, кіз) бактерії розщеплюють целюлозу до цукрів, бо самі тварини не виробляють необхідних ферментів.

Ціанобактерії в симбіозі з грибами утворюють лишайники. Вони синтезують органічні речовини, які споживає гриб, а той постачає клітинам ціанобактерій воду і мінеральні сполуки, а також створює умови для фотосинтезу.



Мал. 36.2. Безхребетні глибоководні тварини вестиментифери

На дні глибоководних океанічних западин часто з товщі земної кори у воду виділяються отруйні гази – сірководень і метан. Однак їх одразу поглинають придонні червоподібні тварини з науковою назвою *вестиментифери*, що не мають органів травлення (мал. 36.2). У тілі тварини є особливий орган, заповнений хемотрофними бактеріями, які окиснюють ці сполуки. Кров постійно приносить бактеріям кисень, сірководень чи метан, а від прокаріотів до неї надходять синтезовані органічні речовини, потрібні для побудови та живлення тканин тварини. Вестиментиферами живляться глибоководні ракоподібні, риби та інші тварини. Так на дні морів існують своєрідні екосистеми, роль продуцентів у яких відіграє мутуалістичний комплекс хемосинтезуюча бактерія – гетеротрофна тварина.

• **Роль прокаріотів у житті та господарстві людини.** У кишечнику людини завжди присутні певні види бактерій (кишкова паличка та ін.), які сприяють травленню, синтезують деякі вітаміни (B_6, B_{12}, К), запобігають розмноженню хвороботворних мікроорганізмів.

Ми вже згадували, що прокаріотів, здатних спричиняти різні типи бродіння, людина з давнини використовує у своєму господарстві для отримання різних необхідних речовин: молочних продуктів (масла, сирів, йогуртів та ін.), органічних кислот, квашених овочів, силосованих кормів тощо. Прокаріоти є звичними об'єктами біотехнології.

Біотехнологія *(від грец. біос – життя, технікос – майстерний, вправний та логос – наука, вчення) – галузь, яка розробляє методи використання живих організмів або біологічних процесів у промисловості, сільському господарстві та інших галузях господарства. Біотехнологи провадять селекцію різноманітних організмів, зокрема отримують нові штами вірусів та прокаріотів.*

Штам *(від. нім. штамм – стовбур, сім'я, плем'я) – штучна популяція (культура) вірусів або мікроорганізмів, зазвичай отриманих унаслідок розмноження окремих клітин, виділених з певного джерела або отриманих унаслідок штучних мутацій.*

Один з важливих напрямів біотехнології – фармакологічна промисловість, мета якої – створення і виробництво лікарських препаратів. Зокрема, різні види бактерій поряд з мікроскопічними грибами використовують для отримання антибіотиків, вітамінів, гормонів, ферментів тощо. Сучасні методики дають змогу переносити в клітини бактерій гени еукаріотів, які відповідають за синтез певних сполук. Так, у спадковий матеріал бактерій були введені гени, які кодують вироблення інсуліну, гормони росту, захисні білки-інтерферони тощо.

Біотехнологічні процеси застосовують для очищення навколишнього середовища, зокрема ґрунтів, водойм, стічних вод від побутових і промислових забруднень. Методи біологічного очищення базуються на здатності

сапротрофних бактерій розкладати органічні сполуки. Унаслідок селекційної роботи виведено штами мікроорганізмів, здатних розкладати відходи промислового виробництва. Деякі види бактерій здатні вибірково поглинати з довкілля ті чи інші цінні для господарства речовини і накопичувати їх у своїх клітинах. Особливі біотехнології дають змогу вилучати та очищувати ці сполуки.

Уміле застосування препаратів спор штамів певних мікроорганізмів (біопрепарати) дає можливість без шкоди довкіллю знижувати чисельність шкідливих видів, тварин і рослин.

• **Багато прокаріотів завдають шкоди здоров'ю та господарству людини.** Так, масове розмноження ціанобактерій у неглибоких прісних водоймах, що добре прогріваються, зокрема водосховищах, водоймах-охолоджувачах теплових та атомних електростанцій, ставках тощо, спричиняє «цвітіння» води, яка стає непрозорою (мал. 36.3). Ціанобактерії виділяють у воду отруйні речовини, які можуть спричиняти масову загибель мешканців водойм. Така вода непридатна для пиття, а купання в ній може призвести до отруєння або алергічних реакцій.

Серед бактерій є багато паразитичних видів, які, оселяючись в організмах людини, тварин і рослин, спричиняють різноманітні, часто смертельно небезпечні захворювання. Хвороботворні бактерії швидко розмножуються, при цьому продукти їхньої життєдіяльності отруюють хазяїна, що призводить до різних порушень в організмі та навіть смерті. На органах рослин, уражених бактеріями, можуть виникати плями, пухлини тощо, вони можуть загнивати та відмирати.

Найвідоміші бактеріальні захворювання людини – ангіна, дизентерія, дифтерія, туберкульоз, холера, тиф, скарлатина та багато інших, тварин – сибірка, бруцельоз тощо. Бактеріальні захворювання лікують за допомогою антибіотиків або лікувальних сироваток.

Для здоров'я та життя людини і тварин становлять небезпеку бактерії-лептоспіри, які часто трапляються у стоячих водоймах. Потрапляння лептоспіри в організм людини та тварин призводить до гострої пропасниці і навіть смерті. Тому у водоймах, у яких виявлено лептоспіру, купатися заборонено, а воду з них не слід вживати ні для яких господарчих потреб.

До організму хазяїна мікроорганізми проникають такими шляхами:

– через шлунково-кишковий тракт разом з їжею чи питвом – бактерії – збудники сальмонельозу (черевного тифу), дизентерії, холери, чуми;

– через дихальні шляхи з повітрям – збудники туберкульозу, ангіни, пневмонії, дифтерії, чуми;

– через пошкодження покривів – бактерії, що паразитують у шкірі, нігтях тощо;



Мал. 36.3. «Цвітіння» води, спричинене ціанобактеріями. Це явище небезпечне для інших мешканців водойм, а також для здоров'я людини

– під час статевих контактів – збудники сифілісу, гонореї, хламідіозу та інших венеричних захворювань;

– за допомогою комах і кліщів-переносників. Так, збудника чуми переносять пацюкові блохи, а висипного тифу – людські воші. Хатні мухи на поверхні тіла та в кишечнику переносять збудників дизентерії, сальмонельозу, туберкульозу зі смітників та інших подібних місць у людські оселі, на продукти харчування тощо.

Певні види бактерій псують продукти харчування, роблячи їх непридатними до вжитку та отруйними. Так, бактерія ботулізму може розвиватись у різноманітних консервованих продуктах, рибі, ковбасах, істотно не змінюючи їхній зовнішній вигляд та смакові якості. Спори не гинуть навіть при кип'ятінні впродовж 5 годин та можуть зберігати життєздатність у ґрунтах чи водоймах багато років. Її токсин викликає важке отруєння (ботулізм); він насамперед діє на нервову систему та м'язи, спричиняє втрату голосу, запаморочення, порушує зір, процеси травлення та дихання. Якщо хворій людині своєчасно не ввести особливу сироватку та препарати – *антидоти* (від грец. *антидотон* – те, що діють проти чогось), які знешкоджують отруйні речовини, може настати смерть. Тому під час консервування продуктів слід суворо дотримувати технологій пастеризації чи стерилізації.

Стерилізація *(від лат. стеріліс – безплідний) – процес повного знищення мікроорганізмів та їхніх спор. Поширеним методом стерилізації є дія високих температур (+100 °С і вище). Для стерилізації також застосовують ультрафіолетові промені, ультразвук, хімічні сполуки тощо.*

Пастеризація *полягає в тому, що для тривалого зберігання різноманітних продуктів (молочнокислих, пива, соків тощо) їх піддають тепловій обробці за температури +60...70 °С протягом півгодини, а потім швидко охолоджують. Цей процес повторюють протягом 3 діб. У результаті спори мікроорганізмів, які могли утворитися під час попередньої обробки, гинуть при наступній. Цю технологію запропонував видатний французький мікробіолог Луї Пастер (1822–1895), тому вона отримала його ім'я.*

Небезпечне захворювання органів травлення людини та тварин (черевний тиф, або *сальмонельоз*) спричиняють бактерії *сальмонели*. Їхні спори тривалий час можуть зберігатись у зовнішньому середовищі та харчових продуктах.

• **Профілактика інфекційних захворювань.** Аби запобігти поширенню хвороботворних бактерій, хворих людей і тварин необхідно ізолювати від здорових до повного одужання та очищення організму від збудників. Ці заходи мають назву ***карантин***. Інші заходи попередження розповсюдження хвороботворних бактерій – це профілактичні щеплення. Їх здійснюють для запобігання захворюванням на дифтерію, правець та ін. Хворих людей і тварин лікують за допомогою антибактеріальних препаратів, зокрема лікувальних сироваток.

Профілактика *– засоби, спрямовані на попередження захворювань та збереження здоров'я. Зокрема, до них належить організація боротьби з комахами та кліщами – переносниками збудників захворювань.*

Ключові терміни та поняття. ***Штам, стерилізація, пастеризація, карантин, профілактика.***

Коротко про головне

- У біосфері сапротрофні бактерії розкладають рештки та продукти життєдіяльності організмів до неорганічних та органічних сполук. Тим самим вони забезпечують колообіг речовин у природі, зокрема підтримання родючості ґрунтів, у тому числі існування гумусового шару. Прокаріоти беруть участь у процесах самоочищення водойм: живлячись органічними речовинами, вони зменшують їхній вміст у воді та мулі. Азотфіксуючі бактерії збагачують ґрунти сполуками Нітрогену, а ціанобактерії – одні з основних фотосинтетиків – постачальників кисню у водоймах.
- Завдяки діяльності бактерій утворилися поклади корисних копалин: залізних руд, нафти тощо.
- Прокаріотів, здатних спричиняти різні типи бродіння, використовують для отримання молочних продуктів, органічних кислот, квашених овочів, силосованих кормів тощо. Прокаріоти є звичними об'єктами досліджень у галузі біотехнології – науки, яка розробляє методи використання живих організмів або біологічних процесів у промисловості, сільському господарстві, зокрема для очищення навколишнього середовища від побутових і промислових забруднень та у біологічному методі боротьби зі шкідливими для людини організмами.
- Багато прокаріотів завдають шкоди здоров'ю та господарству людини. Так, «цвітіння» водойм, спричинене певними видами ціанобактерій, робить воду непридатною для пиття та побутових потреб, а токсини цих прокаріотів викликають масову загибель організмів водних екосистем.
- Серед бактерій є багато паразитичних видів, здатних спричиняти небезпечні захворювання людини, свійських тварин чи культурних рослин. Сапрофітні бактерії вражають продукти харчування, виробляючи небезпечні токсичні сполуки.

Запитання для самоконтролю

1. З якою метою людина використовує прокаріотів у господарстві? 2. Чому біологічний метод боротьби зі шкідниками має перевагу перед застосуванням отрутохімікатів? 3. Що таке біотехнологія? 4. Яку роль мікроорганізми відіграють у забезпеченні родючості ґрунтів? 5. У чому полягає значення ґрунтових прокаріотів, здатних фіксувати атмосферний азот? 6. Що таке «цвітіння» води та яке його значення? 7. Які захворювання людини та свійських тварин спричиняють бактерії?

Поміркуйте. *Яка роль прокаріотів в утворенні гірських порід та підтриманні постійності газового складу атмосфери?*

§37. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ОДНОКЛІТИННИХ ЕУКАРІОТІВ

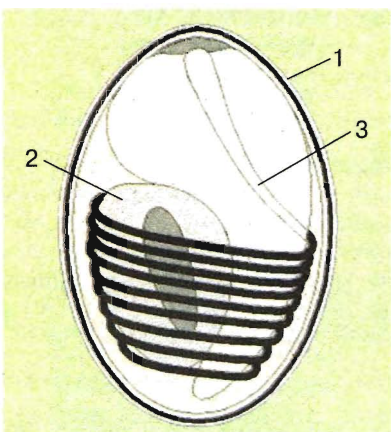
Пригадайте: *які систематичні групи одноклітинних еукаріотів вам відомі? Що таке мітоз і мейоз? Яка будова надмембранних і підмембранних комплексів еукаріотичної клітини?*

1866 року видатний німецький біолог Ернст Геккель на відміну від багатоклітинних тварин і рослин виділив так зване третє царство – **Протисти** (від грец. *протистос* – найперший). До цього царства він відніс усіх одноклітинних організмів. Частина сучасних учених вживає цей термін як назву нетканинного рівня організації (тобто тканини, утворені спеціалізованими клітинами та продуктами їхньої секреції, відсутні) переважно одноклітинних еукаріотичних організмів – рослин, тварин і грибів.

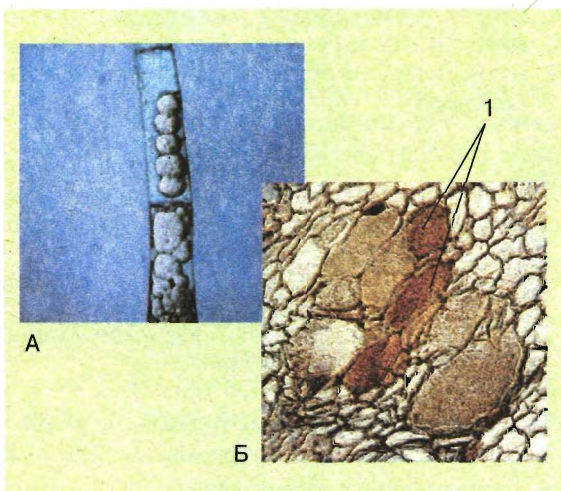
Інколи належність одноклітинного організму до певного царства, на відміну від багатоклітинного, можливо встановити лише після ретельних досліджень. Наприклад, особливу групу паразитичних еукаріотів – мікроспоридій – довгий час вважали одноклітинними тваринами. Хазяїна (різноманітних тварин, зрідка – людину) заражають спори цього паразита (мал. 37.1). В оболонці спор виявили хітин, характерний для клітинних стінок грибів; саме до грибів частина сучасних учених нині відносить мікроспоридій.

Евглен одні вчені вважають тваринами, інші – водоростями. Серед цих водних еукаріотів відомі види, здатні до фотосинтезу, та гетеротрофні, зокрема паразитичні.

Так званих слизовиків (мал. 37.2) – паразитів рослин, цитоплазма яких оточена лише плазматичною мембраною, одні вчені відносять до тварин, інші – до грибів.



Мал. 37.1. Спора одноклітинних паразитичних еукаріотів – мікроспоридій: 1 – оболонка спори, до складу якої входить хітин; 2 – амебоїдний зародок з ядром; 3 – трубка, за допомогою якої амебоїдний зародок залишає спору



Мал. 37.2. Слизовики з родів Вороніна (А) та Плазмодіофора (Б): А – паразит у клітинах водорості; Б – зріз через корінь капусти (1 – розрослі клітини кореня, заповнені цистами паразита)

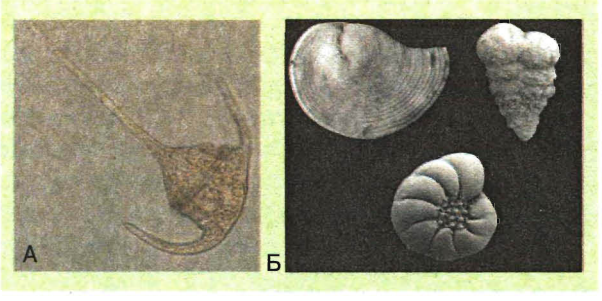
• **Особливості організації клітин одноклітинних еукаріотів.** Ми вже згадували, що клітини еукаріотів мають ядро (зазвичай одне, однак інколи число ядер сягає сотень і тисяч), хоча деякі з них (ситоподібні трубки вищих рослин, еритроцити більшості ссавців тощо) втрачають ядро під час дозрівання. Цитоплазма клітин еукаріотів містить різноманітні органели, багато з яких оточені двома (мітохондрії, пластиди) або однією (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, вакуолі тощо) мембранами. Клітини еукаріотів поділяються шляхами мітозу або мейозу.

Поверхневий апарат клітин різних груп протистів не завжди однаковий. У водоростей і грибів зовнішній шар клітини – щільна клітинна стінка, яка унеможливлює утворення несправжніх ніжок (псевдоподій). У водоростей вона складається переважно з полісахаридів (целюлози та пектину). До складу клітинної стінки грибів входить ще й нітрогеновмісний полісахарид – хітин. У частини одноклітинних тварин клітина вкрита плазматичною мембраною з глікокаліксом. Вона може утворювати несправжні ніжки (як-от в амеб). В інших видів клітина має постійну форму завдяки наявності щільного підмембранного шару цитоплазми – пелікули (інфузорії, евглени та ін.), який у деяких набуває особливої міцності, утворюючи своєрідний панцир (мал. 37.3, А).

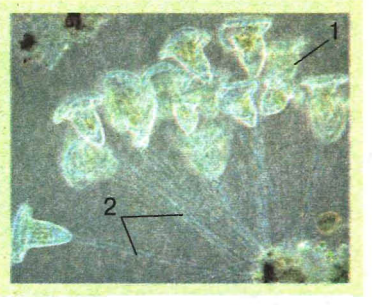
У багатьох одноклітинних тварин, як-от форамініфер (мал. 37.3, Б), клітина розташована в захисній черепашці. Основу черепашок складають органічні речовини, які секретує клітина тварини; черепашки часто просочені мінеральними сполуками або вкриті прилиплими піщинками, голками губок чи іншим стороннім матеріалом.

Майже в усіх одноклітинних тварин під плазматичною мембраною розміщений шар скоротливих волоконець, найкраще розвинений в амебоїдних форм. Вони дають змогу клітині змінювати форму, зокрема захоплювати тверді поживні частинки та пересуватись. У інфузорій-сувійок (мал. 37.4) є особливе скоротливе стебельце, за допомогою якого клітина кріпиться до субстрату.

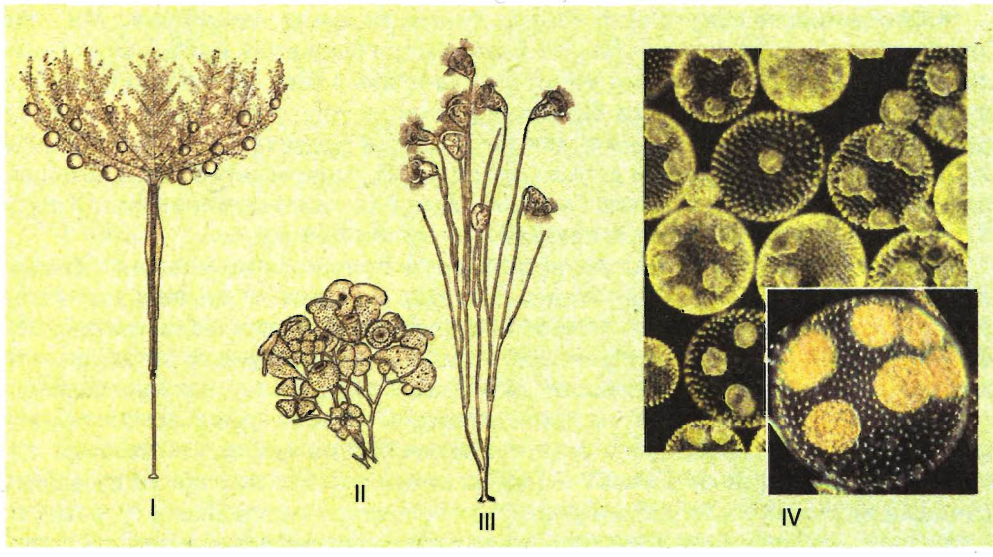
Ядерні апарати одноклітинних і багатоклітинних еукаріотів можуть відрізнятися між собою. Так, у інфузорій і форамініфер є ядра двох типів: вегетативні – відповідають за регуляцію біосинтезу білків у клітині та інших процесів обміну речовин, генеративні – зберігають спадкову інформацію та забезпечують її передачу дочірнім клітинам під час розмноження.



Мал. 37.3. Одноклітинні еукаріоти – мешканці водойм: А – прісноводний панцирний джгутиковий роду Цераріум; Б – черепашки морських форамініфер



Мал. 37.4. Поселення інфузорій-сувійок: 1 – клітина; 2 – стебельце



Мал. 37.5. Колонії інфузорій з родів Зоотамніум (I), Кархезіум (II) та Кампанела (III) і зеленої водорості з роду Вольвокс (IV)

У фотосинтезуючих видів одноклітинних у різних комбінаціях присутні пігменти: хлорофіли **a**, **b** та **c**, каротини, ксантофіли та інші. Ксанитофіли надають хлоропластам різноманітних забарвлень: червоного (червоні водорості), бурого чи коричневого (діатомові водорості) тощо.

• **Колоніальні одноклітинні еукаріоти,** хоча і складаються з багатьох клітин одного чи кількох типів, але кожна з них здебільшого функціонує неузгоджено з іншими (мал. 37.5). Кількість клітин колонії може з часом змінюватись або залишається постійною (наприклад, у вольвоксу). Колонії здатні утворювати деякі інфузорії, радіолярії, дріжджі. Зв'язок між окремими клітинами в межах колоній може здійснюватися за допомогою цитоплазматичних містків (вольвокс) або слизової оболонки.

Серед вегетативних клітин колонії вольвоксу можна помітити більші за розміром. Вони забезпечують нестатеве розмноження: за рахунок їхнього поділу утворюються дочірні колонії, які згодом залишають тіло материнської та виходять назовні.

Колонії інфузорій можуть мати вигляд кущиків, на верхівках гілок яких розташовані окремі особини (див. мал. 37.5). Наприклад, колонії роду Зоотамніум мають вигляд пальми з 8–9 листками, кожен з яких вміщує кілька десятків дрібних особин та 1–2 великих. Великі особини відокремлюються від колонії, певний час плавають за допомогою війок, потім осідають на субстрат і дають початок новим колоніям.

Ключові терміни та поняття. ***Протисти.***

В одноклітинних еукаріотів тіло складається з єдиної клітини, яка водночас є самостійним організмом. Одноклітинні та позбавлені тканин багатоклітинні еукаріоти (рослини, гриби, тварини) отримали загальну назву «протисти».

Коротко про головне

- Поверхневий апарат різних груп протистів має свої особливості: у водоростей і грибів зовнішній шар, розташований над мембраною, представлений твердою клітинною стінкою, яка складається переважно з полісахаридів (целюлози, пектину та хітину). В одноклітинних тварин клітина завжди вкрита плазматичною мембраною, яка може утворювати несправжні ніжки або ж має постійну форму завдяки наявності щільного підмембранного шару цитоплазми (пелікули).
- Серед одноклітинних відомі колоніальні види, які складаються з багатьох клітин одного чи кількох типів; така диференціація пов'язана із забезпеченням розмноження або розселення.

Запитання для самоконтролю

1. Чим різняться між собою одноклітинні та багатоклітинні еукаріоти? 2. Які особливості будови оболонки клітини в різних груп протистів? 3. У яких організмів існує диференціація ядер на вегетативні та генеративні? У чому полягає біологічне значення цього явища? 4. У чому різниця між колоніальними та багатоклітинними еукаріотичними організмами?

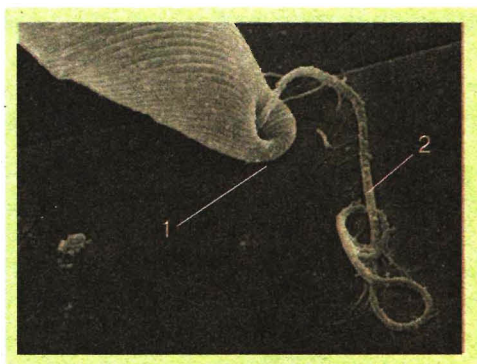
Поміркуйте. *Чому одноклітинна еукаріотична істота побудована загалом складніше, ніж будь-яка окремо взята клітина багатоклітинного організму?*

§38. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ОДНОКЛІТИННИХ ЕУКАРІОТІВ

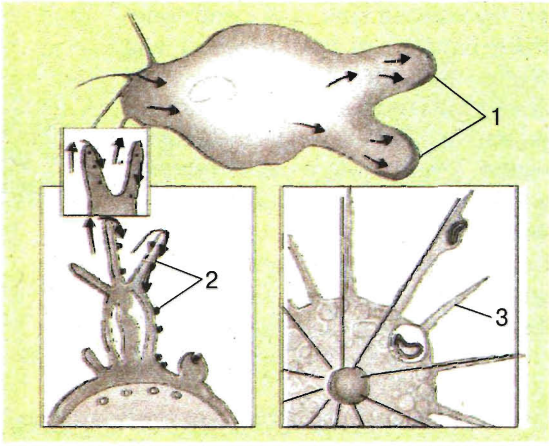
Пригадайте: *яка будова джгутиків і війок? Які організми називають автотрофними, міксотрофними та гетеротрофними? Які будова та функції плазматичної мембрани?*

• **Рух протистів** забезпечують особливі органели: джгутики (мал. 38.1), війки або несправжні ніжки. Крім рухової функції джгутики та війки можуть виконувати й деякі інші. Інколи джгутики слугують для прикріплення, утворюючи стебельце (див. мал. 37.4). Рухи джгутиків і війок забезпечують постійні потоки води навколо клітини, які доносять до неї частинки їжі та очищують її поверхню від сторонніх часток.

Амебоїдний рух відбувається завдяки утворенню тимчасових виростів – несправжніх ніжок (псевдоподій). Вони можуть мати різну форму, інколи здатні зливатися між собою



Мал. 38.1. Довгий джгутик евглени зеленої (фотографію зроблено за допомогою сканувального мікроскопа): 1 – заглибина, в якій розташований джгутик (2)



Мал. 38.2. Типи несправжніх ніжок (стрілки вказують рух цитоплазми): 1 – широкі із заокругленою верхівкою; 2 – тоненькі, здатні зливатися між собою; у такий спосіб вони утворюють ловильну сітку навколо клітини; 3 – тоненькі нерозгалужені

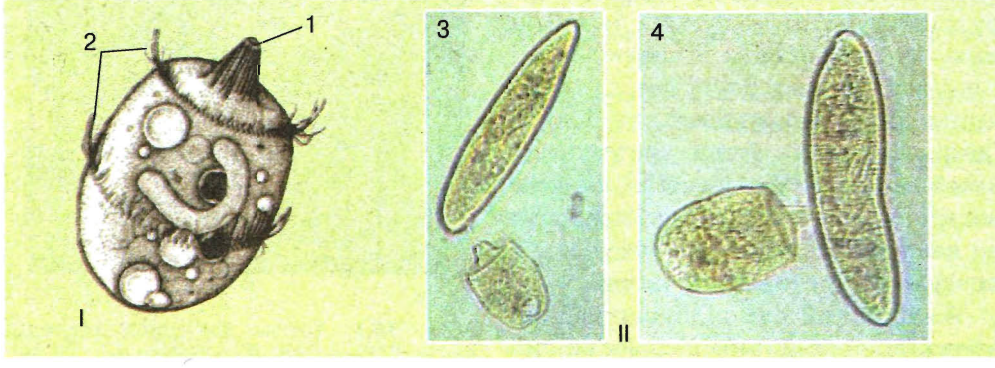


Мал. 38.3. Грегарина – одноклітинний паразит членистоногих

у певних ділянках та утворювати ловильну сітку для захоплення поживних частинок (мал. 38.2).

Ковзний рух притаманний лише небагатьом групам протистів: особливим найпростішим тваринам – грегаринам (мал. 38.3), діатомовим водоростям та деяким іншим. У грегарин ковзний рух відбувається за рахунок хвилеподібних рухів поздовжніх складок поверхні клітини, у діатомових водоростей – стікання слизу з поверхні клітини в певному напрямку.

• **Живлення одноклітинних еукаріотів.** Серед протистів за типом живлення виділяють автотрофів, гетеротрофів і міксотрофів. Гетеротрофи можуть поглинати їжу за допомогою піноцитозу або фагоцитозу (*пригадайте, як формуються травні вакуолі*). Різновидом фагоцитозу слугує висмоктування здобичі у хижих джгутикових або інфузорій (мал. 38.4).

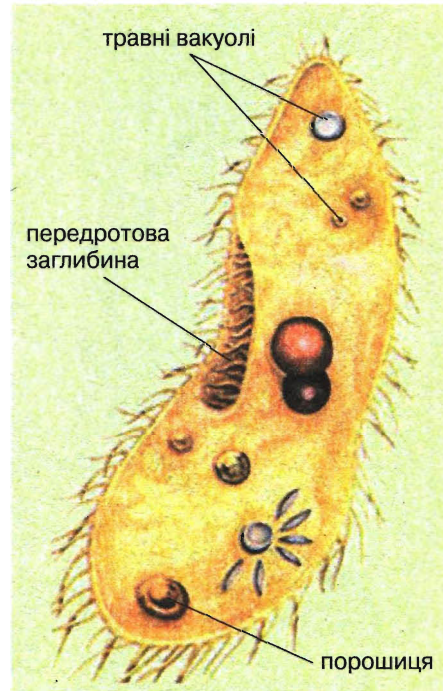


Мал. 38.4. I. Хижа інфузорія дідиній: 1 – хоботок, на верхівці якого розташований ротовий отвір, проникає у тіло здобичі; 2 – пояски війок, за допомогою яких дідиній плаває. II. Дідиній (3, 4), що споживає інфузорію-туфельку

Багатьом одноклітинним організмам притаманна складна поведінка, пов'язана з пошуком і захопленням їжі. Вона полягає в розпізнаванні рецепторними молекулами поверхні клітини хімічних речовин джерела живлення (іншої клітини, органічних частинок тощо).

Автотрофні (більшість водоростей) та міксотрофні (наприклад, евглена зелена, хламідомонада) протисти здатні до фотосинтезу. Запасними полісахаридами в них слугують крохмаль (зелені водорості), хризоламінарин (діатомові водорості) тощо. У гетеротрофів накопичується полісахарид глікоген.

Неперетравлені тверді рештки в амебоподібних організмів можуть видалятися в будь-якому місці поверхні клітини, а в тих, які мають постійну форму тіла (наприклад, інфузорія-туфелька), для видалення цих решток слугує ділянка поверхні особливої будови – порошиця (мал. 38.5).



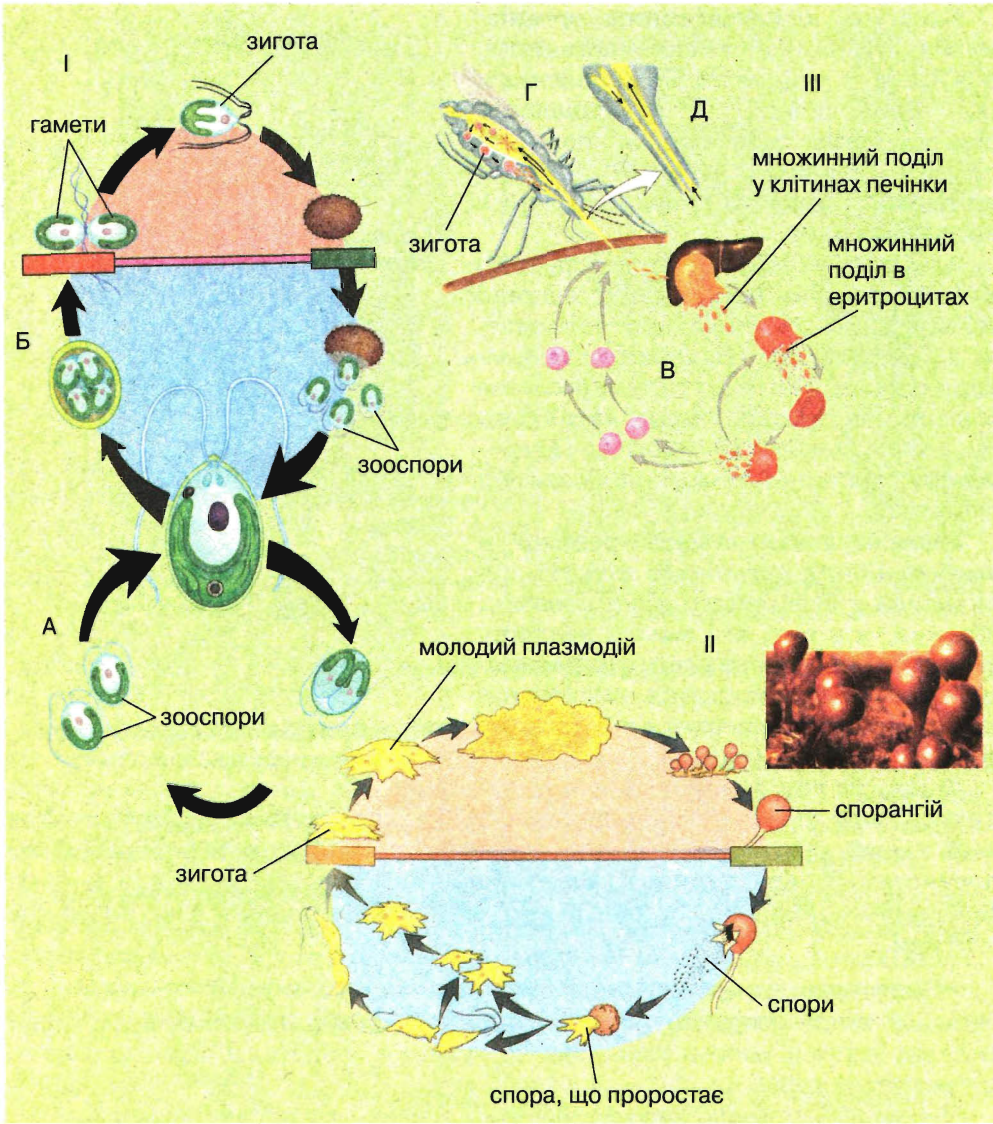
Мал. 38.5. Система органел травлення інфузорії-туфельки

Функцію виділення з клітини надлишку води разом з розчиненими в ній продуктами обміну речовин здійснюють скоротливі вакуолі, притаманні здебільшого прісноводним протистам. У паразитичних видів і мешканців солоних водойм ці вакуолі здебільшого відсутні, а виділення відбувається через всю поверхню клітини.

• **Розмноження протистів** переважно нестатеве, інколи – статеве. Для багатьох видів (форамініфери, малярійний плазмодій тощо) характерні складні життєві цикли внаслідок чергування поколінь з різними формами розмноження.

Нестатеве розмноження протистів відбувається у вигляді різновидів мітотичного поділу. У деяких випадках під час мітозу ядерна оболонка зберігається, і ядро перешнуровується навпіл після закінчення розходження хромосом до його полюсів (наприклад, у амеб, багатьох джгутикових тощо).

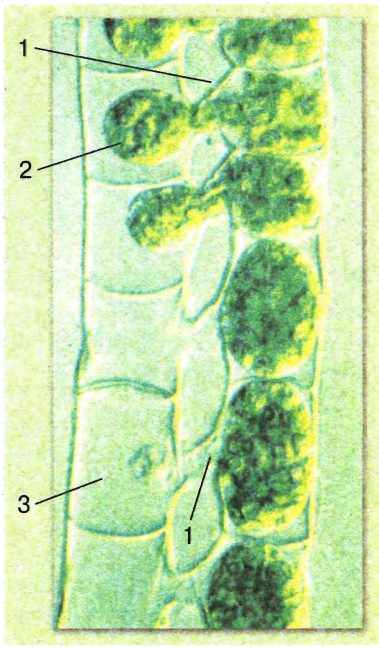
Нестатеве розмноження протистів може здійснюватися поділом навпіл (амеба протей, евглена зелена, інфузорія-туфелька та ін.), множинним поділом (малярійний плазмодій), брунькуванням (деякі інфузорії) або за допомогою рухомих (зооспори) чи нерухомих спор (водорості, гриби). У процесі брунькування від більшої (материнської) клітини може відокремлюватись одна або декілька дрібніших (дочірніх). Унаслідок множинного поділу ядро клітини багаторазово поділяється, а згодом навколо кожного з дочірніх ядер відокремлюється ділянка цитоплазми і виникають десятки або сотні дрібних дочірніх клітин (форамініфери).



Мал. 38.6. I. Розмноження хламідомонади: нестатеве (А) та статеве (Б). II. Розмноження слизових споровиків. III. Цикл розвитку малярійного паразита: В – нестатеві покоління в організмі людини; Г – статеве розмноження та розвиток нестатевих поколінь в організмі комара; Д – потрапляння рухливих клітин зі слинних залоз комара в кров людини

Статевий процес у протистів здебільшого може відбуватись у формі злиття статевих клітин – гамет та кон'югації. В одних видів (хламідомонади, форамініфери) усі гамети однакові, в інших (малярійний паразит, вольвокс) – жіночі та чоловічі статеві клітини різняться між собою (мал. 38.6).

Кон'югація відома в інфузорій, водоростей і грибів. Під час кон'югації дві клітини інфузорій обмінюються мігруючими ядрами. У нитчастої



Мал. 38.7. Кон'югація у спірогіри: 1 – цитоплазматичний місток між двома клітинами; 2 – вміст однієї клітини переходить до іншої з утворенням зиготи; 3 – покинута клітинна оболонка

водорості спірогіри між окремими клітинами двох ниток виникають цитоплазматичні містки, якими вміст однієї клітини переходить в іншу з утворенням зиготи (мал. 38.7). У подальшому зигота проростає новою ниткою клітин.

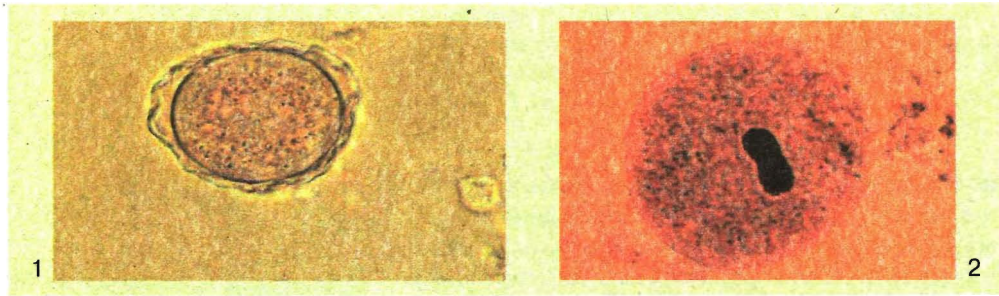
• Поведінка одноклітинних еукаріотів. Подібно до інших організмів, протистам притаманна *подразливість*, тобто здатність сприймати подразники довкілля і певним чином на них відповідати. Рухові реакції протистів мають назву таксисів. ***Таксиси*** (від грец. *таксис* – розміщення) – спрямовані рухи організмів у напрямку до (*позитивний таксис*) або від (*негативний таксис*) подразника. Наприклад, клітини евглени зеленої або хламідомонади рухаються в бік джерела освітлення завдяки наявності особливого світлочутливого утвору – вічка.

• Адаптації протистів до середовища мешкання. Існування в різноманітних середовищах мешкання можливе завдяки наявності в протистів різноманітних пристосувань (адаптацій) до чинників довкілля. Наприклад, у мешканців товщі води є різноманітні вирости черепашки, клітинної стінки внутрішньоклітинного скелета чи панцира у вигляді шипів, радіально розташованих голок (наприклад, у деяких форамініфер і променяків), які збільшують площу поверхні клітини, одночасно зменшуючи її вагу. Вільному ширянню в товщі води сприяє й сітка з тонких несправжніх ніжок (променяки) або включення краплин жироподібної речовини в цитоплазмі (променяки, панцирні джгутикові тощо).

У протистів, які ведуть сидячий спосіб життя, є утвори, за допомогою яких вони прикріплюються до субстрату, наприклад прикріпне стебельце інфузорій-сувійок (мал. 37.4).

Існування у дрібних заповнених водою шпаринах ґрунту (капілярах) також позначається на певних особливостях будови. Клітини ґрунтових протистів у 5–10 разів дрібніші порівняно з розмірами близьких видів – мешканців прісних чи солоних водойм, часто пласкі, дещо спрощеної будови.

Інцистування. Посушливі періоди та низькі температури одноклітинні тварини переживають у вигляді особливих стадій спокою – цист. У процесі утворення цист (інцистування) може відбуватися складна перебудова клітини. Наприклад, в інфузорій під час інцистування зникають структури, пов'язані з активним життям (війки, органели захоплення їжі, вакуолі тощо), цитоплазма зневоднюється, ущільнюється і навколо клітини формуються захисні оболонки (зазвичай їх не менше двох)



Мал. 38.8. Цисти амеби (1) та інфузорії (2)

(мал. 38.8). Ці оболонки характеризуються низькою проникністю і здійснюють механічний та хімічний захист клітини, яка зберігає життєздатність в інцистованому стані протягом місяців і навіть років. Цисти можуть забезпечувати поширення протистів вітром, водою чи за участі живих істот.

Ключові терміни та поняття. ***Інцистування, таксиси.***

Коротко про головне

- Рух протистів забезпечують джгутики, війки, псевдоподії, хвилеподібні скорочення поверхні клітини або спрямоване стікання слизу.
- Серед протистів за типом живлення розрізняють автотрофів, гетеротрофів і міксотрофів. Неперетравлені тверді рештки в амебоподібних організмів можуть видалятися в будь-якому місці поверхні клітини, а в тих, які мають постійну форму тіла (наприклад, інфузорія-туфелька), для видалення цих решток слугує особлива ділянка поверхні – порошиця. Функцію виділення з клітини надлишку води разом з розчиненими в ній продуктами обміну речовин здійснюють скоротливі вакуолі, притаманні здебільшого прісноводним протистам. У паразитичних видів і мешканців солоних водойм ці вакуолі відсутні.
- У протистів відомі нестатеві та статеві форми розмноження. Нестатеве розмноження може відбуватися шляхом поділу навпіл, множинного поділу, брунькування та ін. Статевий процес здійснюється у вигляді злиття гамет з утворенням зиготи. Для багатьох видів характерні складні життєві цикли внаслідок чергування поколінь з різними формами розмноження. Для переживання несприятливих умов протисти утворюють спори (водорості та гриби) або цисти (одноклітинні тварини).
- Протистам притаманна подразливість – здатність сприймати подразники довкілля і певним чином на них відповідати. Рухові реакції на подразники мають назву таксисів.

Запитання для самоконтролю

1. *Які форми руху спостерігають у протистів? Які органели їх забезпечують?* **2.** *Як у протистів видаляються рештки їжі та виділяються кінцеві продукти обміну речовин?* **3.** *Як розмножуються протисти?* **4.** *Що таке кон'югація? Яке її біологічне значення?* **5.** *Як протисти переживають несприятливі умови?*

Поміркуйте. *Що спільного та відмінного у розмноженні прокаріотів та одноклітинних еукаріотів?*

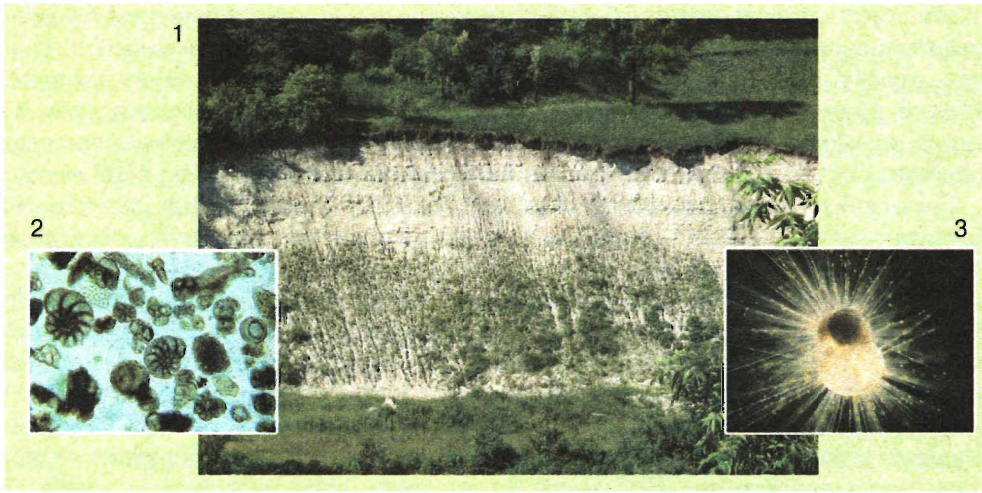
§ 39. РОЛЬ ПРОТИСТІВ У ПРИРОДІ ТА ГОСПОДАРСТВІ

Пригадайте: *що таке біологічний спосіб боротьби із шкідливими видами? Що таке керівні копалини? Що таке симбіоз і мутуалістичні взаємозв'язки? Що таке антибіотики та вітаміни?*

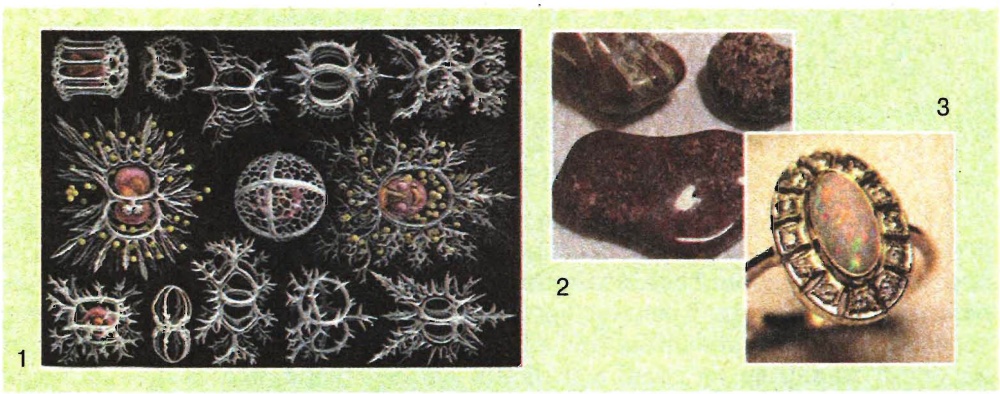
• **Роль у природі.** Одноклітинні еукаріоти, клітина яких має мінеральні черепашки (форамініфери), панцир (діатомові водорості) чи мінеральний внутрішньоклітинний скелет (променяки) відіграють важливу роль в утворенні осадових порід. З решток організмів, до складу оболонок (наприклад, червона водорість кораліна) або черепашок (форамініфери) яких входить карбонат кальцію, за сотні мільйонів років утворилися значні поклади вапняку та крейди (мал. 39.1). Унаслідок гороутворюючих процесів дно морів разом з вапняками підіймалося й перетворювалося на суходіл. Так виникали крейдяні пагорби та цілі гірські ланцюги, такі як Піренеї, Альпи, Гімалаї. Панцирі відмерлих діатомових водоростей, що складаються з SiO_2, осідаючи на дно, протягом мільйонів років **утворили** осадові породи *діатоміти*. Ці поклади використовують для виробництва вибухівки – динаміту. Внутрішній скелет багатьох променяків також складається із SiO_2. Ці скелети утворили осадові породи *радіолярити*, з яких складається, наприклад, острів Барбадос у Карибському морі, а також поклади таких напівкоштовних каменів, як яшма, опали, халцедон тощо (мал. 39.2).

Викопні рештки форамініфер, діатомових водоростей та інших, які добре зберігаються у складі осадових порід, людина застосовує як ***керівні копалини***. Оскільки кожна геологічна епоха мала особливий видовий склад цих істот, це дає можливість визначити час утворення тих чи інших порід. Дослідники використовують такі рештки для пошуку покладів корисних копалин, які виникли в певний час історії Землі.

Автотрофні протисти – мешканці водойм – синтезують значну кількість органічних сполук, які можуть споживати інші організми. Крім



Мал. 39.1. Крейдяні пагорби на Поділлі (1); різноманітні черепашки форамініфер (2); з отворів черепашок виходять численні псевдоподії (3)



Мал. 39.2. Різноманітність скелетів променяків, або радіолярій (1) (малюнок, зроблений Е. Геккелем в 60-ті роки XIX сторіччя); яшма (2); прикраса з опалом (3)

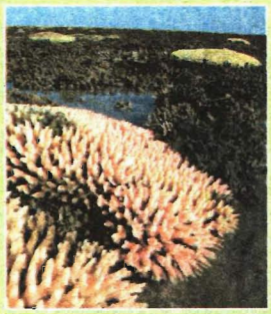
того, у процесі фотосинтезу вони виділяють значну кількість кисню, підтримуючи постійний склад газів в атмосфері. Одноклітинні еукаріоти, здатні поглинати розчини органічних сполук, беруть участь у процесах самоочищення водойм.

За видовим складом протистів можна визначити санітарний стан водойм. Наприклад, евглена червона мешкає у чистих водоймах, а евглена зелена надає перевагу воді зі значним умістом органічних речовин. Як ви пригадуєте, з подібною метою використовують і прокаріотів, наприклад кишкову паличку. Методи визначення стану довкілля за допомогою видового складу організмів називають ***біологічною індикацією*** (***біоіндикацією***).

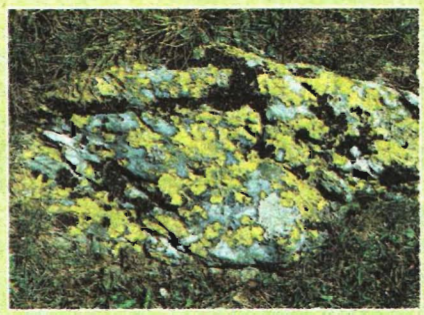
Важлива роль одноклітинних еукаротів у забезпеченні родючості ґрунтів. Гриби розкладають рештки організмів до мінеральних сполук, які споживають зелені рослини. При цьому вони виділяють велику кількість вуглекислого газу, необхідного для фотосинтезу. Крім того, ґрунтові гриби беруть участь у синтезі органічних сполук, з яких формується родючий гумусовий шар ґрунту. Ґрунтові водорості як фотосинтетики утворюють значну кількість органічних речовин та збагачують ґрунт киснем. Масове розмноження ґрунтових водоростей, так зване цвітіння ґрунту, є прикметою доброго врожаю. Найчастіше це явище спостерігають навесні й восени. У цей час маса ґрунтових водоростей може сягати до 1500 кг/га.

Ґрунтові та водні протисти слугують для живлення інших організмів. Деяких з них, наприклад інфузорій, людина розводить для вигодовування личинок і мальків риб.

Багато видів протистів здатні вступати в різні форми симбіозу з іншими організмами. Часто це співіснування має характер мутуалістичних відносин. Усі ви знаєте про коралові рифи. Так от, для утворення масивного зовнішнього вапнякового скелета колонії коралових поліпів (мал. 39.3) потрібно, щоб у їхніх клітинах оселилися певні види водоростей. Водорості можуть оселятись і в клітинах інших багатоклітинних тварин – гідр, війчастих червів тощо. Водорості постачають клітинам тварин кисень і синтезовані органічні сполуки, а натомість отримують притулок і неорганічні речовини, необхідні для здійснення фотосинтезу.



Мал. 39.3. Скелет коралових поліпів утворюється за рахунок їхнього симбіозу з клітинами водоростей



А



Б

Мал. 39.4. Лишайники ростуть на каменях (А – корковий лишайник) і стовбурах дерев (Б – листуватий лишайник)

У кишечнику деяких комах, наприклад термітів і тарганів, обов'язково присутні особливі одноклітинні багатоджгутикові тварини. Вони виробляють фермент, який розщеплює клітковину, а самі знаходять в організмі комахи притулок і запаси їжі. У шлунку травоїдних жуйних тварин живуть різні інфузорії, сумарна маса яких може сягати кількох кілограмів. Ці інфузорії живляться бактеріями, що мешкають там само, особливої користі вони організму хазяїна не приносять, хоча і шкоди не завдають.

Одноклітинні водорості в симбіозі з грибами утворюють лишайники (мал. 39.4). Вони синтезують органічні речовини, які споживає гриб, а той, у свою чергу, постачає клітинам водоростей необхідні для фотосинтезу воду та мінеральні сполуки.

• **Роль у господарстві та житті людини.** Різні види мікроскопічних грибів людина використовує для промислового отримання антибіотиків, вітамінів, продуктів спиртового бродіння тощо.

Перший антибіотик пеніцилін було отримано із цвілевого гриба роду Пеніцил. Нагадаємо, що ***антибіотики*** *– це біологічно активні речовини, які в невеликих кількостях вибірково пригнічують життєдіяльність певних мікроорганізмів або затримують розмноження клітин злоякісних пухлин.* Суть дії цих сполук полягає в тому, що одні з них порушують утворення поверхневого апарату та цілісність біологічних мембран (наприклад, пеніцилін), інші – синтез білків чи нуклеїнових кислот мікроорганізмів (наприклад, тетрациклін). Антибіотики є продуктами життєдіяльності різноманітних мікроорганізмів. Крім природних антибіотиків існують штучні, отримані за допомогою хімічного синтезу на підприємствах мікробіологічної промисловості.

Застосовувати антибіотики слід вкрай обережно і лише способом та у дозах, прописаних лікарем. Хвороботворні мікроорганізми досить швидко стають несприйнятливими до цих сполук; тому вчені постійно селекціонують штами мікроорганізмів, здатних утворювати антибактеріальні та антивірусні речовини, та добувають з них нові і нові антибіотики.

Різні види дріжджів використовують у пекарській промисловості, виноробстві, пивоварінні, для отримання спирту та деяких кисломолочних продуктів, зокрема кефіру. Певні види протистів застосовують для очищення промислових і побутових стічних вод, у біологічному способі боротьби із шкідливими видами, зокрема кровосисними комарами.

Одноклітинні еукаріоти можуть завдавати шкоди здоров'ю та господарству людини. Багато видів цвілевих грибів здатні псувати продукти харчування.

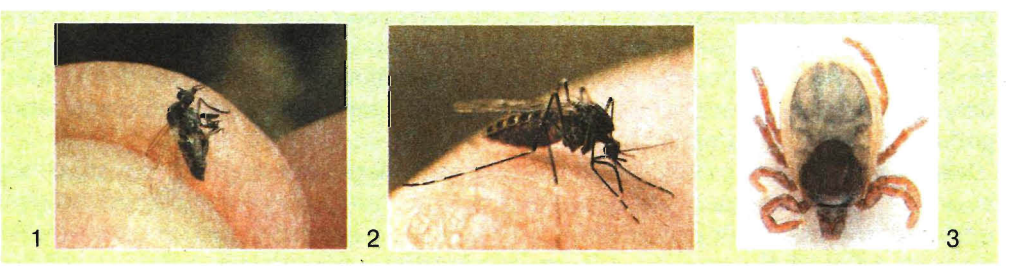
Паразитичні протисти, оселяючись в організмах людини, тварин і рослин, спричиняють різноманітні ***інфекційні*** (від лат. *інфекціо* – заражаю) та ***інвазійні*** (від лат. *інвазіо* – напад) захворювання. Збудниками інфекційних захворювань бувають віруси, бактерії та гриби, а інвазійних – тварини. До організму хазяїна паразитичні протисти можуть проникати через шлунково-кишковий тракт разом з їжею чи водою (дизентерійні амеби тощо). У разі необережного поводження з котами, в організм людини через подряпини або кишковий тракт можуть проникати одноклітинні тварини – токсоплазми. Токсоплазмоз – це захворювання, особливо небезпечне для вагітних жінок, оскільки хвора мати може передавати збудника зародку через плаценту. Уражуються лімфатичні вузли, м'язи, нервова система, органи зору тощо.

З водою у носову порожнину людини під час купання в багатих на водну рослинність стоячих прісних водоймах можуть потрапити деякі вільноживучі амеби. Згодом вони проникають до клітин кори головного мозку, де масово розмножуються, що призводить до запалення мозку та смерті.

Через пошкодження покривів можуть проникати паразитичні одноклітинні гриби, що уражають шкіру, нігті, волосся тощо. Зокрема, від бродячих собак і котів людина може заразитися стригучим лишаєм та іншими небезпечними грибковими захворюваннями. Під час статевих контактів можливе зараження деякими паразитичними одноклітинними тваринами (трихомонадами) та грибами.

Стригучий лишай – захворювання шкіри, волосся та нігтів, яке викликають грибки з роду Трихофітон. Спори гриба передаються через контакти з хворим, його одягом, посудом, хатніми тваринами тощо. Свою назву це захворювання отримало тому, що волосся на вражених ділянках стає коротеньким, наче стриженим. На шкірі розвиваються плями, утворюються численні луски, які відпадають. Зрештою, вражені місця запалюються та виділяють гній. Особливо часто ця інфекція вражає дітей шкільного віку.

Потрапляння паразитичних одноклітинних тварин в організм людини та хребетних тварин можливе через укуси переносників – кровосисних комах або кліщів (мал. 39.5). Так, малярійні комарі передають збудників



Мал. 39.5. Кровосисні комахи та кліщі – переносники збудників інвазійних захворювань людини і хребетних тварин: 1 – мошка; 2 – комар; 3 – кліщ

малярії, кровосисні мухи це-це – збудників сонної хвороби, кліщі – паразитів крові собак, великої рогатої худоби, а зрідка й людини – *піроплазм*. Хвороби, які вони викликають (*піроплазмози*), супроводжуються недокрів'ям і можуть завершитися смертю.

Ключові терміни та поняття. ***Керівні копалини, біологічна індикація стану довкілля.***

Коротко про головне

- Одноклітинні еукаріоти, клітина яких має черепашку, панцир чи мінеральний внутрішньоклітинний скелет, відіграють важливу роль в утворенні осадових порід – вапняків, крейди, діатомітів, радіоляритів тощо.
- Викопні рештки протистів використовують як керівні копалини для визначення віку осадових порід.
- Автотрофні протисти синтезують значну кількість органічних сполук, які можуть споживати інші організми, та виділяють значну кількість кисню, підтримуючи постійний склад газів в атмосфері.
- Протисти, здатні поглинати розчини органічних сполук, беруть участь у процесах самоочищення водойм. За видовим складом протистів можна визначити санітарний стан водойм. Методи визначення стану довкілля за допомогою видового складу організмів називають біологічною індикацією (біоіндикацією).
- Протисти розкладають рештки організмів, а також збагачують ґрунт органікою. Ґрунтові гриби беруть участь у синтезі органічних сполук, з яких формується родючий гумусовий шар ґрунту. Ґрунтові та водні протисти слугують для живлення інших організмів. Деяких з них людина розводить для відгодівлі личинок і мальків риб. Певні види застосовують для очищення промислових і побутових стічних вод, у біологічному способі боротьби із шкідливими видами, зокрема кровосисними комарами.
- Різні види мікроскопічних грибів людина використовує для промислового отримання антибіотиків, вітамінів, продуктів спиртового бродіння тощо.
- Деякі види протистів можуть завдавати значної шкоди здоров'ю та господарству людини. Багато видів грибів здатні псувати продукти харчування, виробляючи отруйні (токсичні) сполуки. Паразитичні протисти, оселяючись в організмах людини, тварин і рослин, спричиняють різноманітні інфекційні та інвазійні захворювання.

Запитання для самоконтролю

1. Яка роль протистів в утворенні осадових порід? 2. Які організми називають керівними копалинами? Де їх застосовують? 3. Яка роль протистів у процесах ґрунтоутворення? 4. Що таке біологічна індикація стану довкілля? 5. Які особливості симбіозу протистів з іншими організмами? 6. Яких протистів людина використовує для отримання лікарських препаратів та харчових продуктів? 7. Які захворювання людини, свійських тварин та рослин викликають протисти?

Поміркуйте. *Про що свідчить наявність у прісній водоймі великої кількості планктонних гетеротрофних протистів?*

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ПОРІВНЯННЯ СИМПТОМІВ ЗАХВОРЮВАНЬ, ЯКІ СПРИЧИНЯЮТЬ ВІРУСИ І БАКТЕРІЇ

Мета: *навчитися розрізняти вірусні та бактеріальні хвороби за симптомами, які проявляються у хворого.*

Хід роботи:

1. Порівняйте симптоми захворювань на ангіну та дифтерію.
2. З'ясуйте причину, джерело інфекції і спосіб зараження.
3. Порівняйте симптоми захворювань на грип та гострі респіраторні вірусні інфекції (ГРВЗ).
4. З'ясуйте причину, джерело інфекції і спосіб зараження.
5. З'ясуйте основні засоби лікування і способи профілактики бактеріальних і вірусних захворювань.
6. Зробіть висновки щодо схожості й відмінності проявів бактеріальних і вірусних захворювань.

ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

І. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ПРАВИЛЬНУ

1. **Назвіть метод, за допомогою якого можна визначати санітарний стан довкілля:** *а) порівняльно-описовий; б) біологічної індикації; в) математичної статистики; г) електронно-мікроскопічні дослідження.*
2. **Визначте, які з біологічних систем перебувають на організмовому рівні організації:** *а) пріони; б) дріжджі; в) віруси; г) віроїди.*
3. **Визначте, що таке подразливість:** *а) здатність організмів до фотосинтезу; б) здатність організмів до сприйняття певних впливів зовнішнього і внутрішнього середовища та відповіді на них; в) здатність організмів до виділення продуктів обміну речовин; г) здатність організмів до розмноження.*
4. **Визначте, як називають реакції на подразники довкілля, які відбуваються у вигляді руху усього організму в напрямку подразника або від нього:** *а) таксиси; б) тропізми; в) настії; г) нутації.*
5. **Зазначте, чим клітини прокаріотів відрізняються від клітин еукаріотів:** *а) відсутністю клітинної стінки; б) відсутністю плазматичної мембрани; в) відсутністю мітохондрій; г) відсутністю рибосом.*
6. **Зазначте органели, які притаманні як клітинам прокаріотів, так і клітинам еукаріотів:** *а) ядро; б) мітохондрії; в) рибосоми; г) ендоплазматична сітка.*

ІІ. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ДВІ ПРАВИЛЬНІ

1. **Назвіть одноклітинні організми, які можуть утворювати колонії:** *а) протисти; б) губки; в) ціанобактерії; г) бурі водорості.*
2. **Назвіть групи мікроорганізмів, здатних вступати з організмом хазяїна в мутуалістичні відносини:** *а) бульбочкові бактерії; б) пурпурні бактерії; в) бактерії, які мешкають у рубці жуйних тварин; г) паличка ботулізму.*
3. **Укажіть органели, які можуть зустрічатись у прокаріотів:** *а) лізосоми; б) скоротливі вакуолі; в) газові вакуолі; г) рибосоми.*
4. **Укажіть організми, які належать до прокаріотів:** *а) стафілококи; б) пріони; в) віруси; г) ціанобактерії.*



5. Зазначте процеси, які здатні здійснювати ціанобактерії: *а) фотосинтез; б) джгутиковий рух; в) фіксування атмосферного азоту; г) фагоцитоз.*

6. Укажіть функції, які виконують спори бактерій: *а) розмноження; б) синтез білків; в) переживання несприятливих умов; г) поширення.*

III. ЗАВДАННЯ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

1. Визначте відповідність органел і структур клітини групам організмів, у клітинах яких вони трапляються:

Групи організмів	Органели та структури
А Зелені водорості Б Ціанобактерії В Амеба протей Г Клітини інфузорій	1 Псевдоподії 2 Хлоропласти 3 Нуклеоїд 4 Ядра вегетативні та генеративні 5 Вакуолі з клітинним соком

2. Визначте, які типи живлення притаманні перерахованим видам одноклітинних еукаріотичних організмів:

Тип живлення	Представники
А Автотрофи Б Міксотрофи В Гетеротрофи	1 Евглена зелена 2 Амеба протей 3 Кишкова паличка 4 Вольвокс

3. Встановіть відповідність між групами прокаріотів і притаманними їм ознаками:

Групи прокаріотів	Ознаки
А Бульбочкові бактерії Б Ціанобактерії В Зелені бактерії Г Нітрифікуючі бактерії	1 Паразитичний спосіб життя 2 Здатність до хемосинтезу 3 Фотосинтез з виділенням кисню 4 Фотосинтез без виділення кисню 5 Здатність фіксувати атмосферний азот

IV. ЗАПИТАННЯ З ВІДКРИТОЮ ВІДПОВІДДЮ

1. *Чому деякі вільноживучі види протистів, потрапивши в організм людини або тварин, переходять до паразитичного способу життя?*
2. *Чому в клітинах одноклітинних протистів різноманітність органел більша, ніж у клітинах багатоклітинних еукаріотів?*
3. *Чому справжні багатоклітинні організми відомі лише серед еукаріотів?*



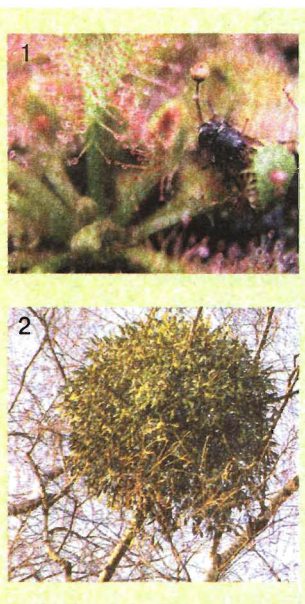
ТЕМА 3. БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ

- *особливості будови та функцій багатоклітинних організмів;*
- *регуляторні системи багатоклітинних організмів;*
- *колоніальні багатоклітинні організми.*

§40. БАГАТОКЛІТИННІ ЕУКАРІОТИ

Пригадайте: *до яких царств живої природи належать багатоклітинні організми? Що таке вегетативне розмноження? Які рівні організації життя вам відомі? Які особливості будови клітин рослин, грибів і тварин?*

• **Царства еукаріотів.** Раніше ми розглянули особливості організації одноклітинних еукаріотів. Багатоклітинні еукаріоти належать до одного з трьох царств: Рослини, Гриби і Тварини. Усі багатоклітинні еукаріоти перебувають на організмовому рівні організації живої матерії. Інколи для зручності застосування описово-порівняльного методу досліджень гістологи виділяють *тканинний* та *органний рівні організації*. На відміну від справжніх рівнів організації (клітинний, організмовий, популяційно-видовий, екосистемний та біосферний), ці щаблі не мають специфічних рис обміну речовин і перетворень енергії, нездатні до автономного існування в природному середовищі.



Мал. 40.1. Міксотрофні рослини: 1 – комахоїдна рослина росичка; 2 – рослина-напівпаразит (омела)

• **Царство Рослини.** Як ви пригадуєте, клітини рослин оточені щільною клітиною стінкою, розташованою поверх плазматичної мембрани. До її складу входять різні полісахариди, насамперед целюлоза. Зв'язки між сусідніми клітинами забезпечуються завдяки плазмодесмам. Цитоплазма клітин рослин часто містить вакуолі з клітинним соком, а також різні пластиди. Завдяки наявності хлорофілу більшість рослин здатна до фотосинтезу, тобто автотрофного живлення. Комахоїдні (росичка, непентес та ін.; мал. 40.1, 1) або так звані напівпаразитичні (наприклад, омела; мал. 40.1, 2) рослини належать до міксотрофів. Ці рослини здатні до фотосинтезу, однак поряд із цим споживають органічні сполуки комах (комахоїдні рослини) або в складі соків рослини-хазяїна (омела). Деякі паразитичні рослини (наприклад, Петрів хрест, повитиця; мал. 40.2) – гетеротрофні; вони не мають

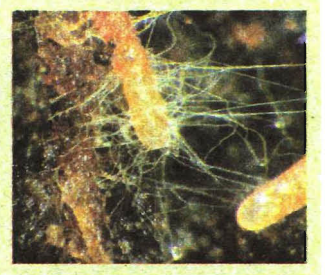
хлорофілу і живляться виключно органічними сполуками.

Унаслідок фотосинтезу в цитоплазмі рослинних клітин відкладаються полісахариди, як-от крохмаль. Крім хлорофілів, у клітинах рослин часто містяться жовті, червоні або бурі пігменти (ксантофіли, антоціани тощо), що надає відповідного забарвлення їхнім клітинам.



Мал. 40.2. Паразитична гетеротрофна рослина Петрів хрест

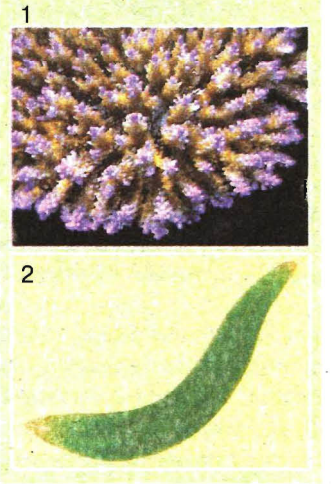
• **Царство Гриби** об'єднує гетеротрофні організми, серед яких відомі сапротрофні, симбіотрофні та паразитичні види. *Симбіотрофами* називають організми, живлення яких залежить від істот інших видів, з якими вони перебувають у мутуалістичних відносинах (мал. 40.3). До складу клітинних стінок грибів часто, крім інших полісахаридів, входить нітрогеновмісний полісахарид хітин. У цитоплазмі відсутній клітинний центр (*пригадайте його будову та функції*). Там само запасається полісахарид глікоген, а у вакуолях – гранули білків. Продуктом обміну нітрогеновмісних сполук є сечовина. У плодових тілах і грибниці часто є кілька типів клітин, проте справжні тканини відсутні.



Мал. 40.3. Мікориза – наслідок симбіозу шапкових грибів з кореневою системою рослин

• **Царство Тварини.** Багатоклітинні тварини виключно гетеротрофи, хоча деякі з них містять у клітинах симбіотичні водорості, унаслідок чого набувають зеленого кольору (наприклад, деякі види губок, гідр, війчастих червів; мал. 40.4). Більшість багатоклітинних тварин здатна активно пересуватися за допомогою м'язів.

Тваринні клітини не мають щільної стінки, над плазматичною мембраною розташований лише тонкий пружний шар глікокаліксу. Завдяки відсутності щільної клітинної стінки певні типи клітин здатні до фагоцитозу. Запасним полісахаридом, як і у грибів, є глікоген.



Мал. 40.4. Тварини, що мають у своїх клітинах водорості: 1 – коралові поліпи з роду Акропора; 2 – війчастий черв'як

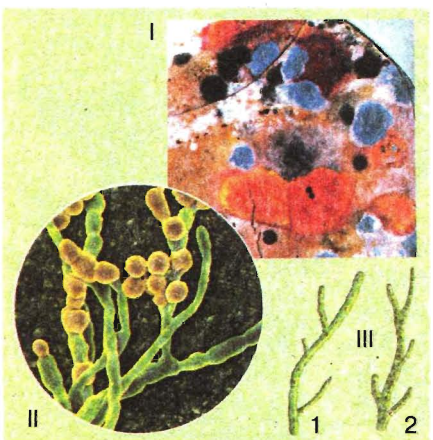
• **Особливості організації багатоклітинних еукаріотів.** Ми вже згадували, що кожна клітина, яка входить до складу ***багатоклітинних організмів***, призначена для здійснення лише певних функцій. Відповідно різні типи клітин відрізняються за особливостями будови, тобто вони диференційовані. Тому функціонування багатоклітинного організму як цілісної біологічної системи забезпечене узгодженою діяльністю всіх його клітин. У багатоклітинних еукаріотів різноманітні прояви процесів життєдіяльності (живлення, дихання, виділення, подразливість тощо) лише частково здійснюються на клітин-

ному рівні, а переважно – завдяки взаємодії тканин, органів та систем органів.

Для багатоклітинних організмів характерний індивідуальний розвиток (***онтогенез***), який починається від зародження і закінчується смертю. Онтогенез, у свою чергу, включає зародковий і післязародковий періоди розвитку.

Серед багатоклітинних так само, як і серед одноклітинних, трапляються ***колоніальні організми***. Вони утворюються внаслідок вегетативного розмноження, коли особини дочірніх поколінь залишаються сполученими з материнською (наприклад, колонії коралових поліпів).

• **Багатоклітинні організми, що не мають тканин.** У багатоклітинних грибів, водоростей і деяких тварин (наприклад, губок) виражених тканин немає, бо їхні клітини слабо взаємодіють між собою. Зовнішній шар клітин утворює покриви, які відокремлюють внутрішнє середовище організму від зовнішнього.

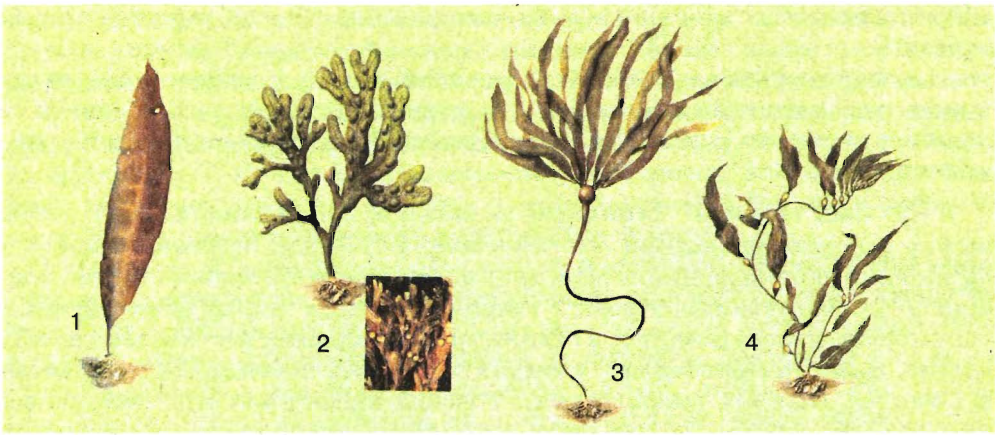


Мал. 40.5. Гриби – царство гетеротрофних організмів: I – міцелій цвілевих грибів на хлібі; II – гіфи цвілевих грибів, на верхівках яких утворюються спори; III – гіфи грибів (1 – не поділені перетинками на окремі клітини; 2 – поділені на окремі клітини)

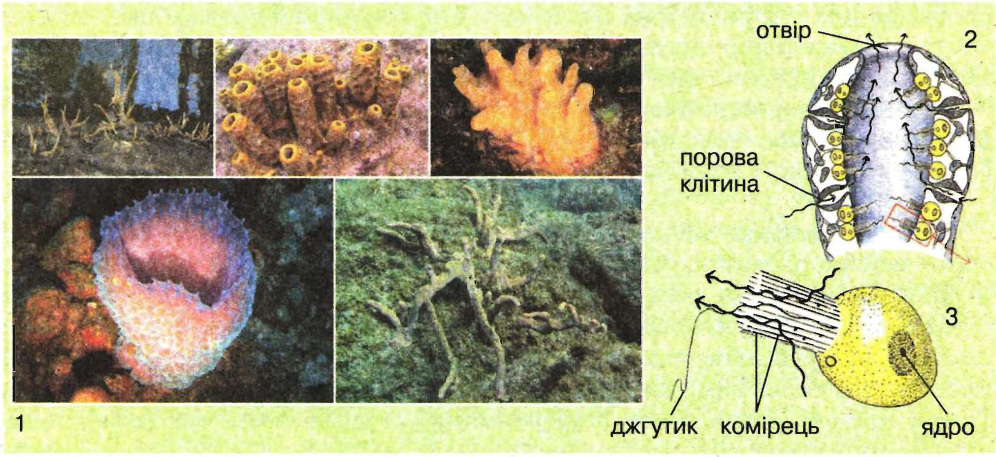
Тіло **багатоклітинних грибів** складається з послідовно розміщених клітин, які утворюють нитки – ***гіфи***. Гіфам притаманні верхівковий ріст і бічне галуження. Їхня сукупність має назву грибниця, або ***міцелій*** (мал. 40.5). Гіфи здатні швидко рости: є гриби, у яких за одну добу утворюється міцелій завдовжки десятки метрів. Частина міцелію розташована всередині середовища, на якому зростає гриб (субстратний міцелій), частина – на його поверхні (повітряний міцелій). За рахунок повітряного міцелію утворюються так звані плодові тіла, які слугують для розмноження спорами. Усі гриби – гетеротрофні організми.

Тіло **багатоклітинних водоростей** має назву ***талом***, або ***слань***. Різні групи водоростей розрізняються за сукупністю пігментів, структурою хлоропластів, продуктами фотосинтезу, особливостями будови мітохондрій тощо. Відділ бурих (мал. 40.6) водоростей представлено виключно багатоклітинними видами. Серед зелених водоростей, окрім одноклітинних і колоніальних, відомі справжні багатоклітинні (хара) та так звані нитчасті, тіло яких, подібно гіфам, утворено нитками з послідовно з'єднаних клітин.

До **багатоклітинних тварин**, які не мають тканин, належить кілька тисяч водних видів, які об'єднують у тип Губки (мал. 40.7). Їхнє мішкоподібне тіло складається зі стінок та заповненого водою внутрішнього простору, що відкривається в навколишнє середовище великим отвором. Через нього з тіла тварини виходить вода з неперетравленими рештками їжі. Ззовні та зсередини стінки тіла вкриті захисним шаром клітин, щільно прилеглих одна до одної. Основна частина стінки тіла складається



Мал. 40.6. Бурі водорості з родів Ламінарія (1), Фукус (2), Макроцистис (3), Нереоцистис (4)



Мал. 40.7. Губки – багатоклітинні тварини, які не формують тканин (1). Схема будови губки (2); комірцева клітина із джгутиком (3)

з безладно розміщених клітин кількох типів і міжклітинної речовини; у ній розташовані опорні елементи (скелет), система порожнин і каналів, у яких рухається вода із зовнішнього середовища до внутрішнього простору губки. Ці канали закінчуються особливими малими отворами – порами. Скелет складається з твердих міцних голок, побудованих з $CaCO_2$ (так звані вапнякові губки), SiO_2 або гнучких волокон з рогоподібної речовини; два останні різновиди часто трапляються в одному організмі, доповнюючи один одного.

У каналах є так звані комірцеві клітини, які мають джгутик, оточений особливим утвором («комірцем»). Биття джгутиків спричинює рух води через тіло тварини; вони ж заганяють поживні частки (переважно різні одноклітинні організми) під комірець, де їх захоплюють несправжні ніжки. У губок виключно внутрішньоклітинне травлення. Його здебільшого забезпечують амебоїдні клітини, здатні до фагоцитозу. Розмножуються ці

тварини статевим шляхом або брунькуванням. У них відсутні статеві залози, а яйцеклітини та сперматозоїди виникають з особливих клітин, розсіяних у товщі тіла. Із запліднення яйця виходить укрита війками личинка, яка певний час плаває, а потім осідає на різні підводні предмети та перетворюється на дорослу особину. Внаслідок брунькування виникають колонії губок.

• **Що таке тканина?** ***Тканиною*** *називають сукупність клітин, подібних за будовою, функціями та походженням.* Кожна тканина виконує в організмі особливі функції. Між тканинами рослин і тварин є значні розбіжності у формуванні і будові. У тварин різні типи тканин виникають під час ембріонального розвитку з певних груп зародкових клітин, або листків (***екто-***, ***мезо-*** та ***ентодерми***); у вищих рослин усі тканини беруть початок від твірної тканини (***меристеми***). Головна відмінність між тканинами тварин і рослин полягає ще в тому, що тканини тварин часто складаються не лише з клітин, а також із міжклітинної речовини, яка є продуктом їхньої життєдіяльності. Окремі клітини так званих рідких тканин (кров тощо) занурені в міжклітинну рідину. У тканинах рослин міжклітинної речовини практично немає. Натомість між оболонками рослинних клітин часто розміщені порожнини більшого чи меншого розміру – міжклітинники. Вміст сусідніх клітин рослин сполучений плазмодесмами.

Тканини тварин вивчає наука ***гістологія*** (від давньогрецьких *гістос* – тканина та *логос* – знання, слово, наука). Мікроскопічну будову тканин рослин досліджує ***мікроскопічна анатомія***.

• **Явище диференціації клітин і формування тканин.** Багатоклітинні організми часто беруть свій початок від однієї клітини – зиготи, спори тощо. У ДНК цієї клітини закодована вся спадкова інформація про майбутній організм. Дочірні клітини, хоча і є копіями материнської, однак з кожним поділом дедалі більше відрізняються від неї. Згодом вони перетворюються на клітини, характерні для певних тканин у складі тих чи інших органів. Такий процес дістав назву ***диференціації***. У дорослому організмі місця відмерлих клітин заступають подібні їм, а всі різні клітини органів і тканин діють узгоджено (явище ***інтеграції***). Отже, існують певні **взаємодії між клітинами**, які забезпечують узгоджений ріст і розвиток молодого організму та стабільність зрілого. Що відомо про такі взаємодії?

Учені встановили, що вже на ранніх етапах поділу зиготи одні клітини зародка впливають на інші. Це явище назвали ***зародковим взаємовпливом (ембріональною індукцією)***. Воно багато в чому до нашого часу залишається недослідженим. Доведено, що деякі зародкові клітини (*організатори*) виділяють певні речовини, які спрямовують диференціацію інших клітин. Так, реалізуючи лише певну частину власного геному, ці клітини стають епітеліальними, нервовими, м'язовими тощо. Важливу роль у диференціації відіграють так звані стовбурові клітини, при кожному поділі яких одна з дочірніх клітин відіграє роль організатора, інша – диференціюється (термін «стовбурова клітина» запропонував 1909 року російський гістолог О. Максимов (1874–1928)).

Стовбурові клітини розташовані в особливих місцях різних тканин (зокрема, внутрішнього середовища та епітеліальних) людини та багатьох хребетних тварин. Вони здатні поділятись, при цьому їм властиве са-

мопідтримання: після поділу одна з дочірніх клітин залишається стовбуровою, інша – згодом диференціюється. Вони також визначають здатність до регенерації, поновлюючи клітинний склад організмів.

Стовбурові клітини характеризуються низкою особливостей, які відрізняють їх від інших клітин. По-перше, вони здатні поділятися необмежену кількість разів. По-друге, при введенні стовбурових клітин в організм, вони знаходять зону ушкодження і залишаються в ній, забезпечуючи відновлення клітинного складу та втрачених функцій.

Слід зазначити, що стовбурових клітин в організмі людини дуже мало: у зародка людини одна така клітина припадає на 10 000 інших, а в людини віком понад 60 років – на 5–8 млн. Якщо стовбурові клітини втрачають свої властивості – організм приречений на загибель. Врятувати його може тільки операція з введення стовбурових клітин, отриманих від донора (*пригадайте, хто такий донор*), наприклад шляхом пересадження червоного кісткового мозку.

У зародків ссавців стовбурові клітини можуть давати початок усім типам клітин. У дорослому організмі вони лише підтримують кількість диференційованих клітин на необхідному для забезпечення життєздатності рівні.

• **Що таке орган?** ***Орган*** *– це частина організму, яка має певну будову, виконує одну або кілька специфічних функцій.* Зазвичай органи складаються з тканин різних типів, але часто переважає один з них (наприклад, у серці – м'язова тканина, у бруньках рослин – твірна тощо). Органи, які виконують спільні функції, складають певну ***систему органів***. Так, у більшості багатоклітинних тварин розвинені травна, дихальна, кровоносна, видільна, нервова, статева та інші системи.

Органи певної системи можуть бути просторово пов'язані між собою (травної чи дихальної) або «розкидані» в організмі та об'єднані лише функціонально (ендокринної).

Органи різних систем можуть тимчасово виконувати спільні функції, утворюючи ***функціональну систему органів***, наприклад під час бігу узгоджено працюють опорно-рухова, дихальна, кровоносна, нервова системи тощо.

Органи багатоклітинних організмів поділяють на призначені для розмноження (***репродуктивні***) та ті, які забезпечують усі інші процеси життєдіяльності – обмін речовин, рух, ріст тощо. Репродуктивні органи рослин, що слугують для статевого розмноження, називають ***генеративними***, а тварин – ***статевими***.

Ключові терміни та поняття. ***Колоніальні організми, тканина, орган, система органів, функціональна система органів.***

Коротко про головне

- Багатоклітинні еукаріоти належать до одного з трьох царств: Рослини, Гриби або Тварини.
- Клітини, які входять до складу багатоклітинних організмів, призначені для здійснення лише певних функцій, тобто диференціюються впродовж ряду послідовних поділів. Тому функціонування багатоклітинного організму як цілісної біологічної системи забезпечене узгодженою діяльністю всіх його клітин. Для багатоклітинних організмів характерний



індивідуальний розвиток (онтогенез). Стовбурові клітини дають початок усім диференційованим клітинам за весь період онтогенезу.

- Колоніальні організми утворюються шляхом вегетативного розмноження, коли особини дочірніх поколінь залишаються сполученими з материнською.
- У багатоклітинних грибів, водоростей і деяких тварин (наприклад, губок) є більш-менш диференційовані клітини, які майже не взаємодіють між собою, тому такі організми не мають тканин. Тіло багатоклітинних грибів складається з послідовно розміщених клітин, які утворюють нитки – гіфи. Їхня сукупність має назву грибниця, або міцелій. У багатоклітинних водоростей тіло має назву талом, або слань.
- Мішкоподібне тіло губок складається зі стінок та заповненої водою внутрішньої порожнини.
- Більшість багатоклітинних тварин та всі вищі рослини формують тканини та органи. Тканина – сукупність подібних за будовою, функціями та походженням клітин. Орган – це частина організму, яка має певну форму і будову, виконує одну або кілька специфічних функцій.
- Органи, які виконують спільні функції, утворюють систему органів. Органи різних систем можуть спільно виконувати певну функцію, утворюючи тимчасову функціональну систему.
- У багатоклітинних організмів розрізняють органи розмноження (репродуктивні) та всі інші.

Коротко про головне

Запитання для самоконтролю

1. *Чим характеризуються багатоклітинні тварини, рослини та гриби?* **2.** *Чим відрізняються колоніальні та багатоклітинні організми?* **3.** *Які багатоклітинні організми не мають тканин?* **4.** *Що таке тканина?* **5.** *Що становлять собою стовбурові клітини та яке їхнє біологічне значення?* **6.** *Що таке орган, система органів і функціональна система органів?* **7.** *Які органи називають репродуктивними та генеративними?*

Поміркуйте. *Що спільного та відмінного в організації багатоклітинних тварин, рослин і грибів?*

§ 41. ТКАНИНИ РОСЛИН

Пригадайте: *які рослини належать до водоростей, а які – до вищих рослин? Яка будова стінки рослинних клітин? Як побудоване стебло багаторічної дерев'янистої рослини? Що таке секреція та екскреція?*

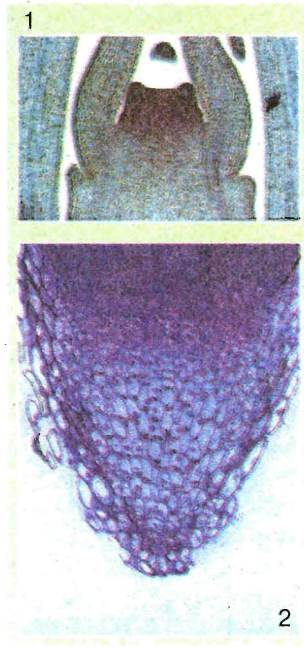
Тканини рослин поділяють на твірні, покривні, провідні, механічні та основні.

• **Твірні тканини (меристема)** складаються з дрібних, більш-менш щільно прилеглих одна до одної клітин. Вони мають тоненькі клітинні стінки з невисоким вмістом целюлози, велике ядро і зазвичай позбавлені вакуоль. Клітини твірних тканин здатні до поділу та росту, які можливі завдяки розтяжній оболонці. Твірні тканини практично не мають міжклітинної

речовини. Клітини меристеми при дозріванні перетворюються (диференціюються) в клітини інших типів.

За місцем розташування виділяють верхівкову, вставну та бічну меристеми. ***Верхівкова меристема*** розміщена на верхівці пагона (конус наростання) або кореня (зона поділу) та забезпечує ріст у довжину (верхівковий ріст) (мал. 41.1). ***Вставна меристема*** розташована біля основ міжвузлів деяких рослин (наприклад, злаків) і забезпечує їхнє видовження (вставний ріст). ***Бічна меристема*** у вигляді циліндра міститься всередині стебла або кореня багаторічних рослин та забезпечує їхнє потовщення.

Розрізняють також первинну та вторинну меристеми. ***Первинна меристема*** закладається на верхівках зародкових кореня та стебла. ***Вторинні меристеми*** виникають з різних дозрілих клітин, які зберегли здатність до поділу (наприклад, корковий камбій – з клітин основної тканини або шкірки).

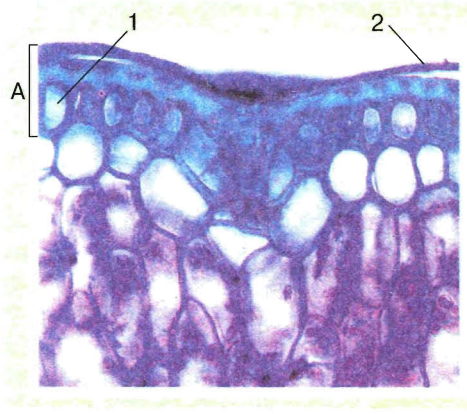


Мал. 41.1. Верхівкова меристема на верхівці пагона (1) і кореня (2)

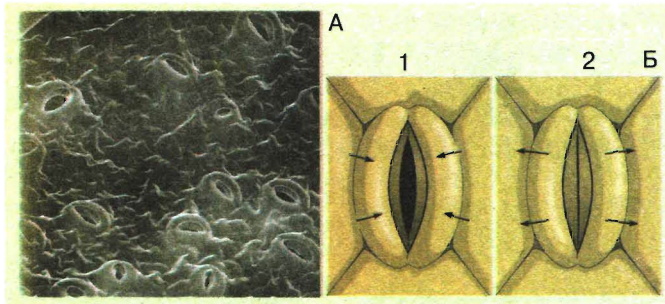
У разі ушкодження тканин чи при вегетативному розмноженні деякі клітини епідерми, основної тканини тощо також виявляють здатність до поділу. При цьому з клітин інших тканин виникають клітини, які забезпечують регенерацію чи утворення нових особин.

• **Покривні тканини** розташовані на поверхні органів і відмежовують їх від зовнішнього середовища. Вони захищають організм від впливів несприятливих зовнішніх чинників, забезпечують його взаємозв'язок з довкіллям, регулюють процеси газообміну та випаровування води (транспірації). Розрізняють первинну (епідерма, або шкірка) та вторинні (корок) покривні тканини.

Епідерма (шкірка) складається з одного чи кількох шарів прозорих живих клітин, які щільно прилягають одна до одної, тому міжклітинники практично відсутні (мал. 41.2). Більшу частину об'єму цих клітин охоплює вакуоля з клітинним соком, а цитоплазма має вигляд тонкого пристінкового шару, в якому міститься ядро. Клітини шкірки зазвичай безбарвні. Виняток становлять деякі водні вищі рослини, папороті, що зростають у затінку, та продихові клітини, що містять хлоропласти. Іноді клітини шкірки забарвлені в синій чи фіалковий кольори, завдяки наявності відпо-



Мал. 41.2. Шкірка (епідерма): А – покривні клітини (1); шар воскоподібної речовини (2)

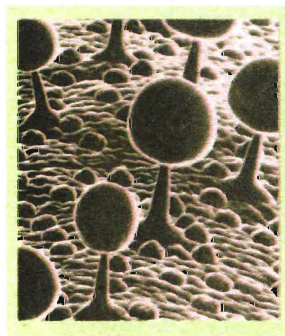


Мал. 41.3. Будова (А) та схема будови (Б) продихів. Коли вода заходить у продихові клітини, тиск у них зростає та продихова щілина відкривається (1). Коли вода залишає продихові клітини, тиск у них падає і щілина закривається (2)

відних пігментів у клітинному соку. Зовнішні стінки цих клітин помітно товстіші від внутрішніх та часто просякнуті мінеральними речовинами (наприклад, у хвощів відкладається SiO_2). Шкірка вкриває всі органи однорічних і молоді пагони багаторічних деревних рослин протягом одного вегетаційного періоду, а її клітини певний час зберігають здатність до поділу.

Зверху епідерма зазвичай вкрита продуктом секреції своїх клітин – особливим шаром воскоподібної речовини, який запобігає випаровуванню води. Найкраще цей шар розвинений у рослин посушливих місцевостей, наприклад у деяких пальм його товщина може сягати 5 мм. Цікаво, що таким рослинам найлегше виживати у великих містах. Товстий шар кутикули захищає їх від впливу забрудненого повітря.

Попарно розташовані бобоподібні ***продихові клітини*** містять хлоропласти, оточують продихові щілини та регулюють їхнє розкриття чи закриття (мал. 41.3). Через продихи рослина здійснює газообмін. Стінки продихових клітин навколо продихової щілини товщі від тих, що обернені до сусідніх клітин. Коли тиск цитоплазми на стінки зростає, зовнішні стінки клітини розтягуються, а внутрішні – вгинаються, і щілина розширюється. Коли тиск падає, продихова щілина закривається, що запобігає випаровуванню води. Вдень, коли у клітинах відбувається фотосинтез, внутрішньоклітинний тиск збільшується і продихова щілина відкривається, а вночі, коли фотосинтез припиняється, тиск падає і щілина закривається. Через продихи також відбувається транспірація. Продихи зазвичай розташовані з обох боків листка, але найбільше їх переважно на нижньому боці. Кількість продихів може сягати кількох сотень на 1 мм^2.

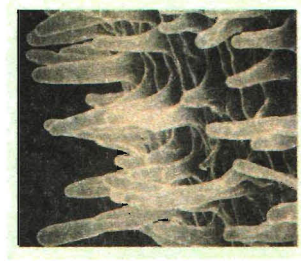


Мал. 41.4. Залозисті волоски (фотографію зроблено за допомогою сканувального мікроскопа)

Особливими утворами шкірки листка є ***водяні продихи*** – комплекс клітин, що оточують щілину, через яку на поверхню виділяються краплини води. Це відбувається, коли повітря насичене вологою, і тому рослина не може випаровувати необхідну кількість води. Водяні продихи найчастіше розташовані по краях листків, вони притаманні зазвичай рослинам, що зростають в умовах вологого клімату.

На епідермі часто є одно- чи багатоклітинні волоски різноманітної будови, які становлять собою живі або відмерлі видовжені клітини. Одні з них захищають рослину від надлишкових витрат вологи, інші – від виїдання тваринами чи виконують секреторну функцію (залозисті волоски) (мал. 41.4).

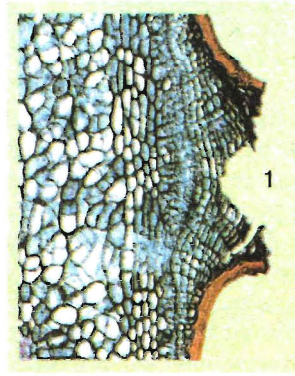
Залозисті волоски кропиви жалкої просякнуті SiO_2 і містять заповнені мурашиною кислотою вакуолі. Загострена верхівка волоска може легко проникати у шкіру людини або тварин. Разом з нею до ранки потрапляє кислота, яка сильно подразнює шкіру. Здерев'янілі волосини – шипики, розташовані на шкірці малини, ожини та деяких інших рослин, захищають їх від виїдання тваринами. Мінеральне живлення здебільшого відбувається через кореневі волоски – вирости клітин шкірки всисної зони кореня (мал. 41.5).



Мал. 41.5. Кореневі волоски

Корок заміщує епідерму деревних і багаторічних трав'янистих рослин. Особливий корковий камбій назовні утворює шари клітин, потовщені стінки яких просочені ліпідами і непроникні для газів та води, тому їхній вміст швидко відмирає. Так виникає шар корка. Усередину корковий камбій продукує живі клітини основної тканини. Клітини корка видовжені, щільно прилягають одна до одної та розташовані в багато шарів (мал. 41.6). Верхні шари корка з часом злущуються, тому корковий камбій протягом усього існування рослини утворює нові клітини.

На поверхні корка є ***сочевички***, через які відбувається газообмін. Вони мають вигляд горбків із щілиною посередині (мал. 41.6). Зовні нагадують насіння сочевиці, звідки й походить їхня назва.

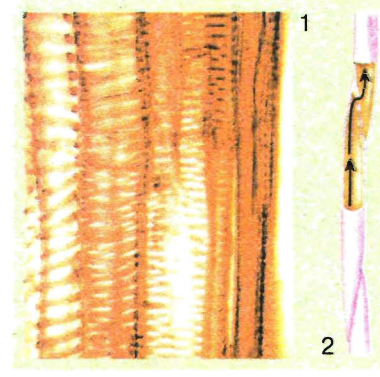


Мал. 41.6. Корок із сочевичкою (1)

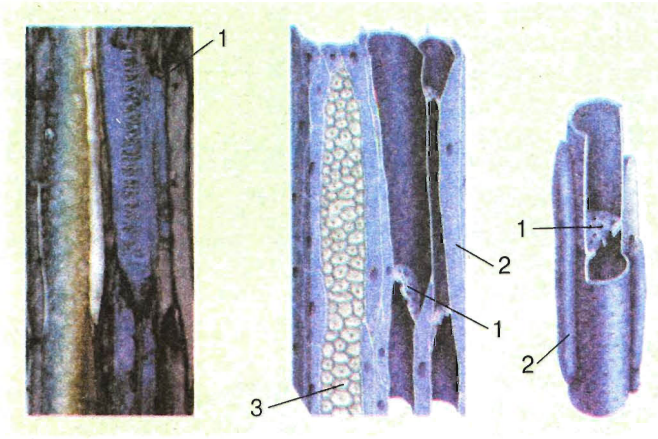
• **Провідні тканини** забезпечують два потоки речовин: висхідний (розчини мінеральних солей, а також органічних речовин пересуваються від кореня до надземних частин рослини і далі) та низхідний (синтезовані в зелених пагонах органічні речовини надходять до інших органів). Ці потоки відбуваються у двох типах комплексної провідної тканини – ксилемі та флоемі. Крім провідних елементів (судини, трахеїди у ксилемі; ситоподібні трубки у флоемі), до складу комплексної тканини входять також клітини основної та механічної тканин.

Ксилема пронизує всі частини рослини й утворює єдину провідну систему. Вона складається з власне провідних елементів (відмерлих клітин – судин і трахеїд), а також живих супутніх клітин основної тканини (мал. 41.7, 1). Трахеїди – одноклітинні утвори веретеноподібної форми завдовжки від часток міліметра до 12 см (у лотоса), що мають у своїх оболонках пори (мал. 41.7, 2).

Стінки видовжених клітин судин просочені жироподібною речовиною. Вони розташовані послідовно одна за одною; поперечні стінки між ними мають великі отвори або взагалі відсутні. Середня довжина окремої



Мал. 41.7. Судини (1) і трахеїди (2)

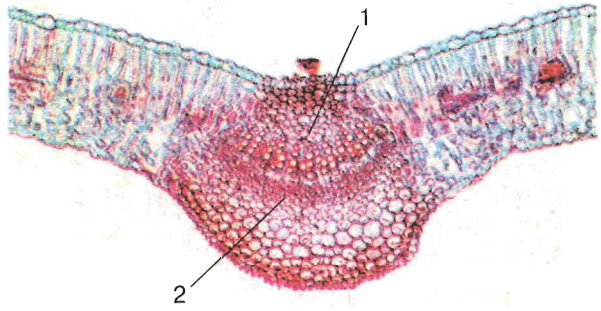


Мал. 41.8. Флоема: 1 – ситоподібні пластинки (через їхні отвори сполучається цитоплазма двох сусідніх клітин); 2 – клітини-супутниці; 3 – клітини основної тканини, які оточують ситоподібні трубки

судини складає приблизно 10 см, але інколи може сягати кількох метрів (наприклад, у дуба – до 2 м), діаметр – близько 0,5 мм. Стінки судин і трахеїд мають потовщення різноманітної форми (у вигляді кілець, спіралей, суцільних нашарувань з порами тощо), які перешкоджають злипанню.

Елементи ксилеми водночас виконують опорну функцію завдяки потовщеним твердим стінкам. Так, у стеблах дерев'янистих рослин розташовані ближче до серцевини судини можуть закупорюватися жироподібною речовиною, втрачаючи провідну функцію, але посилюючи опорну. Навесні по ксилемі до пагонів надходять не лише розчини мінеральних солей з ґрунту, а й цукри, що утворюються внаслідок гідролізу крохмалю в запасаючих тканинах коренів і стебел. Вони слугують для росту листків до початку фотосинтезу.

Флоема, як і ксилема, є комплексною тканиною. Крім провідних елементів, до її складу входять клітини основної та механічної тканини. Провідні елементи флоеми складаються із ***ситоподібних трубок*** – живих видовжених позбавлених ядер клітин (мал. 41.8). Вони послідовно з'єднані між собою поперечними ділянками стінок – ситоподібними пластинками, що мають велику кількість пор, чим нагадують сито. Через отвори пластинок сполучається цитоплазма сусідніх клітин і здійснюється низхідний потік розчинів органічних речовин. Стінки клітин потовщені, але не дерев'яніють. Поряд із ситоподібними трубками розташовані клітини-



Мал. 41.9. Будова судинно-волокнистого пучка (жилка листка): 1 – ксилема; 2 – флоема

супутниці з ядрами. Через пори цих клітин у цитоплазму ситоподібних трубок надходять речовини, які прискорюють пересування органічних сполук.

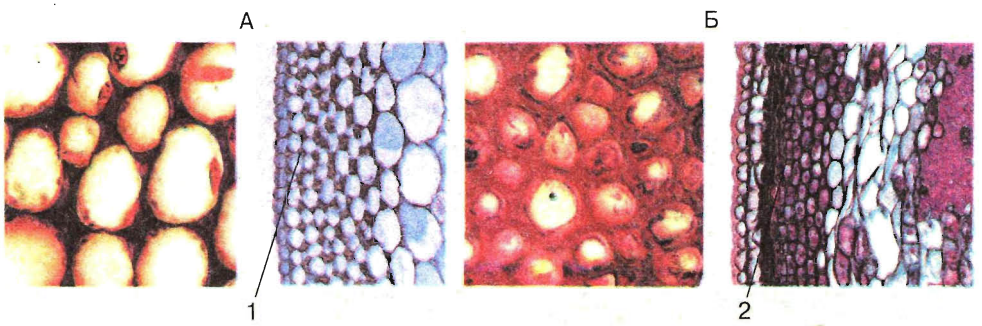
Судини, трахеїди та ситоподібні трубки разом з механічними та основними тканинами утворюють ***судинно-волокнисті пучки***, наприклад жилки листків (мал. 41.9). Їх поділяють на закриті й відкриті. Закриті судинно-волокнисті пучки, на відміну від відкритих, позбавлені камбію і тому нездатні потовщуватись. Закриті пучки притаманні однодольним, відкриті – голонасінним і дводольним рослинам. Провідну функцію виконують також клітини основної тканини, які слугують для транспорту речовин між тканинами (наприклад, серцевинні промені забезпечують переміщення речовин у горизонтальному напрямку між різними шарами стебла: корою, камбієм, деревиною та серцевиною).

Молочники – система видовжених клітин, по яких рухається сік молочно-білого (кульбаба, різні молочаї тощо) чи жовтогарячого (чистотіл) кольорів, що має назву ***латекс***. Це суміш рідин, у якій, окрім водного розчину цукрів, білків і мінеральних речовин, є краплі ліпідів та інших гідрофобних сполук. З латексу отримують каучук.

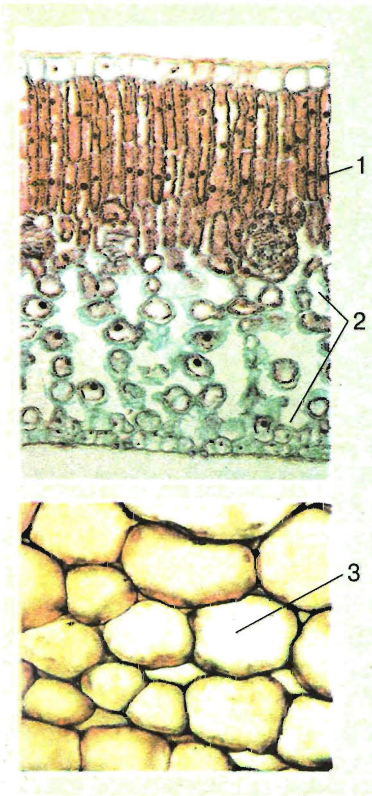
• **Механічні тканини** виконують опорні функції: надають рослині пружності та міцності, підтримують її частини в певному положенні. Вони складаються із живих або відмерлих клітин. Часто клітини цієї тканини видовжені і мають вигляд волокон (льон, коноплі тощо), але в листках або плодах їхня форма може бути іншою.

Живі клітини механічної тканини (мал. 41.10, 1) мають нерівномірно потовщені стінки. Вони зазвичай розташовані під покривною тканиною і входять здебільшого до складу кори молодих пагонів переважно дводольних рослин.

Відмерлі клітини механічної тканини (мал. 41.10, 2) бувають двох типів. Одні з них мають вигляд видовжених клітин – волоконець до 40 мм (льон) і більше завдовжки. Оболонки цих клітин рівномірно потовщені і зазвичай здерев'янілі. У стеблі ці клітини розташовуються у вигляді окремих пучків або ж утворюють суцільний циліндр, який на поперечному зрізі має вигляд кільця. Клітини іншого типу – округлі або паличкоподібні. Вони часто трапляються у плодах (наприклад, кам'янисті



Мал. 41.10. Різновиди механічної тканини. А. Тканина, що складається із живих клітин (1). Б. Тканина, що складається з мертвих клітин (2)



Мал. 41.11. Різновиди основної тканини: 1 – хлорофілоносна; 2 – повітроносна; 3 – запасаюча

клітини, що утворюють оболонку кісточки у вишні, сливи тощо).

• **Основні тканини** складаються із живих клітин, що мають тонкі стінки. Між клітинами зазвичай є великі міжклітинники. Ці тканини розташовані між іншими тканинами, зокрема механічними та провідними, та складають основну масу рослин. Залежно від особливостей будови та функцій розрізняють такі види основної тканини.

Хлорофілоносна, або ***асиміляційна, основна тканина*** побудована клітинами, які містять хлоропласти (мал. 41.11, 1). Вона розміщена в зелених частинах (переважно в листках) під покривною тканиною. В її клітинах здійснюється фотосинтез.

Запасаюча основна тканина (мал. 41.11, 3) міститься в усіх частинах рослини, утворюючи інколи окремі шари (наприклад, серцевина стебел). В її клітинах розташовані лейкопласти, інколи – хромопласти (оцвітина квіток, оплодень). Головна її функція – накопичення запасних поживних речовин (крохмаль та ін.), а в рослин посушливих місцевостей – ще й води (кактуси, агави тощо).

Повітроносна основна тканина слугує для газообміну і має міжклітинники (мал. 41.11, 2). Найкраще вона розвинена у рослин, які мешкають у середовищі з низьким умістом кисню (водні та болотяні рослини), а також у коренях видів, що поширені на ущільнених ґрунтах. Ця заповнена газом тканина дає змогу водним рослинам або їхнім частинам утримуватися на поверхні або в товщі води.

Окремі клітини основної тканини виконують секреторну функцію, синтезуючи смоли, ефірні олії тощо і виділяючи їх назовні.

Екскреція в рослин має певні особливості порівняно з тваринами. Продукти обміну речовин зазвичай накопичуються в певних клітинах. У такий спосіб вони вилучаються з обміну речовин. Назовні частина екскреторних сполук потрапляє через окремі видільні клітини або залози (нектарники тощо). Часто продукти обміну мають певне значення для життєдіяльності самого організму. Видільну функцію виконують видозміни епідерми – багатоклітинні залозисті волоски або пластинки різноманітної будови. Усередині рослин в основній тканині є особливі залозисті клітини, в яких утворюються певні речовини (переважно ефірні олії, бальзами та смоли), а також міжклітинні порожнини, де накопичуються секрети, та система видільних ходів, якими вони виводяться назовні. Ці ходи пронизують стебла і частково листки в різних напрямках і мають оболонку, яка складається з кількох шарів відмерлих і живих клітин.

Нектарники розташовані у квітці чи на різних частинах пагонів. Вони складаються з клітин основної тканини, які утворюють нектар; протоки, якими секрет виходить назовні; покривних клітин, що оточують протоку та надають нектарнику різних форм (ямкоподібної, горбоподібної, ріжкоподібної тощо).

Нектар – водний розчин глюкози та фруктози, концентрація яких становить від 3 до 72 %, з домішками ароматичних речовин. Він приваблює запилювачів – комах і птахів – солодким смаком та запахом.

Ключові терміни та поняття. ***Меристема, епідерма, ксилема, флоема.***

Коротко про головне

- Тканини рослин поділяють на твірні, покривні, провідні, механічні та основні.
- Твірні тканини (меристема) складаються з дрібних, щільно прилеглих одна до одної клітин. Клітини твірних тканин здатні до постійного чи періодичного поділу та росту, який можливий завдяки тоненькій розтяжній оболонці; при дозріванні вони перетворюються на клітини різних тканин – диференціюються.
- За місцем розташування виділяють верхівкову, вставну та бічну меристеми, за особливостями розвитку – первинну та вторинну меристеми.
- Покривні тканини розташовані на поверхні органів і відмежовують їх від зовнішнього середовища. Вони захищають організм від впливів несприятливих зовнішніх чинників, здійснюють його взаємозв'язок з довкіллям, регулюють процеси газообміну та випаровування води (транспірації). Розрізняють первинну (епідерма, або шкірка) та вторинні (корок) покривні тканини.
- Епідерма (шкірка) складається з одного чи кількох шарів прозорих живих клітин, які щільно прилягають одна до одної, тому міжклітинники відсутні. Зверху епідерма звичайно вкрита особливим шаром із жироподібних сполук, який запобігає випаровуванню води через її поверхню, – кутикулою. В епідермі розміщені продихи, які регулюють газообмін.
- Провідні комплексні тканини (ксилема та флоема) забезпечують висхідний (розчини мінеральних солей, а також органічних речовин пересуваються від кореня до надземних частин рослини і далі) та низхідний (синтезовані в зелених пагонах органічні речовини надходять до інших органів) потоки речовин.
- Судини, трахеїди та ситоподібні трубки разом з механічними та основними тканинами утворюють судинно-волокнисті пучки, наприклад жилки листків.
- Механічні тканини виконують опорні функції: надають рослині пружності та міцності, підтримують її частини в певному положенні. До них належать живі та мертві клітини (волокна) з потовщеними стінками.



Коротко про головне

- Основні тканини утворені живими клітинами з тонкими стінками та великими міжклітинниками. Вони розташовані між іншими тканинами.
- Залежно від особливостей будови та функцій розрізняють різні види основної тканини, наприклад хлорофілоносну, або асиміляційну, запасаючу, повітроносну. Окремі клітини основної тканини виконують секреторну функцію, синтезуючи смоли, ефірні олії тощо і виділяючи їх назовні.

Запитання для самоконтролю

1. Які типи рослинних тканин ви знаєте? 2. Що таке твірні тканини? Які види меристем вам відомі? 3. Які функції здійснюють покривні тканини? Які існують види покривних тканин? 4. Що таке епідерма та корок? 5. Що таке продихи та продихові клітини? Які їхні функції? 6. Що таке корок і корковий камбій? 7. Які будова та функції провідних тканин? 8. Які будова та функції механічних тканин? 9. Які будова та функції основних тканин? 10. Які особливості екскреції та секреції у рослин?

Поміркуйте. *1. У яких умовах мешкають рослини, листки яких позбавлені продихів? 2. Яку роль відіграють пахучі та пластичні речовини (ефірні олії, бальзами, смоли) в житті рослин? Відповідь аргументуйте.*

§42. ТКАНИНИ ЛЮДИНИ ТА ТВАРИН. ГІСТОТЕХНОЛОГІЯ

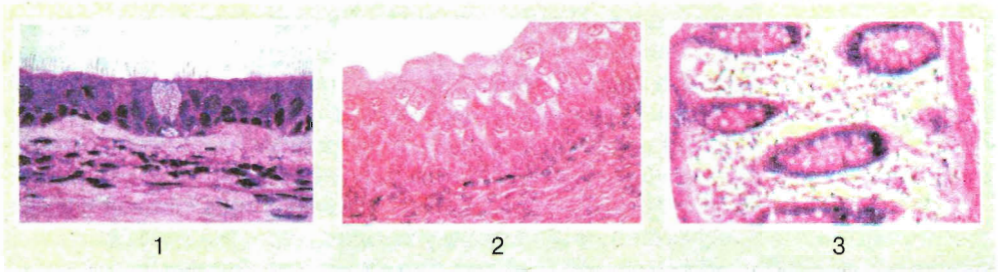
Пригадайте: *що таке міжклітинна речовина? Що таке нервовий імпульс, рефлекс, фагоцитоз, регенерація? Які функції крові? Що таке замкнена та незамкнена кровоносні системи? Що таке нейрогормони та нейромедіатори? Що таке гомеостаз? Які основні напрями біотехнологічних досліджень?*

Сучасну класифікацію тканин тварин і людини затверджено 1987 року на Міжнародному анатомічному конгресі. Згідно з нею виділяють чотири основні типи тканин: епітеліальні, м'язові, нервові та внутрішнього середовища.

• **Епітеліальні тканини** вкривають тіло, вистеляють його порожнини та порожнини внутрішніх органів. Вони утворені одним або багатьма шарами клітин, що щільно прилягають одна до одної. Міжклітинна речовина в епітеліальних тканинах майже відсутня. Клітини полярні: їхня верхівкова частина відрізняється за будовою від основи та може мати війки (***війчастий епітелій***; мал. 42.1, 1). Покривний епітелій часто виділяє назовні щільну зовнішню оболонку – *кутикулу* (членистоногі, круглі черви та ін.). У молюсків і деяких інших тварин покривний епітелій виділяє назовні захисну черепашку з органічних та мінеральних сполук.

Клітини епітелію здебільшого розташовані на ***базальній мембрані*** – тонкому шарі міжклітинної речовини. В епітелії відсутні кровоносні судини, тому його клітини живляться за рахунок надходження через базальну мембрану поживних речовин від розташованих глибше тканин.

Розрізняють кілька видів епітеліальних тканин (мал. 42.1). ***Покривний одношаровий епітелій*** утворює шкірні покриви багатьох безхребетних



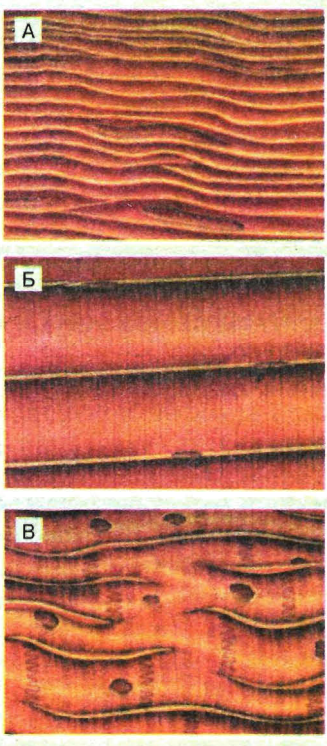
Мал. 42.1. Епітеліальні тканини: 1 – війчастий епітелій; 2 – покривний епітелій; 3 – залозистий епітелій

тварин, а також ланцетників. Окрім того, одношаровий епітелій вистеляє вторинну порожнину тіла, утворює внутрішні оболонки тонкого кишечнику, кровоносних і лімфатичних судин та ін. Особливим різновидом одношарового епітелію є війчастий (мал. 42.1, 1), що вистеляє стінки дихальних шляхів. ***Покривний багатошаровий епітелій*** утворює верхній шар шкіри (*епідерміс*) хребетних тварин та вистеляє порожнину рота, утворює внутрішні оболонки стравоходу. Клітини його внутрішнього шару здатні до поділу, а зовнішнього – можуть роговіти, гинути і поступово злущуватись. Тоді на місцях відмерлих клітин опиняються клітини з розташованих глибше шарів, що зумовлює оновлення епітелію. У багатьох хребетних тварин зроговілі ділянки в певних частинах тіла утворюють структури, які виконують захисні та інші функції: луски плазунів, пір'я та дзьоб птахів, кігті, нігті, роги, копита ссавців тощо.

Клітини ***залозистого епітелію*** (мал. 42.1, 3) виділяють різні речовини і часто входять до складу залоз.

За формою клітин розрізняють ***плаский, кубічний*** та ***циліндричний типи одношарового епітелію.***

Висока здатність епітеліальних тканин до самооновлення (регенерації) є однією з причин самозагоєння ран. Загалом епітеліальні тканини виконують розмежувальну, захисну, секреторну, газообмінну, екскреторну та всисну функції.



Мал. 42.2. Типи м'язових клітин: А. Непосмуговані м'язові клітини. Б. Скелетні посмуговані волоконця. В. Серцеві посмуговані волоконця

• **М'язові тканини** характеризуються здатністю до скорочення у відповідь на збудження – надходження нервового імпульсу (мал. 42.2). Вони входять до складу опорно-рухової системи та стінок більшості внутрішніх органів, забезпечують рухи (переміщення в просторі) всього тіла чи окремих його частин, а також певне фіксоване роз-

ташування в просторі – позу. Цим тканинам властива здатність до регенерації (за винятком серцевого м'яза). Їх поділяють на непосмуговані та посмуговані. М'язові клітини містять багато розташованих у певному порядку пучків ***міофібрил*** – ниток скоротливих білків (актину, міозину та ін.). Групи клітин зібрані в пучки, між якими розташована сполучна тканина з кровоносними та лімфатичними судинами та нервовими волокнами.

Непосмугована (гладенька) м'язова тканина побудована з клітин, які найчастіше мають веретеноподібну форму та одне ядро; входять до складу непосмугованих м'язів (мал. 42.2, А). Їхні клітини позбавлені посмугованості, а скорочення мимовільні та повільні. Клітини цієї тканини здатні до сильного розтягування і тривалий час можуть перебувати в стані скорочення. Непосмуговані м'язи – частина оболонок внутрішніх органів тварин. Мускулатура плоских і кільчастих червів, а також молюсків і деяких інших тварин утворена непосмугованими м'язами.

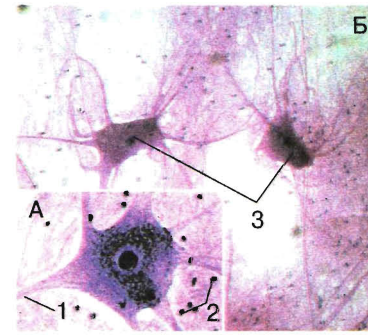
Посмугована (поперечносмугаста) м'язова тканина складається з багатоядерних видовжених великих волоконець (мал. 42.2, Б). Їхні клітини здаються посмугованими, бо в них правильно чергуються світлі та темні диски зі скоротливих білків актину та міозину, що мають різні коефіцієнти заломлення світла. Посмуговані м'язи здатні скорочуватися значно швидше, ніж непосмуговані. Розрізняють посмуговану скелетну та серцеву м'язову тканини.

Посмуговані скелетні м'язові волокна утворюють скелетні м'язи, які сухожилками з'єднані з елементами скелета (рідше – шкіри). Вони входять до складу опорно-рухової системи, це також м'язи язика, глотки, гортані, верхньої частини стравоходу, діафрагми. Окремі волокна та м'язи в цілому вкриті сполучнотканинними оболонками, що запобігають надмірному розтягуванню. Посмугована м'язова тканина розвинена в людини, хребетних тварин та членистоногих. У круглих червів (аскарида, гострик та ін.) м'язи побудовані з особливої *косопосмугованої м'язової тканини*, яка за своїми властивостями нагадує посмуговану. Скорочення скелетних м'язів людини перебувають під контролем кори великих півкуль, тобто відбуваються довільно.

Посмуговані серцеві м'язові волокна утворюють один із шарів стінок серця хребетних тварин – *міокард* і деякі ділянки великих за діаметром кровоносних судин (аорти, верхньої порожнистої вени та ін.) (мал. 42.2, В). За особливостями будови вони подібні до скелетних, але в певних місцях зрощені між собою. Така структура сприяє швидкому поширенню імпульсів, що виникають в особливих клітинах самого міокарда. Серцевому м'язу притаманні мимовільні скорочення, які не залежать від свідомості. Клітини серцевого м'яза мають назву ***кардіоміоцити*** (від грец. *кардіа* – серце, *міос* – м'яз та *китос* – клітина). Вони розташовані між елементами волокнистої сполучної тканини і вкриті оболонкою, до складу якої, крім плазматичної мембрани, входить ще й базальна, що містить колагенові волокна. За особливостями будови кардіоміоцити можна поділити на три групи. Одні з них, які називають робочими, складають основу серцевого м'яза. Вони мають вигляд волоконець, що галузяться, і містять скоротливі нитки – міофібрили. Ці робочі кардіоміоцити утворюють міжклітинні контакти, об'єднуючись у серцеві м'язові волоконця.

Інша група кардіоміоцитів – *водії ритму* – забезпечують ритмічні скорочення серця. Ці клітини мають вигляд тонких волоконець, оточених

пухкою сполучною тканиною. У них періодично виникають нервові імпульси, які передаються до робочих кардіоміоцитів та викликають їхнє скорочення. Завдяки цьому серце здатне скорочуватись, навіть коли нервові імпульси не доходять до нього від центральної нервової системи. Частина кардіоміоцитів характеризується секреторною активністю. Вони виділяють гормон, який регулює артеріальний тиск. Характерною рисою серцевого м'яза є те, що він, на відміну від скелетних, іннервується лише вегетативною нервовою системою.

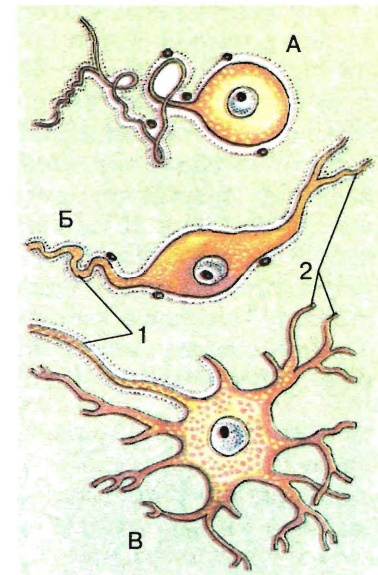


Мал. 42.3. Нервова тканина: А – нейрон з аксоном (1) та дендритами (2); Б – нервова тканина, до складу якої входять нейрони (3)

Видозмінені посмуговані м'язові волокна складають основу ***електричних органів*** (відомі в понад 300 видів риб: електричних скатів, вугрів, сомиків та ін.). Зокрема, в електричних скатів ці органи розташовані між грудними плавцями. Електричні розряди, потужність яких може сягати понад 200 вольтів, слугують для полювання та захисту від ворогів.

• **Нервова тканина** здатна до збудження під впливом певних чинників та його проведення в організмі. У ній виникають ***нервові імпульси***, що мають електричну природу: вони переміщуються по певних нервових волокнах у протилежних напрямках – від рецепторів до центральної нервової системи і від центральної нервової системи до робочих органів. Ця тканина складається з нервових (нейронів) та допоміжних клітин (мал. 42.3). Сукупність допоміжних клітин утворює ***нейроглію.***

Нейрон – клітина, що становить собою структурно-функціональну одиницю нервової системи. Нейрони здатні сприймати подразнення, перетворювати їх у нервові імпульси та проводити їх до клітин інших типів тканин. У дозрілому стані нейрони нездатні до поділу. Як ви пам'ятаєте з курсу біології 9-го класу, нейрон складається з тіла та відростків (аксонів та дендритів). У тілі розташовані ядро та інші органели. ***Аксон*** – видовжений (до 1 м завдовжки) та розгалужений на кінці відросток, по якому імпульси прямують від тіла нейрона до інших клітин. ***Дендрит*** – здебільшого короткий, сильно розгалужений відросток, по якому збудження проводиться від рецепторів або інших нейронів до тіла нервової клітини.



Мал. 42.4. Типи нейронів: А – уніполярний нейрон, відросток якого розгалужується на чутливий та руховий; Б – біполярний нейрон; В – мультиполярний нейрон; 1 – аксон, 2 – дендрити

Нейрони зазвичай мають один аксон та один чи кілька дендритів. За кількістю від-

ростків, що відходять від тіла клітини, розрізняють ***уніполярні*** (мають один відросток, який після виходу з тіла клітини поділяється на аксон і дендрит), характерні для безхребетних тварин, ***біполярні*** (мають по одному аксону та дендриту) та ***мультиполярні*** (є один аксон і багато дендритів) нейрони (мал. 42.4). Крім проведення нервового збудження, деякі нейрони можуть виробляти нейрогормони та нейромедіатори. Перші виконують в організмі такі самі функції, що й секрети ендокринних залоз – гормони. Другі (ацетилхолін тощо) забезпечують передачу нервових імпульсів між окремими нейронами або між нейронами та м'язовими клітинами, а також між нейронами та робочими органами.

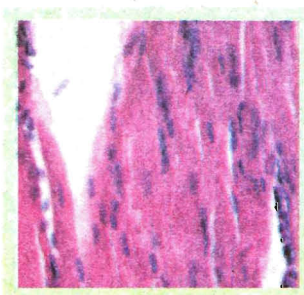
За характером функцій нейрони поділяють на чутливі, вставні та рухові. ***Чутливі (сенсорні) нейрони*** сприймають подразники зовнішнього та внутрішнього середовища. ***Вставні (асоціативні)*** нейрони здійснюють зв'язки між окремими нейронами, а ***рухові*** – передають сигнали до робочих органів. У нервовій тканині розрізняють ***сіру речовину***, яка складається з тіл нейронів і коротких дендритів, та ***білу***, побудовану з відростків нейронів, вкритих мієліновою оболонкою, – ***нервів***.

На відміну від нейронів, дозрілі клітини нейроглії здатні до поділу. Вони заповнюють проміжки між нейронами, постачають їм поживні речовини, утворюють електроізолюючі оболонки навколо відростків нервових клітин, синтезують деякі біологічно активні речовини, необхідні для функціонування нервової системи.

• **Тканини внутрішнього середовища** виконують різноманітні функції: підтримання гомеостазу, захисну, розподільну, транспортну, опорну, запасаючу, відновлення ушкоджених частин тощо. Вони складаються з клітин і добре розвиненої міжклітинної речовини, що має різну будову. Ці тканини створюють внутрішнє середовище організму, звідки й походить їхня назва. Їх поділяють на сполучні, скелетні та рідкі (кров тощо).

Сполучні тканини мають кілька різновидів (мал. 42.5). ***Волокниста***, або ***власне сполучна, тканина*** включає клітини, волокна різної будови та аморфну (безструктурну) основну речовину, що їх оточує. Волокна надають міцності та пружності органам. Наприклад, вони входять до складу стінок кровоносних судин і не дають їм змоги надмірно розтягуватися, забезпечують еластичність шкіри та ін. Залежно від співвідношення волокон та аморфної основної речовини розрізняють пухку та щільну тканини.

Пухка сполучна тканина присутня в багатьох органах, зокрема утворює шар так званої підшкірної клітковини. Вона складається з великої кількості основної речовини, в якій містяться волокна та клітини кількох типів. Деякі з них (***макрофаги***) здатні захоплювати мікроорганізми та інші частинки шляхом фагоцитозу. ***Фібробласти*** синтезують білки міжклітинної речовини (***колаген***, ***еластин*** та ін.), беруть участь у загоєнні ран, утворенні сполучнотканинних капсул навколо чужорідних тіл (наприклад, паразитичних організмів) тощо.

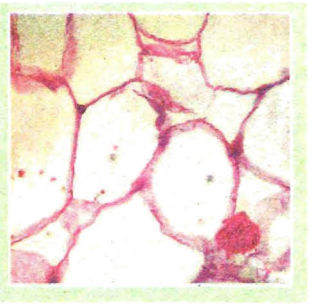


Мал. 42.5. Сполучна тканина

Щільна сполучна тканина містить велику кількість щільно розташованих волокон і небагато основної речовини та клітин. Її поділяють на неоформлену та оформлену. Волокна ***неоформ-***

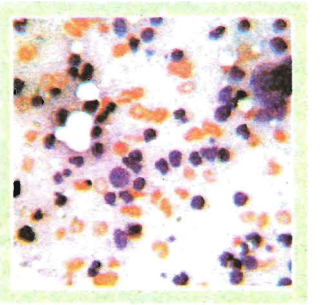
леної тканини розташовані безладно. Вона входить до складу власне шкіри (дерми) та окістя. Волокна ***оформленої тканини*** утворюють паралельні пучки. Із цієї тканини складено зв'язки та сухожилки.

Сполучні тканини зі спеціальними властивостями – це ембріональна, жирова та ретикулярна. *Ембріональна тканина* під час індивідуального розвитку дає початок клітинам усіх типів сполучних тканин. Її клітини зірчастої або веретеноподібної форми мають відростки, які, переплітаючись, утворюють сітку.



Мал. 42.6. Жирова тканина

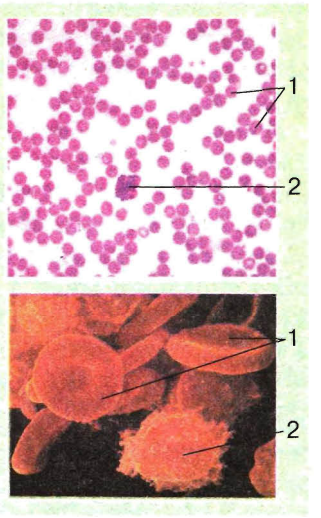
Жирова тканина присутня в багатьох органах (мал. 42.6). Основні її функції – накопичення запасів поживних речовин (наприклад, жирове тіло членистоногих, підшкірні відклади жиру в людини, ссавців та птахів) і теплоізоляція. Розміщуючись під шкірою та навколо внутрішніх органів, ця тканина забезпечує їхній механічний захист. Розрізняють білу та буру жирові тканини. *Біла жирова тканина* бере участь у поглинанні з крові, синтезі та зберіганні ліпідів. *Бура жирова тканина* слугує для терморегуляції.



Мал. 42.7. Ретикулярна тканина

Ретикулярна тканина утворює основу кровотворних органів, розташована в печінці, селезінці та ін. органах, входить до складу слизових оболонок кишечнику, деяких лімфатичних вузлів тощо (мал. 42.7). Складається з волокон і клітин – фібробластів, які утворюють сітку, а також стовбурових клітин. У кровотворних органах ретикулярна тканина створює оточення для клітин крові, що розвиваються.

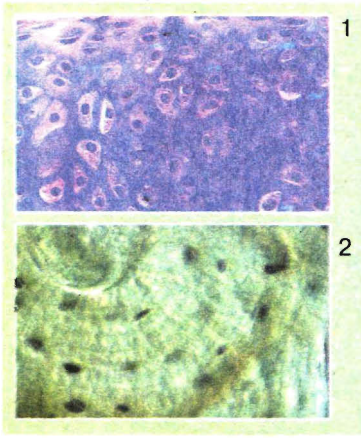
Кров і лімфа складаються з рідкої міжклітинної речовини (***плазма***), у якій розташовані окремі клітини (***формені елементи***; у крові – це *еритроцити, тромбоцити* та *лейкоцити*) (мал. 42.8). Основні функції цих тканин полягають у підтриманні гомеостазу, транспорті поживних сполук, гормонів та інших біологічно активних речовин, продуктів обміну, газів, забезпеченні імунітету. Збагачена киснем кров має назву ***артеріальна***, а вуглекислим газом – ***венозна***.



Мал. 42.8. Кров: 1 – еритроцити; 2 – лейкоцит

Еритроцити здійснюють транспорт газів. Вони містять дихальний пігмент гемоглобін, який надає їм червоного кольору і може вступати в нестійкі сполуки з O_2 та CO_2. Дозрілі еритроцити більшості ссавців позбавлені ядра. У членистоногих, молюсків і деяких інших безхребетних тварин різноманітні (червоні, рожеві, блакитні та ін.) дихальні пігменти розчинені у плазмі.

Лейкоцити мають ядра та виконують захисні функції, спричинюючи імунні реакції. Різнови-



Мал. 42.9. Скелетні тканини: 1 – хрящова; 2 – кісткова

ди лейкоцитів (*лімфоцити, моноцити* тощо) відрізняються за розмірами, особливостями будови та функцій, тривалістю життя. Одні з них (наприклад, макрофаги) шляхом фагоцитозу захоплюють і перетравлюють сторонні тільця (бактерії, тверді частки тощо), забезпечуючи *клітинний імунітет*. Інші (наприклад, Т-лімфоцити) здатні виробляти особливі захисні сполуки – антитіла, забезпечуючи *гуморальний імунітет*.

Тромбоцити беруть участь у зсіданні крові хребетних. Це позбавлені ядер частки велетенських клітин червоного кісткового мозку.

• **Скелетні тканини** хребетних тварин характеризуються пружністю (хрящова тканина) і міцністю (кісткова тканина) міжклітинної речовини та входять до складу опорно-рухового апарату.

Хрящова тканина складається з клітин та органічної основної речовини, яка визначає її міцність та пружність (мал. 42.9, 1). У зародків більшості хребетних тварин скелет утворений хрящовою тканиною. У дорослих особин більшості видів хребетних тварин і людини хрящі присутні в ребрах, суглобах, сухожилках, зв'язках, стінках повітроносних шляхів тощо. Вони забезпечують рухомі (в суглобах) та напіврухомі з'єднання кісток, перешкоджають злипанню повітроносних шляхів, забезпечують відновлення кісток при переломах тощо. З хрящів повністю складається скелет деяких дорослих риб (акули та скати).

Кісткова тканина має високий вміст неорганічних солей, що надає їй особливої міцності (мал. 42.9, 2). У міжклітинній речовині містяться карбонати та фосфати Кальцію, а також особливі білки (колагенові та ін.). Твірні та руйнівні клітини забезпечують заміщення хрящової тканини кістковою, перебудову та регенерацію кісток. Твірні клітини виділяють міжклітинну речовину, а руйнівні – за допомогою ферментів здатні розкладати хрящову та кісткову тканини. Розрізняють губчасту та компактну кісткову тканини.

Губчаста речовина розташована всередині кісток і складається з переплетених кісткових пластинок, зорієнтованих у напрямках сил стискання або розтягнення. Вона має вигляд губчастої маси, звідки й назва. Проміжки між кістковими пластинками заповнені червоним кістковим мозком.

Компактна речовина утворює зовнішні частини кісток; вона має вигляд суцільної маси з окремими порожнинами всередині, де розміщені клітини. Основною її структурною одиницею слугує ***остеон*** – сукупність концентрично розташованих кісткових пластинок (від 4 до 20). У центрі остеона проходить канал, заповнений сполучною тканиною, в якій розташовані кровоносні судини і нервові волокна.

• **Гістотехнологія** – напрямок досліджень у галузі біотехнології, що розробляє методики тривалого зберігання (консервації) тканин поза організмом і виготовлення тканинних і клітинних препаратів для наступного вивчення та практичного застосування. Наприклад, проби тканин заморожують, а потім із застосуванням різних методів мікроскопічної техніки

розрізають на тоненькі платівки, зневоднюють, забарвлюють різними сполуками тощо. Гістотехнологічні методи дають змогу вчасно встановити наявність хворобливих (патологічних) змін у тканинах, які свідчать про розвиток певного захворювання, зокрема злоякісних («ракових») пухлин. В Україні будь-яке хірургічне втручання, а також відключення свідомості хворого або знеболювання під дією певних сполук (***анестезія***) здійснюють з урахуванням результатів попереднього аналізу стану структури і життєдіяльності його тканин, органів та їхніх систем.

Перед сучасною гістотехнологією відкриваються широкі перспективи, пов'язані з вилученням стовбурових клітин з організму та вирощуванням їх на штучних поживних середовищах. Як вихідний матеріал використовують, наприклад, клітини пупкового канатика, що сполучає зародок з організмом матері. Учені різних країн розробляють методики, які б давали змогу з культур стовбурових клітин вирощувати цілісні органи, якими можна було б заміняти хворі або ушкоджені.

Ключові терміни та поняття. ***Ретикулярна тканина, остеон, гістотехнології.***

Коротко про головне

- В організмі тварин і людини виділяють чотири основні типи тканин: епітеліальні, м'язові, нервові та внутрішнього середовища.
- Епітеліальні тканини вкривають тіло, вистеляють його порожнини та порожнини внутрішніх органів.
- М'язова тканина здатна до скорочень у відповідь на подразнення, зокрема на нервовий імпульс. Залежно від будови та особливостей функціонування розрізняють непосмуговану (гладеньку) та посмуговану (поперечносмугасту) м'язові тканини.
- Нервова тканина здатна до збудження у відповідь на дію подразника та його проведення в організмі. Вона складається з нервових (нейронів) і допоміжних (нейроглії) клітин.
- Тканини внутрішнього середовища виконують різноманітні функції: підтримання гомеостазу, захисну, розподільну, транспортну, опорну, запасаючу, відновлення ушкоджених органів тощо. Вони складаються з клітин і добре розвиненої міжклітинної речовини, що має різну будову. Їх поділяють на сполучні, скелетні та рідкі (кров тощо).
- Гістотехнологія – напрям досліджень у галузі біотехнології, що розробляє методики тривалого зберігання (консервації) тканин поза організмом і виготовлення тканинних і клітинних препаратів для наступного вивчення та практичного застосування.



Запитання для самоконтролю

1. *Які типи тканин розрізняють у багатоклітинних тварин?* **2.** *Що становлять собою епітеліальні тканини? Які їхні різновиди за будовою та функціями вам відомі?* **3.** *Які особливості будови та функції м'язових тканин? Які види м'язової тканини вам відомі?* **4.** *Які властивості та будова нервової тканини?* **5.** *Що становлять собою тканини внутрішнього середовища? Які види цих тканин вам відомі?* **6.** *Що таке гістотехнологія?*

Поміркуйте. **1.** *Чому електричні органи риб утворені саме посмугованою м'язовою тканиною?* **2.** *Чому перед будь-яким хірургічним втручанням необхідно вивчити результати гістологічної експертизи?*

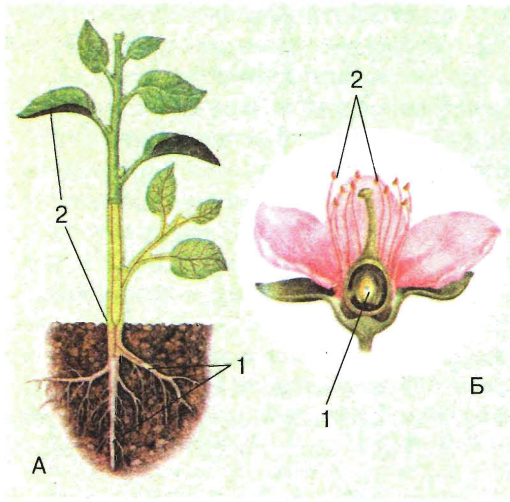
§43. ОРГАНИ ТА СИСТЕМИ ОРГАНІВ

Пригадайте: *що таке вегетативні, репродуктивні та генеративні органи? Які системи органів є у тварин?*

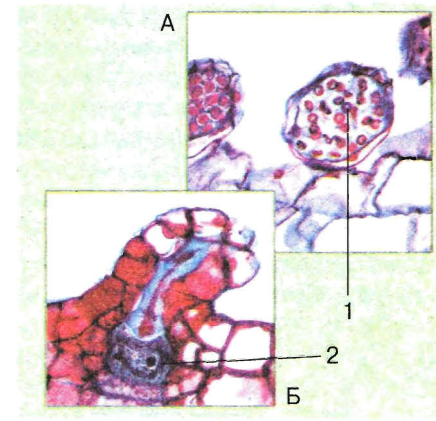
• **Органи вищих рослин.** Як ви пригадуєте, органи вищих рослин поділяють на вегетативні та репродуктивні (мал. 43.1). Вегетативні органи (*пагін* і *корінь*) виконують функції забезпечення різноманітних процесів життєдіяльності: живлення, виділення продуктів обміну, газообміну тощо. Проте вони не утворюють спеціалізованих клітин, які б забезпечували статеве чи нестатеве розмноження. Але слід зазначити, що часто рослина може розмножуватися за рахунок вегетативних органів або їхніх видозмін, тобто багатоклітинних утворів. Наприклад, за допомогою видозмінених пагонів, таких як вуса, бульби, цибулини, кореневища.

Підземний вегетативний орган вищих рослин має назву ***корінь***. Він зазвичай розташований у ґрунті та закріплює рослину в ньому, забезпечує поглинання розчинів поживних речовин і транспортує їх до надземних частин. У мохів корінь відсутній, а його функцію виконують *ризоїди* – нитчасті вирости, утворені послідовним рядом клітин. Надземний орган вищих рослин – ***пагін***, він складається з осьової частини (*стебла*) та бічних (*листків*). Видозміни пагонів можуть розміщуватися під землею: кореневища, стеблові бульби, цибулини, бульбоцибулини. Стебло забезпечує зв'язки між різними частинами рослини, воно утворює бруньки, з яких розвиваються нові пагони. Основними ж функціями листків є фотосинтез, дихання та випаровування води.

У рослин одні репродуктивні органи забезпечують нестатеве розмноження (за допомогою спор), інші – статеве (генеративні). Генеративні органи вищих спорових рослин (мохів, папоротей, хвощів і плаунів) (мал. 43.2)



Мал. 43.1. Органи рослин: А. Вегетативні: 1 – корені; 2 – пагін. Б. Репродуктивний: квітка – орган, який забезпечує насінне розмноження: 1 – маточка; 2 – тичинки



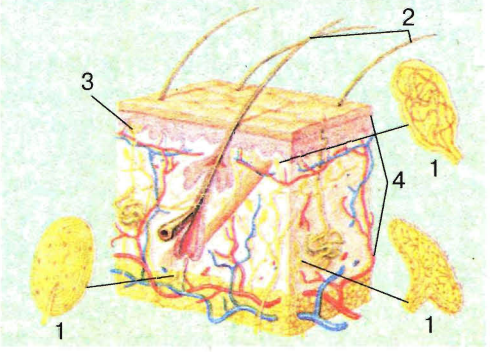
Мал. 43.2. Репродуктивні органи, які забезпечують статеве розмноження вищих спорових рослин: А – чоловічі статеві органи (антеридії), в яких утворюються сперматозоїди (1); Б – жіночий статевий орган з яйцеклітиною (архегоній) (2)

утворюються на особинах статевого покоління – ***гаметофітах***. Є рослини, в яких чоловічі та жіночі статеві органи розміщені на одній особині (наприклад, щитник чоловічий), в інших – на різних (зозулин льон та ін.).

Після злиття чоловічої та жіночої статевих клітин утворюється зигота. Із зиготи розвивається особина нестатевого покоління (***спорофіт***). На спорофіті розвиваються органи нестатевого розмноження – спорангії, які часто зібрані у групи (*спороносні колоски* та ін.). У спорангіях розвиваються спори, а зі спори – особина статевого покоління. Таким чином, цим рослинам притаманний складний життєвий цикл із чергуванням статевого та нестатевого поколінь. У мохів спорофіт утворюється на зеленому гаметофіті.

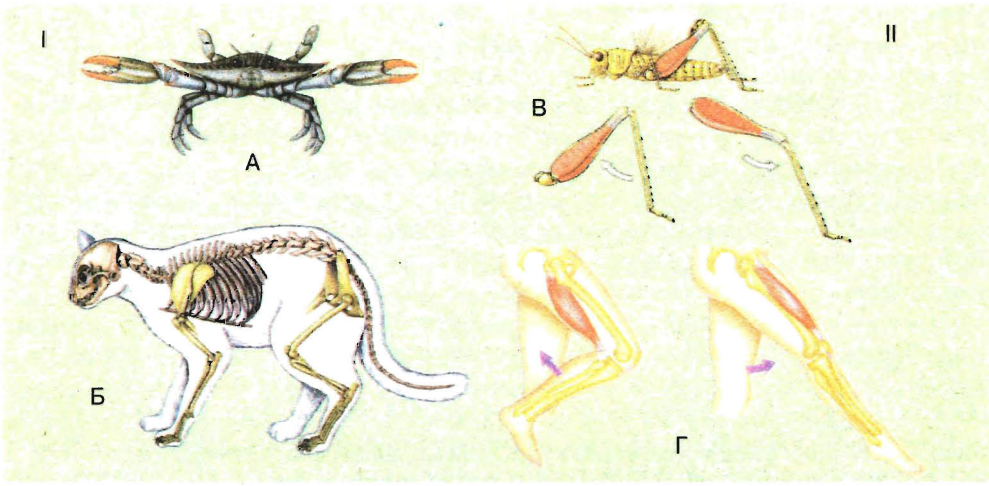
Якщо у вищих спорових рослин статеве й нестатеве покоління розвинені добре (у мохів переважає статеве покоління, у папоротей, плаунів та хвощів – нестатеве), то в насінних рослин (голонасінних і покритонасінних) статеве покоління (гаметофіт) значно редуковане. Чоловічий гаметофіт представлений клітинами пилкового зерна (як ви пригадуєте, у квіткових рослин перед заплідненням це вегетативна клітина та два спермії), а жіночий – сімома клітинами зародкового мішка (разом із зиготою та центральною клітиною, з якої розвивається зародкова тканина ендосперм; у її клітинах запасаються поживні речовини). У голонасінних рослин чоловічі та жіночі статеві органи зібрані на видозмінених генеративних пагонах – *шишках*. Генеративні органи покритонасінних рослин – це ***квітки***. Вони містять маточки та тичинки, де формуються відповідно жіночі та чоловічі гамети (мал. 43.1). З різних частин квіток після запліднення формуються інші типи генеративних органів – насінини та плоди.

• **Системи органів, притаманні багатоклітинним тваринам.** **Шкіра** утворює покриви тіла, які захищають організм від шкідливих зовнішніх впливів (мал. 43.3). Вони також часто беруть участь у газообміні (наприклад, гола волога шкіра жаб). Основою шкіри є одношаровий (у більшості безхребетних тварин) або багатошаровий (у більшості хордових) епітелій, під яким може розташовуватися сполучна тканина. У шкірі може бути багато різних залоз та окремих секреторних клітин. Наприклад, у ссавців – потові (виконують терморегуляційну та екскреторну функції), лоєві (змащують поверхню тіла), молочні (у самок для вигодовування дитинчат), пахучі (для відлякування ворогів чи приваблення особин протилежної статі). Функцію захисту від ворогів здійснюють і залозисті клітини, розміщені у шкірі таких земноводних, як саламандра та різних видів жаб і ропух. Вони виділяють отруйні речовини.



Мал. 43.3. Шкіра ссавців: 1 – рецептори, розташовані у шкірі; 2 – волосини; 3 – епідерміс (багатошаровий покривний епітелій); 4 – дерма, або власне шкіра

Ззовні шкіра часто вкрита захисним шаром (кутикулою). Її формують клітини покривного епітелію. У членистоногих і круглих червів вона водночас слугує зовнішнім скелетом і захищає тіло від несприятливих впливів довкілля. Оскільки кутикула нерозтяжна, то ці тварини ростуть завдяки линянню:



Мал. 43.4. I. Скелет тварин: А – зовнішній скелет членистоногих, утворений кутикулою; Б – внутрішній скелет ссавців складається з кісток. II. Мускулатура кінцівок членистоногих (В) і ссавців (Г)

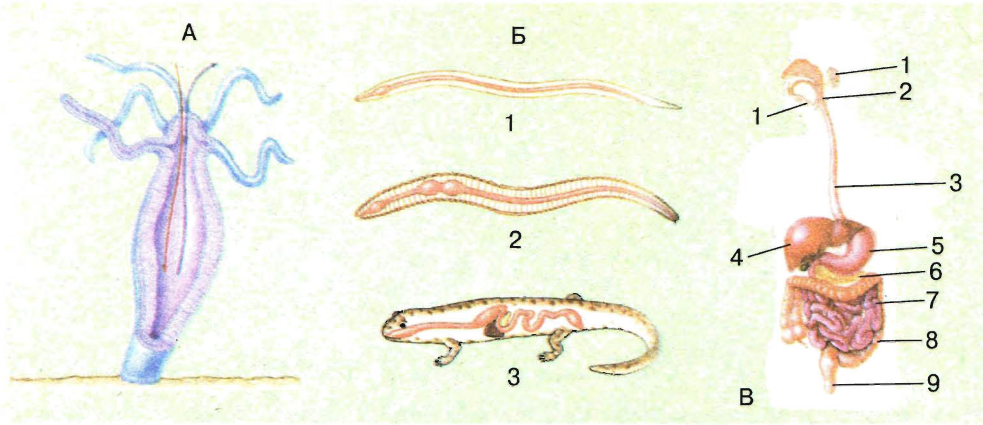
старий щільний покрив скидається і доки не затвердіє новий, розміри тварини швидко збільшуються.

Скелет і прикріплені до нього м'язи складають **опорно-рухову систему**, завдяки якій тіло підтримується в певному положенні, а також здійснюються рухи окремих його частин і пересування у просторі. У членистоногих є зовнішній скелет з кутикули, до складу якої входить нітрогеновмісний полісахарид хітин. Він оточує тіло з усіх боків, а м'язи прикріплюються до нього зсередини (мал. 43.4, А). Зовнішній скелет надійно захищає тіло тварини ззовні, але, на відміну від внутрішнього скелета, обмежує їхні розміри. У хребетних тварин і людини скелет внутрішній, тобто розташований всередині тіла. До нього кріпляться скелетні м'язи (мал. 43.4, Б).

У кільчастих червів і деяких інших тварин, позбавлених твердого скелета, тіло вкрите шкірно-м'язовим мішком, що складається з епітелію та кількох суцільних шарів м'язів. При скороченні ці шари м'язів діють як антагоністи: наприклад, поздовжні м'язи вкорочують, а кільцеві – видовжують тіло.

Механічні та хімічні перетворення речовин у складі їжі, всмоктування продуктів травлення у кров і лімфу, виведення назовні неперетравлених решток (*дефекацію*) забезпечують органи **травної системи** (мал. 43.5). У кишковопорожнинних і плоских червів анальний отвір відсутній, і неперетравлені тверді частинки їжі видаляються через ротовий отвір. Такий тип кишечнику називають *замкненим*. Натомість у круглих та кільчастих червів, молюсків, членистоногих, хребетних тварин кишечник *наскрізний* – він закінчується анальним отвором або отвором клоаки (мал. 43.5). Поява наскрізного кишечнику сприяла інтенсифікації обміну речовин, адже одночасно з виведенням неперетравлених решток поглинаються нові порції їжі.

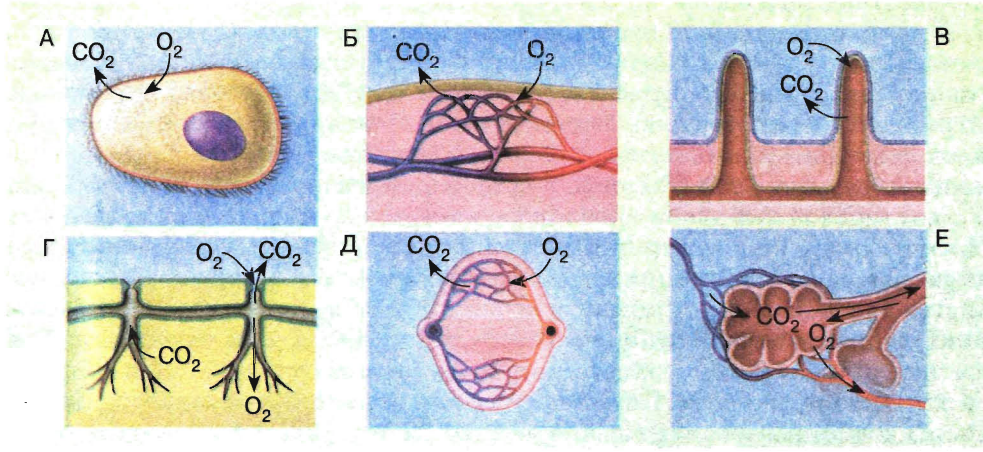
Окремі залозисті клітини та травні залози (слинні, підшлункова та ін.) продукують травні ферменти, які розщеплюють поживні речовини (високомолекулярні органічні сполуки) на їхні складові (амінокислоти, моносахариди, гліцерин і жирні кислоти, нуклеотиди), а також речовини,



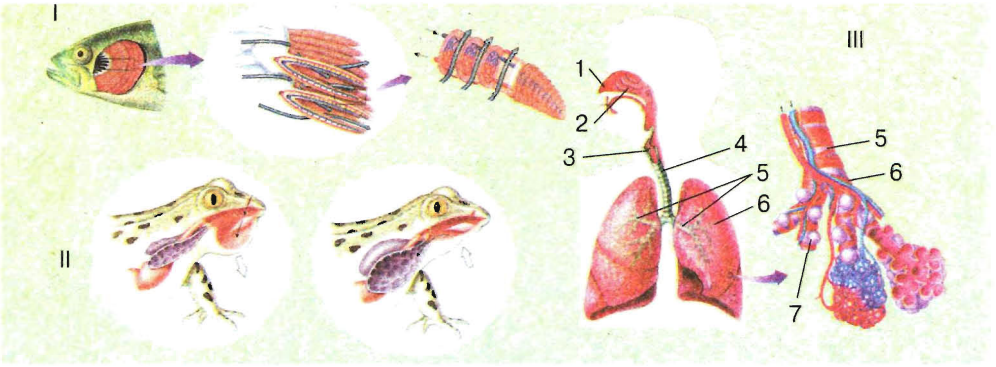
Мал. 43. 5. Травна система тварин: А – замкнена кишкова порожнина гідри; Б – наскрізний кишечник круглого (1), кільчастого (2) червів і хребетної тварини (3). В – травна система людини: 1 – слинні залози; 2 – глотка; 3 – стравохід; 4 – печінка; 5 – шлунок; 6 – підшлункова залоза; 7 – тонкий кишечник; 8 – товстий кишечник; 9 – пряма кишка

які емульгують жири, тобто полегшують дію травних ферментів – *ліпаз* (наприклад, жовч – продукт секреції клітин печінки хребетних тварин). У багатьох тварин (хижі кліщі, павуки, личинки мух та ін.) відоме так зване *зовнішнє, або позакишкове, травлення*. Ці тварини вводять травні ферменти у складі травних соків у їжу, а через деякий час всмоктують рідкі частково перетравлені продукти.

Дихальна система забезпечує надходження кисню в організм і виведення з нього вуглекислого газу, що утворився в процесі окиснення різних



Мал. 43.6. Різні варіанти газообміну: А – в одноклітинних організмів через оболонку клітини; Б – в амфібій, кільчастих червів крізь шкіру; В – у голкошкірих (морські зірки, морські їжаки) через вирости шкіри – шкірні зябра; Г – органи дихання комах – трахеї, в які повітря заходить через дихальця; Д – зябра риб дають змогу дихати киснем, розчиненим у воді; Е – у наземних хребетних тварин газообмін відбувається через стінки альвеол легень



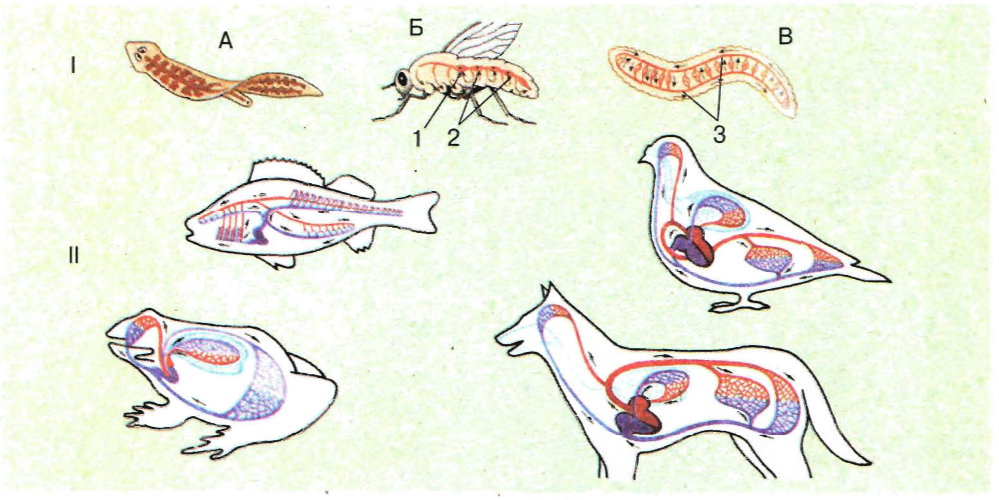
Мал. 43.7. І. Циркуляція води через зябра риб. ІІ. Легені земноводних мають комірчасту будову, диференційовані дихальні шляхи відсутні. ІІІ. Дихальна система людини включає диференційовані дихальні шляхи: 1 – носова порожнина; 2 – носоглотка; 3 – гортань; 4 – трахея; 5 – бронхи та губчасті легені, бронхи у легенях розгалужуються на дрібні канальці (6), які закінчуються альвеолами (7)

сполук (мал. 43.6). За допомогою *трахей* або *легень* тварини вбирають атмосферний кисень, чергуючи вдихання та видихання повітря (мал. 43.7). Водні тварини дихають розчиненим у воді киснем через *зябра* – вирости тіла з проникними для водних розчинів покривами. У зябрах часто розгалужуються кровоносні судини, в яких циркулює кров або інша рідина.

Кровоносна і лімфатична системи слугують для транспорту поживних речовин, продуктів обміну, кисню та вуглекислого газу, біологічно активних речовин. Вони беруть участь у захисних реакціях проти шкідливих чинників (паразити, отрути тощо) та підтриманні сталості фізико-хімічних і фізіологічних показників внутрішнього середовища (гомеостазу) за змін, що відбуваються в довкіллі.

У хребетних тварин і людини кровоносна система ***замкнена***, тобто кров рухається по судинах і не потрапляє в порожнину тіла (мал. 43.8). У них є ***серце*** – порожнистий мускулястий орган, який періодично скорочується та забезпечує рух крові по системі кровоносних судин. Судини, що несуть кров від серця, мають назву ***артерії***, а ті, що постачають кров до нього, – ***вени***. Артерії та вени сполучені судинами малого діаметра – ***капілярами***. У капілярах артеріальна кров віддає кисень, перетворюючись на венозну. Частина плазми крові через стінки капілярів проходить у порожнину тіла, перетворюючись на тканинну (міжклітинну) рідину. Вона постачає кисень та поживні речовини, отримані з крові, в усі клітини та органи, забираючи від них продукти обміну. У свою чергу, тканинна рідина через стінки лімфатичних капілярів потрапляє всередину них, формуючи лімфу. По системі лімфатичних судин лімфа повертається до великих вен кровоносної системи. У кільчастих червів кровоносна система також замкнена, однак серце відсутнє, а спрямований рух крові здійснюється завдяки ритмічним скороченням м'язів стінок певних кровоносних судин.

У тварин з незамкненою кровоносною системою (молюски, членистоногі) капіляри відсутні, тобто кров з артерій потрапляє до порожнини тіла. Там вона змішується з порожнинною рідиною. ***Порожнина тіла*** становить собою проміжки між внутрішніми органами, якими циркулює



Мал. 43.8. І. Циркуляторні системи безхребетних тварин: А – плоскі черви позбавлені кровоносної системи, транспорт газів здійснює міжклітинна рідина; Б – членистоногі мають незамкнену кровоносну систему, яка складається із серця (1) та артерій (2); В – у кільчастих червів кровоносна система замкнена, проте серце відсутнє (3 – кровоносні судини). ІІ. Різні варіанти будови замкненої кровоносної системи хребетних тварин (пригадайте їх)

міжклітинна рідина. Функції порожнинної рідини подібні до функцій крові та лімфи. Існують різні типи порожнини тіла: первинна, вторинна та змішана. Первинна порожнина не має власних стінок та становить собою проміжки між внутрішніми органами (наприклад, у круглих червів). На відміну від первинної, вторинна порожнина має власну вистилку, яка відокремлює її від внутрішніх тканин та органів (кільчасті черви, молюски, хордові, людина тощо).

У людини порожнина тіла включає грудну та черевну, розділені плоским м'язом – діафрагмою. У порожнині черепа міститься головний мозок, порожнині хребтового каналу – спинний.

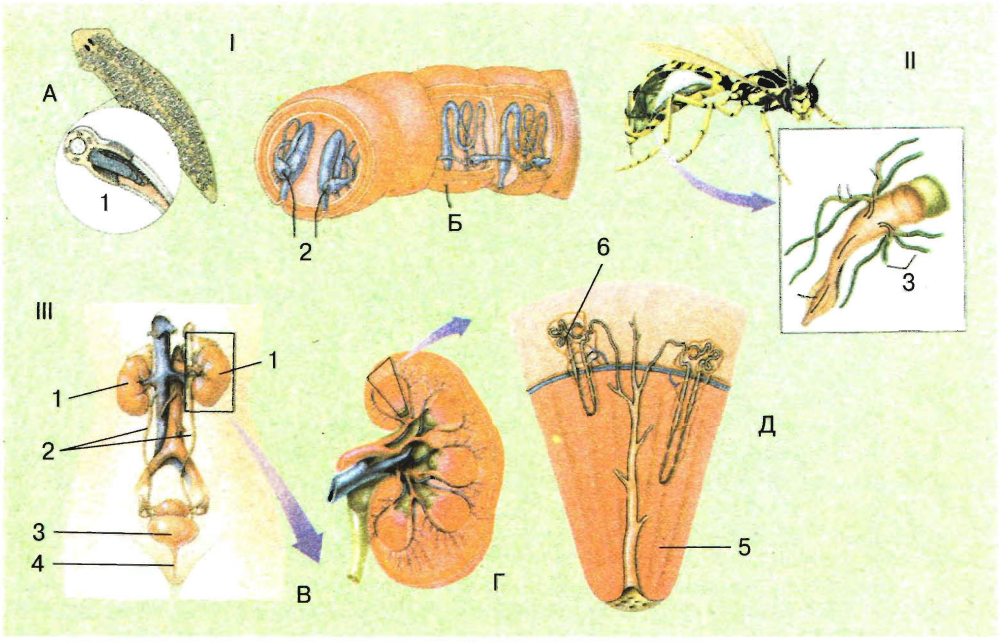
У членистоногих розвинена змішана порожнина тіла. У цих тварин під час зародкового розвитку закладається вторинна порожнина, але її вистилка згодом руйнується й залишки первинної порожнини зливаються з вторинною.

Видільна система забезпечує виведення з організму (екскрецію) кінцевих продуктів обміну речовин. У різних груп тварин існують відмінні типи органів виділення (мал. 43.9).

У плоских і кільчастих червів, ланцетників видільні органи – це різні варіанти видільних трубочок – нефридіїв, у ракоподібних – зелені залози, у комах і павукоподібних – мальпігієві судини, у молюсків і хребетних тварин – нирки. Усі ці органи, незважаючи на значні відмінності в будові, діють за однією схемою:

– плазма крові або порожнинна рідина через одношаровий епітелій потрапляє у просвіт вивідного каналу (*первинна сеча*);

– при протіканні первинної сечі вздовж каналу з неї через його стінки в організм повертається більша частина води, цукри та інші необхідні речовини (процес *зворотного всмоктування*);



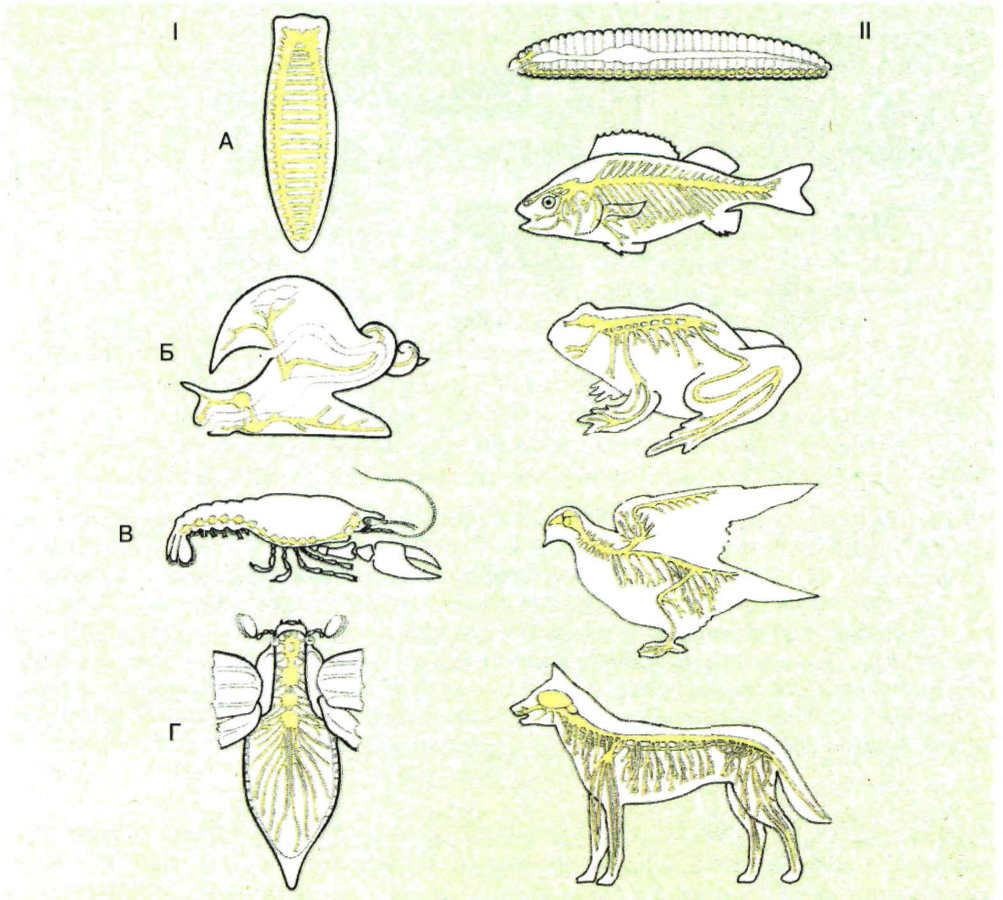
Мал. 43.9. І. Видільна система плоских (А) та кільчастих (Б) червів (1 – протонефридії плоских червів; 2 – метанефридії кільчастих). ІІ. Видільна система членистоногих представлена мальпігієвими судинами (3). ІІІ. Видільна система людини: В – план будови: 1 – нирки; 2 – сечоводи; 3 – сечовий міхур; 4 – сечівник. Г – нирка в розрізі; Д – ниркова піраміда (5) з нефронами (6)

– концентрована *вторинна сеча* виводиться назовні через *сечовивідний канал*.

Видільна система, крім виведення кінцевих продуктів обміну речовин, часто бере участь у процесах регуляції і концентрації солей в організмі. Від цього залежить осмотичний тиск у клітинах (*пригадайте, що це*). Здатність регулювати осмотичний тиск особливе значення має для мешканців водойм, уміст солей у яких періодично змінюється. Уявіть собі: рачок артемія може мешкати в різних водоймах – від майже прісних до тих, концентрація солей в яких становить до 300 ‰ (1 проміле дорівнює концентрації 1 г солей, розчинених у 1 л води).

Нервова система та залози внутрішньої секреції забезпечують регуляцію життєвих функцій організму, його функціонування як цілісної біологічної системи, реакції на різноманітні подразники зовнішнього та внутрішнього середовища. Виділяють кілька типів нервової системи (мал. 43.10). У поліпів кишковопорожнинних вона складається з розкиданих по тілу нейронів, які сполучаються своїми відростками. Нервові вузли в цих тварин відсутні (*дифузна нервова система*).

У плоских червів у передній частині тіла розміщений парний нервовий вузол – головний мозок. Від нього відходять парні поздовжні стовбури, сполучені поперечними нервами (*нервова система драбинчастого типу*). Отже, у плоских червів є поділ нервової системи на центральну (головний мозок і поздовжні нервові стовбури) та периферичну (нервові закінчення, які від них відходять) частини.



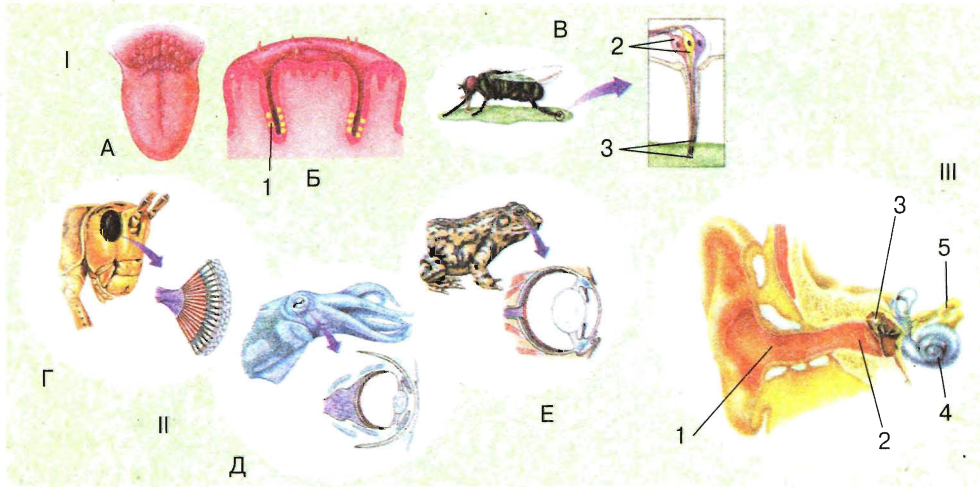
43.10. I. Нервова система: А – драбинчастого типу плоских червів; Б – розкидано-вузлового типу молюсків; В, Г – ланцюгового типу членистоногих. II. Різні варіанти будови нервової системи трубчастого типу хордових тварин (пригадайте їх)

У молюсків нервові вузли можуть знаходитись у різних частинах тіла, вони сполучаються за допомогою стовбурів (нервова система розкидано-вузлового типу). У видів, яким притаманний активний спосіб життя (черевоногі, головоногі), більшість нервових вузлів входить до складу головного мозку.

У кільчастих червів і членистоногих центральна нервова система включає головний мозок і черевний нервовий ланцюжок, що складається з двох зближених нервових стовбурів (проходять уздовж черевного боку тіла). Ці стовбури, як і нервові вузли, можуть зростатися між собою.

У хордових тварин центральна нервова система має вигляд трубки, розташованої на спинному боці тіла. У ланцетника передній кінець цієї трубки лише дещо розширений, а у хребетних тварин центральна нервова система поділена на розширений головний і видовжений спинний мозок. У хребетних тварин головний мозок складається з п'яти відділів (*пригадайте, яких*).

Органи чуття забезпечують зв'язок організму з довкіллям, сприйняття подразників зовнішнього та внутрішнього середовища. Найпростіше



43.11. I. Органи смаку. А – язик людини має особливі рецептори – смакові сосочки, здатні сприймати різні типи смаку; Б – смаковий сосочок у розрізі (1 – смакова цибулина); В – у мух смакові рецептори розташовані на лапках ніг (2 – рецепторні клітини; 3 – чутлива волосина). II. Органи зору – очі: Г – складні очі комах складаються із сукупності простих вічок – фасеток; Д – око головоногих молюсків має будову, подібну до будови очей хребетних тварин (Е). III. Будова органа слуху людини: зовнішнє вухо починається зовнішнім слуховим проходом (1); барабанна перетинка (2) відмежовує зовнішнє вухо від середнього, де розташовані слухові кісточки (3). Внутрішнє вухо – це завитка (4), від якої відходить слуховий нерв (5)

органи чуття побудовані в кишковопорожнинних. У поліпів подразники довкілля сприймають виключно рецепторні клітини, а в медуз є багатоклітинні органи сприймання світла (вічка) та рівноваги. Вічка дають змогу медузам розпізнавати ступінь освітленості, а органи рівноваги – контролювати положення тіла у просторі. Крім того, органи рівноваги здатні сприймати коливання води перед штормом, що слугує сигналом для віддалення медуз від берегів. У інших багатоклітинних тварин є органи зору, слуху, нюху, дотику тощо (мал. 43.11).

Статева система складається з органів, які слугують для забезпечення статевого розмноження, а в деяких випадках – початкових етапів розвитку нащадків. Органи чоловічої статевої системи – це насамперед статеві залози – сім'яники, в яких утворюються чоловічі статеві клітини, а також система проток, якими вони виводяться з організму. До складу органів жіночої статевої системи обов'язково входять статеві залози – яєчники, в яких формуються яйцеклітини, а також більш-менш розвинена система проток, якими вони виводяться з організму. У багатьох тварин (наприклад, у більшості плоских червів) є особливі залози – жовтівники, в яких утворюються жовткові клітини із запасом поживних речовин для зародка, а також сім'яприймачі (наприклад, у дощових червів), у яких накопичуються чоловічі статеві клітини, отримані під час парування.

У більшості тварин у тілі одних особин утворюються сперматозоїди (самці), в інших – яйцеклітини (самки). Таких тварин називають ***роздільностатевими*** (ссавці, птахи, плазуни, земноводні, хрящові риби, біль-

шість кісткових риб, членистоногих тощо). Але є й тварини, в яких в одному організмі утворюються як чоловічі, так і жіночі статеві клітини (малощетинкові черви, п'явки, більшість плоских червів тощо). Таких тварин називають ***гермафродитами***.

Ключові терміни та поняття. ***Роздільностатеві тварини, гермафродити.***

Коротко про головне

- Органи вищих рослин поділяють на вегетативні (пагін і корінь) та репродуктивні. Статеві органи вищих спорових рослин (чоловічі – антеридії і жіночі – архегонії) утворюються на особинах статевого покоління – гаметофітах. Із зиготи розвиваються особини нестатевого покоління (спорофіти), які забезпечують розмноження спорами. У голонасінних чоловічі та жіночі статеві органи зібрані на видозмінених генеративних пагонах – шишках. Генеративні органи покритонасінних рослин – це квітки. З різних частин квіток після запліднення формуються інші генеративні органи – насінини та плоди.
- У тварин існують органи, які утворюють покриви, опорно-рухову, травну, видільну, кровоносну, дихальну, нервову та статеву системи. Органи чуття забезпечують зв'язок організму з довкіллям, сприйняття подразників зовнішнього та внутрішнього середовища. Серед тварин відомі роздільностатеві та гермафродитні види.

Запитання для самоконтролю

1. Яка будова пагона і кореня? Які їхні функції? 2. Які органи рослин належать до репродуктивних? Що таке квітка, насінина та плід? 3. Що таке гаметофіт і спорофіт? Які їхні функції? 4. Що становлять собою покриви тіла багатоклітинних тварин? 5. Із чого складається опорно-рухова система в різних багатоклітинних тварин? Які її функції? 6. Які є основні типи травних систем багатоклітинних тварин та як вони функціонують? 7. Які органи дихання трапляються у тварин? 8. Які типи кровоносних систем трапляються у тварин? Які функції виконує кровоносна система? 9. Які функції органів дихання? 10. Яке значення для існування організму мають нервова система та органи чуття?

Поміркуйте. *Чому заповнену рідиною порожнину тіла круглих і кільчастих червів інколи називають гідроскелетом?*

§44. РЕГУЛЯЦІЯ ФУНКЦІЙ У БАГАТОКЛІТИННИХ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте: *які регуляторні системи багатоклітинних організмів вам відомі? Що таке нервова та гуморальна регуляції? Що таке гомеостаз?*

• Що таке біологічно активні речовини та регуляторні системи? ***Біологічно активні речовини*** – сполуки, що впливають на прояви життєдіяльності. ***Регуляторні системи*** забезпечують функціонування багатоклітинного організму як єдиної біологічної системи, зумовлюють його реакції на зміни умов зовнішнього та внутрішнього середовища. У тварин і людини до регуляторних систем належать нервова, імунна та ендокрин-

на; у рослин – окремі секреторні клітини. Регуляція діяльності клітин, органів та їхніх систем спрямована на підтримання гомеостазу внутрішнього середовища багатоклітинного організму.

• **Регуляцію життєвих функцій у багатоклітинних рослин** насамперед здійснюють ***фітогормони***. Ці сполуки синтезують не лише рослини, а й гриби. Вони в малих кількостях регулюють процеси обміну речовин, координують індивідуальний розвиток, впливаючи на поділ і ріст клітин, диференціювання тканин, формування органів, розвиток бруньок, проростання насіння тощо. Одні фітогормони можуть прискорювати життєві функції (поділ клітин, розвиток пагонів дозрівання плодів), інші – їх гальмувати (наприклад, викликати опадання листків).

До фітогормонів належать ауксини, цитокініни, гібереліни та абсцизова кислота.

Ауксини *утворюються у верхівковій твірній тканині і зумовлюють розтягування клітин, унаслідок якого пагін видовжується. Вони також впливають на диференціацію провідних тканин, стимулюють поділ клітин камбію, прискорюють формування додаткових коренів живців тощо. У сільському господарстві ауксини використовують для стимулювання утворення додаткових коренів у живців, опадання плодів перед збиранням врожаю, а у високих концентраціях – як гербіциди (різновид пестицидів, використовують для боротьби з бур'янами).*

Цитокініни *прискорюють поділ клітин, ріст і розвиток бічних бруньок, стимулюють проростання насіння, обмін речовин, затримують процеси старіння.*

Гібереліни *прискорюють ріст рослин, процеси цвітіння, формування плодів, стимулюють проростання насіння, розвиток бульб і цибулин тощо.*

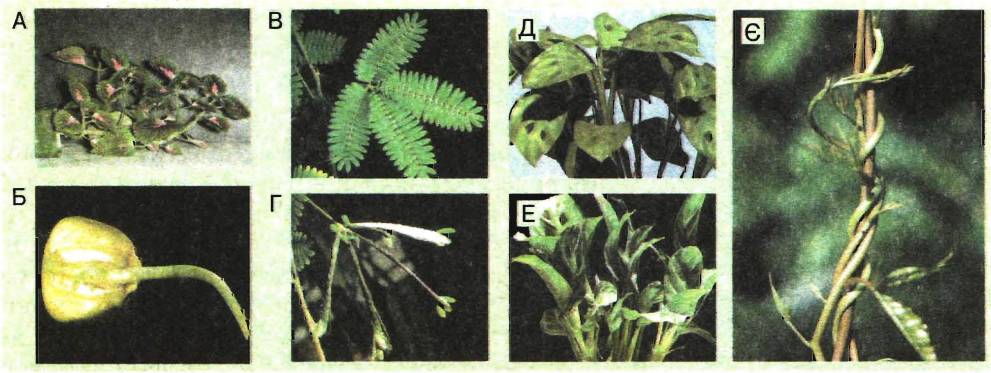
Абсцизова кислота *стимулює перехід рослин у стан спокою, збільшує тривалість цього періоду, стимулює опадання листків, пригнічує проростання насіння, ріст бруньок.*

За допомогою біологічно активних сполук рослини можуть впливати на особин свого або інших видів. Так, ***фітонциди*** пригнічують життєдіяльність інших організмів. Зокрема, пирій і ясен за допомогою цих речовин можуть гальмувати розвиток рослин інших видів, тобто зменшувати рівень міжвидової конкуренції. Тож, висіваючи на одній ділянці насіння рослин різних видів або плануючи сівозміни, слід враховувати, як ці види впливатимуть один на одного. Фітонциди, які виробляють, наприклад, сосна, часник або цибуля ріпчаста, вбивають мікроорганізми. Тому ці рослини з давніх-давен людина використовувала для лікування і профілактики багатьох інфекційних та інвазійних захворювань.

Алкалоїди – особливі отруйні для тварин сполуки. Вони захищають рослини від виїдання тваринами-фітофагами. Багато алкалоїдів використовують у медицині.

Алкалоїди знайдено приблизно в 2500 видів покритонасінних рослин переважно з родин Пасльонові, Лілійні, Макові, Коноплеві. Значення алкалоїдів у житті рослин – це захист від паразитів, поїдання тваринами тощо. Чимало алкалоїдів використовують у медицині. Наприклад, хінін (екстракт кори хінного дерева) застосовують для лікування малярії. Цікаво, що лікувальні властивості хініну були відомі індіанцям ще до того, як Колумб відкрив Америку. Алкалоїд колхіцин застосовують для експериментального отримання клітин зі збільшеними наборами хромосом. Він руйнує веретено поділу.

Фітогормонам, як і гормонам тварин, властива дистанційність дії. Це означає, що вони утворюються клітинами певних типів і транспортуються



Мал. 44.1. Реакції рослин на подразнення: тропізми (А, Б), настії (В–Е). А. Пагону притаманний негативний геотропізм (реакція на силу тяжіння землі), тому його ріст спрямований догори. Б. Кореню притаманний позитивний геотропізм: його ріст спрямований в глиб ґрунту. В, Г – сейсмонастії (реакції на струси) мімози сором'язливої. Листочки складного листка у стані спокою розправлені (В), якщо ж рослина відчуває струс, листочки складного листка складаються (Г). Д, Е – фотонастії у маранти триколірної: удень листки маранти розправлені (Д), уночі тиск в їхніх клітинах падає і листки згортаються (Е). Є. Колові рухи; коли рослина торкається будь-якої опори, вона під час росту накручується навколо неї

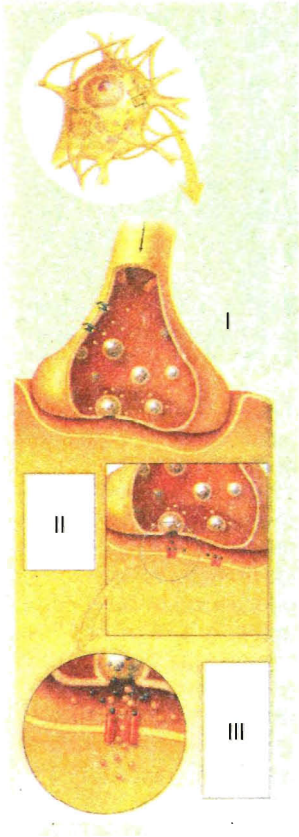
до тих частин рослини, на які вони впливають, по провідних тканинах з течією соків або безпосередньо від однієї клітини до іншої. Рослини здатні сприймати зміни в довкіллі і реагувати на них певними рухами, а саме – за допомогою тропізмів, настій тощо.

Тропізми – переміщення органів під час росту у відповідь на подразник, що має певну спрямованість (мал. 44.1, А, Б). Так, ростові реакції на напрямок падіння променів світла дістали назву *фототропізми*, на силу тяжіння землі – *геотропізми*, на хімічні сполуки – *хемотропізми* тощо. Якщо рухи спрямовані в бік подразника, то тропізми називають *позитивними*, якщо у протилежний – *негативними*.

Настії – рухи органів у відповідь на дію подразників, що не мають певного спрямування (зміна освітленості, температури тощо) (мал. 44.1, В–Е). Прикладом настій можуть слугувати відкривання та закривання віночка квітки у відповідь на зміну освітленості (*фотонастії*), згортання листків при змінах температури (*термонастії*), закриття листків комахоїдних рослин як реакція на рухи комахи (*сейсмонастії*) тощо. Настії можуть бути пов'язані з розтягуванням органів внаслідок нерівномірного росту або зміною внутрішньоклітинного тиску внаслідок коливань концентрації клітинного соку. Таким чином, рухи рослин, на відміну від тварин, не пов'язані з переміщенням усього організму, а лише окремих його частин – кореня, стебла, листків, квіток тощо.

• **Регуляція життєвих функцій у багатоклітинних тварин.** У більшості тварин одночасне функціонування нервової, імунної та ендокринної систем та їхні взаємодії забезпечують нейрогуморальну регуляцію життєвих функцій.

Особливості нервової регуляції. Нервова система регулює життєві функції за допомогою імпульсів. Нервові імпульси мають електричну природу,



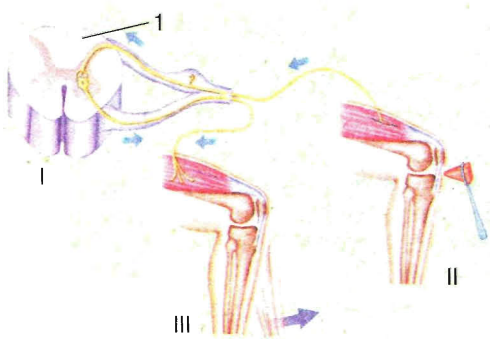
Мал. 44.2. Будова та функціонування синапсу: I. Під впливом нервового імпульсу міхурці з медіатором підходять до мембрани нервового закінчення. II. Міхурці з медіатором виділяються в синаптичну щілину. III. Медіатор взаємодіє з рецептором у складі мембрани іншого нейрона і проникає всередину нього. Це викликає потенціал дії і подальше переміщення імпульсу

проте в місцях контакту двох сусідніх нейронів, нейронів і м'язових чи інших клітин імпульс передається хімічним шляхом за участі особливих речовин – ***медіаторів*** (ацетилхоліну, норадреналіну тощо). Особливі структури, що забезпечують контакти між двома нейронами, називають ***синапсами***. У синапсі закінчення відростків нейронів розділено щілиною (мал. 44.2). Коли нервове збудження підходить до закінчення одного нейрона, то вивільняється медіатор, який хімічно змінюється та переносить інформацію до рецепторів іншого нейрона.

Після проведення нервового збудження медіатор за участі ферментів руйнується. Синапс передає сигнал тільки в одному напрямку. Різні медіатори можуть прискорювати або гальмувати передачу нервового імпульсу.

Рефлекси. Нервові імпульси передаються від рецепторів до центральної частини нервової системи. Там здійснюються аналіз і синтез отриманої інформації, після чого нові імпульси надходять до робочих органів, змінюючи їхню діяльність. Завдяки нервовій системі тварини здатні своєчасно сприймати подразники довкілля, а також зміни у власному внутрішньому середовищі та швидко на них реагувати. Таким чином, ***рефлекс*** – це реакція організму на подразники зовнішнього і внутрішнього середовища, яка здійснюється за участі нервової системи (мал. 44.3). Основу рефлекторної діяльності складають явища виникнення та гальмування нервового збудження.

Усі різновиди рефлексів І. П. Павлов відніс до безумовних (природжені) та умовних (набуті). Сукупність безумовних і умовних рефлексів забезпечує пристосування до непостійних умов довкілля.



Мал. 44.3. Колінний рефлекс у людини: I. Центр колінного рефлексу розташований у сірій речовині (1) спинного мозку; II. При легкому ударі по колінному суглобу збуджуються рецептори, від яких нервовий імпульс прямує до відповідного центру у спинному мозку; III. Центр надсилає новий імпульс, який прямує до м'язів, які скорочуються і забезпечують відповідні рухи ноги

Безумовні рефлекси спадкові та не змінюються протягом життя. Вони відіграють провідну роль у забезпеченні певних реакцій, зокрема одразу після народження, та становлять основу для утворення умовних рефлексів. Деякі безумовні рефлекси (колінний тощо) використовують для встановлення стану нервової системи. Безумовні рефлекси бувають харчові, статеві, орієнтовні, захисні (чхання, кашель, моргання тощо).

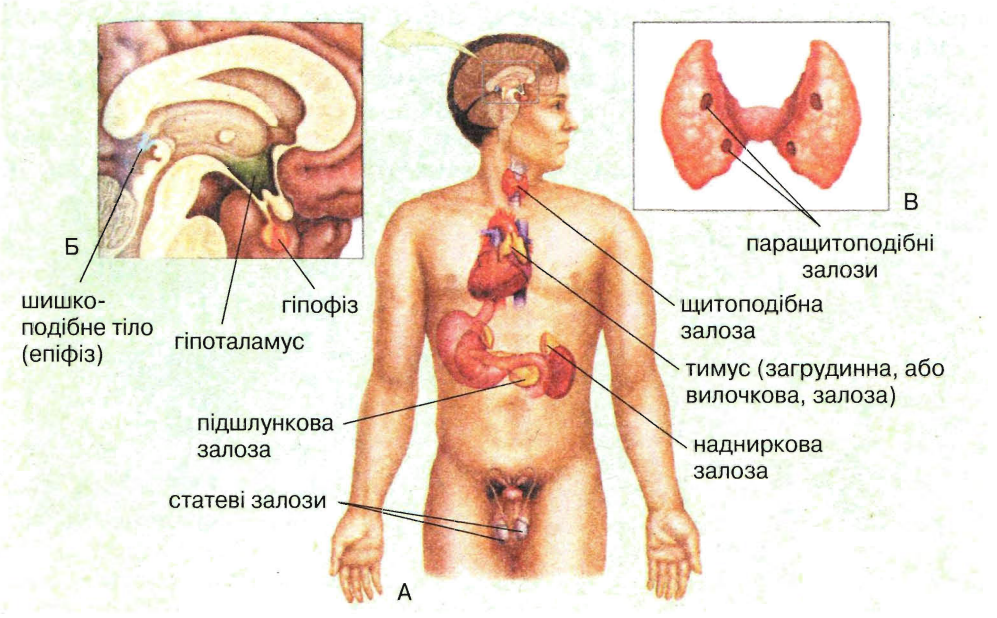
Сукупність послідовних безумовних рефлексів, які визначають забезпечення певної життєвої функції, називають ***інстинктом***.

Умовні рефлекси виникають і згасають протягом життя на основі безумовних під впливом певних чинників зовнішнього середовища. З віком кількість умовних рефлексів зростає в міру накопичення життєвого досвіду. Разом з тим умовні рефлекси, які тривалий час не відтворюються, можуть втрачатись (згасати).

Вищою нервовою діяльністю називають функціонування певних відділів центральної нервової системи, яка забезпечує відповідні умовно-рефлекторні реакції організму на раптові зміни умов довкілля. Так, у людини та хребетних тварин вища нервова діяльність забезпечується корою головного мозку та підкірковими нервовими центрами; у членистоногих – грибоподібними тілами переднього мозку тощо.

Гуморальна регуляція життєвих функцій здійснюється завдяки різноманітним біологічно активним сполукам: гормонам, нейрогормонам, вітамінам тощо. Важлива роль при цьому належить ***системі залоз внутрішньої секреції***, або ***ендокринній системі*** (мал. 44.4).

Залози внутрішньої секреції не мають вивідних проток, їхні клітини виділяють *гормони* безпосередньо в кров або іншу рідину внутрішнього середовища організму.



Мал. 44.4. Ендокринна система людини: А – розташування ендокринних залоз; Б – зріз через головний мозок; В – задня поверхня щитоподібної залози

Деякі нервові клітини (***нейросекреторні клітини***) виділяють у кров біологічно активні речовини, які дістали назву *нейрогормони*. Принцип їхньої дії такий самий, як і в гормонів.

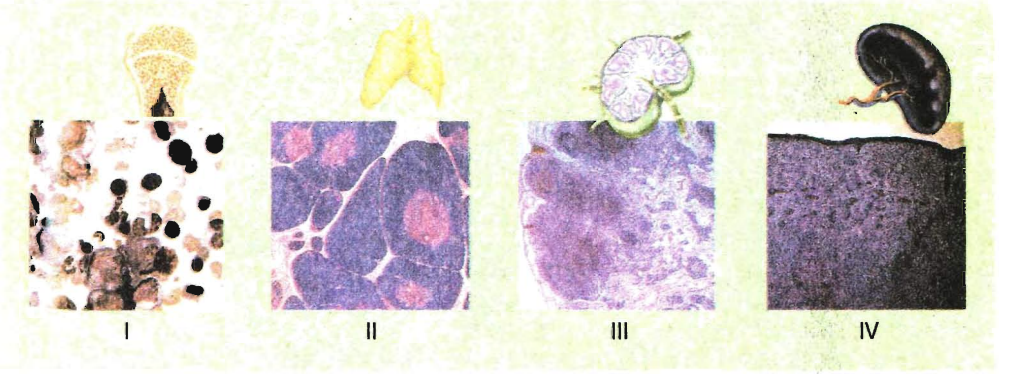
Оскільки окремі залози внутрішньої секреції не пов'язані між собою просторово, їхня узгоджена робота здійснюється або завдяки нервовій регуляції, або ж під впливом певних гормонів, що виробляються одними залозами, а впливають на роботу інших. Гормони та нейрогормони впливають на діяльність нервової системи. Як ви пригадуєте, гіпофіз – залоза внутрішньої секреції, що виробляє гормони, здатні впливати на діяльність інших ендокринних залоз.

Порівняно з роботою нервової системи, дія гормонів і нейрогормонів вирізняється меншою швидкістю, але справляє триваліший ефект. Під гормональним контролем перебувають усі етапи індивідуального розвитку та процеси життєдіяльності. Зокрема гормони забезпечують підтримання гомеостазу та регуляцію активності ферментів.

Гуморальна регуляція життєвих функцій також може здійснюватися за допомогою інших біологічно активних речовин. Наприклад, концентрація вуглекислого газу в крові регулює функцію дихального центру головного мозку хребетних тварин, а зміни концентрації йонів Кальцію і Калію – діяльність серця тощо. Вітаміни беруть участь в обміні речовин і перетворенні енергії здебільшого як компоненти складних ферментів.

У хребетних тварин існує тісний зв'язок між гіпоталамусом (структура проміжного мозку) і гіпофізом (провідна залоза внутрішньої секреції, пов'язана з проміжним мозком). Ця система має назву ***гіпоталамо-гіпофізарної***. Її функції полягають у тому, що синтезовані клітинами гіпоталамуса нейрогормони по кровоносних судинах надходять у передню частку гіпофіза. Там вони стимулюють або гальмують вироблення гормонів, які впливають на діяльність інших залоз внутрішньої секреції. Основне біологічне значення гіпоталамо-гіпофізарної системи полягає в здійсненні досконалої регуляції вегетативних функцій та розмноження як реакції на вплив зовнішніх та внутрішніх подразників.

Імунна система (мал. 44.5) відіграє важливу роль у забезпеченні нормальної діяльності організмів багатоклітинних тварин і людини. До



Мал. 44.5. Органи імунної системи: I – червоний кістковий мозок, де утворюються лімфоцити; II – тимус, де дозрівають Т-лімфоцити; III – лімфатичні вузли, де знешкоджуються мікроорганізми; IV – селезінка, де дозрівають лейкоцити

складу імунної системи хребетних тварин і людини входять вилочкова залоза (*тимус*), червоний кістковий мозок, селезінка, лімфатичні вузли, скупчення лімфоїдної тканини навколо різних частин травної та дихальної систем, а також більшість різновидів лейкоцитів.

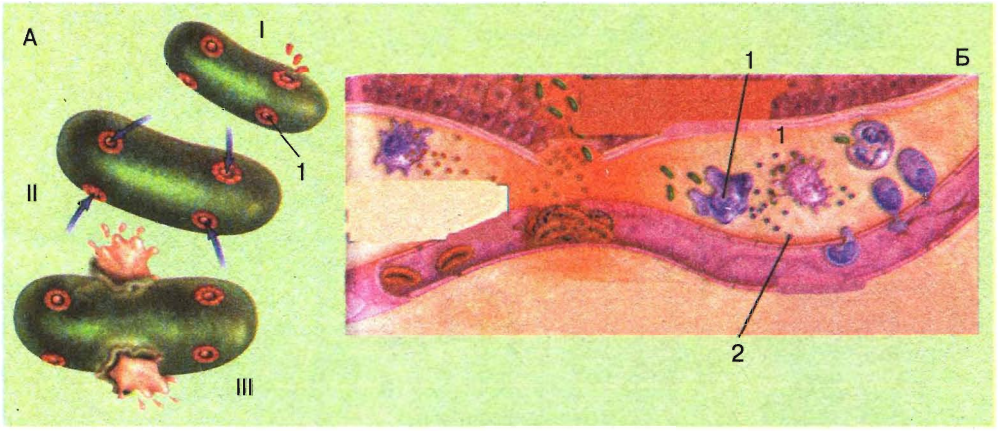
Імунітет – здатність організму забезпечувати несприйнятливість до збудників певних захворювань. Розрізняють гуморальний та клітинний види імунітету.

Гуморальний імунітет. Захист організму від паразитів та чужорідних речовин забезпечують особливі білкові сполуки – ***антитіла*** (або ***імуноглобуліни***). Вони присутні в плазмі крові, лімфі, материнському молоці, слині та утворюються в особливих клітинах крові (лімфоцитах) у відповідь на присутність чужорідних хімічних сполук – ***антигенів***. Джерелом антигенів слугують віруси, бактерії, мікроскопічні гриби, одноклітинні тварини та біологічно активні речовини, які потрапили всередину організму ззовні. Вчені відкрили сотні тисяч різних антигенів.

Кожний вид антитіла вступає у хімічний зв'язок лише з відповідним йому антигеном, нейтралізуючи шкідливі властивості останнього. Це один з механізмів ***гуморального*** імунітету (мал. 44.6, А).

До гуморального імунітету належить і ***система комплементу****. Вона складається з різних білків у складі плазми крові. При специфічній реакції антиген–антитіло вони можуть бути активовані в певній послідовності. Наприклад, ці білки можуть зв'язуватися з рецепторними молекулами у складі оболонки бактеріальної клітини (мал. 44.6, А). Це забезпечує виникнення отворів в оболонці бактеріальної клітини, через яку надходять розчини солей. Тиск всередині бактеріальної клітини зростає, що спричиняє її руйнування.*

Клітинний імунітет. Видатний український вчений І. І. Мечников встановив, що здатність певних груп лейкоцитів до фагоцитозу визначає несприйнятливість організму до деяких інфекційних захворювань. Це



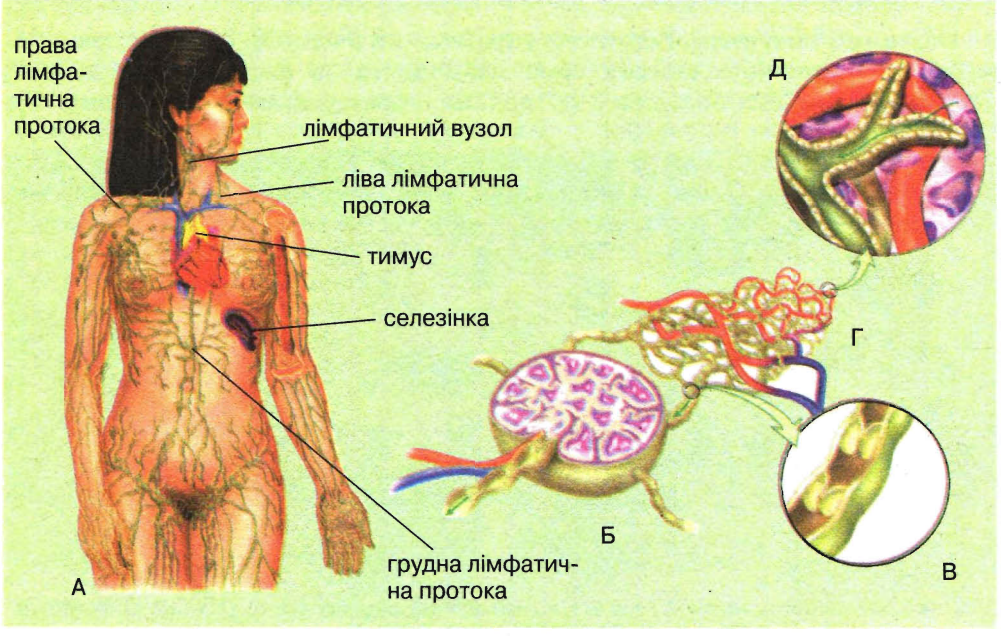
Мал. 44.6. Гуморальний (А) та клітинний (Б) імунітет. А. Дія системи комплементу (антитіла) проти бактеріальної клітини: I. Мембранні комплекси поверхні бактеріальної клітини, з якими зв'язується комплемент (антитіло). II. Виникнення отворів в оболонці бактеріальної клітини, через які надходять розчини солей. III. Тиск всередині бактеріальної клітини зростає, що спричиняє її руйнування. Б – клітинний імунітет: макрофаги (1) шляхом фагоцитозу знешкоджують клітини бактерій (2)

явище дістало назву ***клітинного імунітету***. Наприклад, макрофаги шляхом фагоцитозу можуть поглинати й знешкоджувати клітини бактерій (мал. 44.6, Б). Клітинний імунітет забезпечують не лише лейкоцити, а й особливі нерухомі клітини, розташовані в лімфатичних вузлах, селезінці, печінці, кістковому і головному мозку.

Діяльність різноманітних органів і систем органів багатоклітинних тварин спрямована на підтримання гомеостазу, що досягається завдяки дії регуляторних механізмів і транспортних систем.

• **Транспортні, або циркуляторні, системи організму** часто становлять собою рідину, яка заповнює проміжки між тканинами та органами (*плоскі та круглі черви*) (мал. 43.8, А). В інших організмів (*членистоногі, молюски, кільчасті черви, хордові*) ці функції (транспорт поживних речовин, біологічно активних сполук, кінцевих продуктів обміну) виконують рідкі тканини – кров (мал. 43.8, 1, Б, В, 43.8, 2), порожнинна (міжклітинна) рідина, лімфа (мал. 44.7) та системи їхнього колообігу.

• **Взаємодія клітин.** Особливостями організації багатоклітинних організмів є взаємодія між його клітинами. Регуляція клітинного поділу, процесів диференціювання клітин, міжклітинних взаємодій, підтримання процесів життєдіяльності окремих клітин забезпечуються складною системою сигнальних шляхів. Цими шляхами зовнішні щодо клітини сигнали передаються всередину неї, а цілі комплекси сигнальних білків доправляють їх до специфічних мішеней у цитоплазмі або ядрі. Таким чином, у



Мал. 44.7. Лімфатична система людини: А – загальний план; Б – лімфатичний вузол у розрізі; В – лімфатична судинна в розрізі; Г – лімфатичні капіляри (позначені оливковим кольором) переплітаються з кровоносними (позначені червоним кольором). Це забезпечує зв'язок (Д) міжклітинної рідини з кровоносною та лімфатичною системами

багатоклітинних організмів за рахунок міжклітинних взаємодій утворюються складні клітинні комплекси, функціонування яких може підтримуватися різними шляхами. Прикладами таких комплексів є різновиди тих чи інших тканин.

Чим забезпечується цілісність тканин і виконання окремими клітинами специфічних функцій? Численними експериментами доведено здатність клітин розпізнавати одна одну і відповідним чином реагувати. Зазначимо, що взаємодія клітин – це не тільки здатність передавати сигнали від однієї клітини до іншої, але й їхня здатність діяти узгоджено.

Вам уже відомо, що на поверхні кожної клітини розташовані рецептори, завдяки яким клітина розпізнає зовнішні впливи, такі як різні хімічні сполуки. Подібні рецептори дають змогу розпізнавати й іншу, подібну до себе, клітину. Функціонують ці рецептори згідно з правилом «ключ – замок» (пригадайте, за таким самим принципом взаємодіють і ферменти з речовинами, які вступають у реакцію).

Відомо два основні способи міжклітинної взаємодії: дифузійний та адгезивний. *Дифузійний спосіб* – це взаємодія клітин за допомогою міжклітинних каналів, пор у мембранах сусідніх клітин.

Адгезивний спосіб взаємодії (від лат. *адгезіо* – прилипання, злипання) – механічне з'єднання клітин, тривале і стабільне утримування їх на близькій відстані одна від одної. Вам уже відомі різні види міжклітинних з'єднань (десмосоми, синапси та ін.). Така взаємодія є основою для об'єднання клітин у різні багатоклітинні структури (тканини, органи).

Кожна клітина тканини не тільки з'єднується із сусідніми клітинами, а й взаємодіє з міжклітинною (тканинною) речовиною, отримуючи за її участі поживні речовини, сигнальні молекули (гормони, медіатори) тощо. За допомогою хімічних речовин, що надходять до всіх клітин, тканин та органів тіла, здійснюється гуморальний тип регуляції життєвих функцій. На різні типи клітин людини і тварин, як ви пам'ятаєте, можуть впливати такі біологічно активні речовини, як гормони, нейрогормони, медіатори, а у рослин – фітогормони.

Інший шлях регулювання відбувається за допомогою нервової системи. Нервові імпульси досягають певних клітин, тканин та органів у сотні або тисячі разів швидше, ніж будь-які хімічні сполуки. У людини, хребетних і багатьох безхребетних тварин узгоджена робота клітин і тканин, що входять до складу внутрішніх органів, забезпечується завдяки вегетативній нервовій системі, у нервових центрах якої генеруються нервові імпульси.

Нервовий і гуморальний способи регуляції функцій органів і систем тісно взаємопов'язані між собою. Однак слід пам'ятати, що утворення більшості хімічних регуляторних речовин і виділення їх у кров перебувають під постійним контролем нервової системи.

Ключові терміни та поняття. ***Регуляторні системи, нейрогуморальна регуляція.***

Регуляторні системи забезпечують функціонування багатоклітинного організму як єдиної цілісної біологічної системи, зумовлюють його реакції на зміни умов зовнішнього та внутрішнього середовища та підтримують його гомеостаз.

Коротко про головне

- У багатоклітинних рослин регуляцію життєвих функцій здійснюють біологічно активні речовини, зокрема фітогормони, фітонциди та алкалоїди.
- У більшості тварин усі процеси життєдіяльності та їхня координація підлягають гуморальній та нервовій регуляції. Взаємодія нервової, імунної та ендокринної систем забезпечує нейрогуморальну регуляцію всіх життєвих функцій.
- Нервова система регулює життєві функції за допомогою рефлексів. Рефлекс – реакція організму на подразники зовнішнього і внутрішнього середовища, яка здійснюється за участі нервової системи. Рефлекси бувають безумовними та умовними. Нервові імпульси мають електричну природу. Передача імпульсу між двома нервовими клітинами здійснюється за допомогою особливих речовин – медіаторів.
- В основі діяльності нервових центрів лежать процеси виникнення та гальмування нервового збудження.
- Вищою нервовою діяльністю називають функціонування відділів центральної частини нервової системи, яке забезпечує свідомі реакції на раптові зміни умов довкілля, зокрема вироблення та згасання умовних рефлексів, запам'ятовування тощо.
- Гуморальна регуляція життєвих функцій здійснюється завдяки різноманітним біологічно активним речовинам: гормонам, нейрогормонам, вітамінам тощо. Провідна роль у гуморальній регуляції належить системі залоз внутрішньої секреції та нейросекреторним клітинам.
- Узгоджена робота залоз внутрішньої секреції здійснюється завдяки нервовій регуляції та під впливом певних гормонів і нейрогормонів, що виробляються одними залозами, а впливають на роботу інших.
- Імунітет – здатність організму забезпечувати несприйнятливість до збудників певних захворювань. Захист організму за допомогою антитіл отримав назву гуморального імунітету. Клітинний імунітет ґрунтується на здатності певних груп лейкоцитів до фагоцитозу.

Запитання для самоконтролю

1. *Що таке регуляторні системи?* **2.** *Як відбувається регуляція життєвих функцій у рослин?* **3.** *Що таке фітогормони, фітонциди, алкалоїди? Які їхні функції?* **4.** *Як відбувається регуляція життєвих функцій у багатоклітинних тварин?* **5.** *Які особливості нервової регуляції?* **6.** *Які особливості гуморальної регуляції у тварин?* **7.** *Що таке гормони, нейрогормони, медіатори?* **8.** *Що таке імунітет та імунна система?*

Поміркуйте. *Чому в організмах більшості багатоклітинних тварин одночасно діють нервова та гуморальна регуляторні системи?*

УЗАГАЛЬНЕННЯ

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ І ФУНКЦІОНУВАННЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО, КЛІТИННОГО ТА ОРГАНІЗМОВОГО РІВНІВ ЖИТТЯ

На **молекулярному рівні життя** відбуваються хімічні процеси і перетворення енергії, а також зберігається, змінюється і реалізується спадкова інформація. Із взаємодіями молекул неорганічних (вода, солі, неорганічні кислоти) та органічних (білки, ліпіди, вуглеводи, нуклеїнові кислоти тощо) сполук пов'язані процеси життєдіяльності організмів, зокрема обмін речовин. Середовищем для нормального функціонування цього рівня слугують клітини.

Клітинний рівень організації живої матерії характеризується тим, що в кожній клітині як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів відбуваються обмін речовин і перетворення енергії, зберігання та реалізація спадкової інформації. Клітини здатні до розмноження і передачі спадкової інформації дочірнім клітинам. Одноклітинні організми завжди розвиваються з однієї клітини при основних способах розмноження – статевому та нестатевому. Отже, клітина є елементарною одиницею будови, життєдіяльності і розвитку живої матерії. Середовищем існування клітин одноклітинних організмів слугує екосистема, багатоклітинних – сам організм.

Організмовий рівень життя характеризується тим, що кожний організм є самостійною відкритою живою системою, в якій відбуваються обмін речовин і перетворення енергії, зберігання та реалізація спадкової інформації. Більшість багатоклітинних організмів має органи та системи органів, побудовані з різних типів тканин. Організми здатні до розмноження і передачі спадкової інформації нащадкам. Багатоклітинні організми завжди розвиваються з однієї клітини при статевій та нестатевій формах розмноження; їм притаманний індивідуальний розвиток, або онтогенез, який починається зародженням та закінчується природною смертю. Кожний організм належить до певного біологічного виду та становить собою самостійну одиницю, яка входить до складу популяції. Середовищем існування організмів слугує екосистема.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

БУДОВА ТКАНИН РОСЛИН



Мета: *ознайомитися з особливостями будови різних типів тканин рослин, звернути увагу на відповідність їхньої будови виконуваним функціям.*

Обладнання і матеріали: *світлові мікроскопи, постійні мікропрепарати покривної, провідної, механічної, твірної та основної тканин рослин, мікрофотографії цих тканин.*



Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. При малому збільшенні мікроскопа знайдіть на препаратах клітини твірної тканини кореня (соняшника, кукурудзи тощо). Розгляньте цю тканину при великому збільшенні мікроскопа. Зверніть увагу на особливості будови цієї тканини: відносно тонкі стінки клітин, збільшені ядра, відсутність добре вираженої міжклітинної речовини тощо.
3. Розгляньте мікропрепарат клітин шкірки листка (соняшника, кукурудзи, цибулі, елодеї тощо). Зверніть увагу на форму клітин, сполучення їх між собою, будову продихів.
4. Розгляньте препарат поперечного зрізу через стебло багаторічної дерев'янистої рослини. Зверніть увагу на корок та інші елементи кори, будову лубу, ситоподібні трубки, камбій, судини, серцевину. Знайдіть річні кільця та серцевинні промені.
5. Замалюйте всі розглянуті препарати і порівняйте побачене з мікрофотографіями.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

БУДОВА ТКАНИН ТВАРИН

Мета: *ознайомитися з особливостями будови різних типів тканин тварин, звернути увагу на відповідність їхньої будови виконуваним функціям*

Обладнання і матеріали: *світлові мікроскопи, постійні мікропрепарати епітеліальної, нервової та м'язової тканин, тканин внутрішнього середовища, мікрофотографії цих тканин.*

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. При малому збільшенні мікроскопа знайдіть на мікропрепаратах клітини епітеліальної тканини. Розгляньте цю тканину при великому збільшенні мікроскопа. Зверніть увагу на форму клітин, їхнє взаєморозташування, співвідношення клітин і міжклітинної речовини.
3. Так само розгляньте препарат хрящової, кісткової та інших різновидів тканин внутрішнього середовища. Зверніть увагу на будову міжклітинної речовини, зокрема на розміщення в ній волоконець.
4. Розгляньте препарат нервової тканини спинного чи головного мозку, знайдіть сіру речовину, а в ній – нервові клітини. Відзначте характерні особливості будови нервової тканини.
5. Розгляньте препарати м'язової тканини. Знайдіть ядра та скоротливі волоконця.
6. Замалюйте розглянуті препарати, порівняйте побачене з мікрофотографіями кожної з тканин. Виявіть особливості будови епітеліальної, нервової, м'язової тканин і тканин внутрішнього середовища.

ТЕСТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗНАНЬ

І. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ПРАВИЛЬНУ

1. **Зазначте тканини рослин, які належать до покривних:** *а) шкірка; б) судини; в) ситоподібні трубки; г) жирова.*
2. **Укажіть м'язи, здатні до довільних скорочень:** *а) непосмуговані в складі стінок кровоносних судин; б) посмуговані глотки; в) серцевий; г) непосмуговані в складі стінок кишечнику.*
3. **Назвіть тканину, до складу якої входять продихи:** *а) основна фотосинтезуюча; б) корок; в) шкірка листка; г) твірна.*
4. **Зазначте тканину, в якої добре розвинена міжклітинна речовина:** *а) епітеліальна; б) м'язова; в) нервова; г) сполучна.*

ІІ. ВИБЕРІТЬ ІЗ ЗАПРОПОНОВАНИХ ВІДПОВІДЕЙ ДВІ ПРАВИЛЬНІ

1. **Назвіть клітини, в яких трапляються хлоропласти:** *а) основної запасаючої тканини; б) твірної тканини; в) продихів; г) основної фотосинтезуючої тканини.*
2. **Назвіть тканини, клітини яких здатні до поділу:** *а) корок; б) камбій; в) шкірка; г) верхівкова меристема.*
3. **Назвіть властивості, притаманні епітеліальній тканині:** *а) міжклітинної речовини майже немає; б) добре розвинені міжклітинники; в) клітини розташовані на базальній мембрані; г) клітини мають довгі й короткі відростки.*
4. **Укажіть тканини, клітини яких здатні виробляти антитіла:** *а) епітелій шкіри; б) нервова; в) кров; г) лімфа.*

ІІІ. ЗАВДАННЯ НА ВСТАНОВЛЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

Встановіть відповідність між клітинами організму тварин і людини та тканинами, які до них належать:

Клітини	Тканини
А Нейроглії Б Лейкоцити В Остеоцити Г Хондроцити	1 Кров 2 Хрящова 3 Ретикулярна 4 Нервова 5 Кісткова

ІV. ЗАПИТАННЯ З ВІДКРИТОЮ ВІДПОВІДДЮ

1. *Що спільного та відмінного в здійсненні нервової та гуморальної регуляції життєвих функцій організму тварин? Яке біологічне значення гіпоталамо-гіпофізарної системи для існування організмів тварин?*
2. *Чому гомеостаз є необхідною умовою існування будь-якого організму? Відповідь обґрунтуйте.*
3. *Що спільного та відмінного в регуляції життєвих функцій організмів тварин і рослин?*
4. *Які органи і системи органів беруть участь у підтриманні гомеостазу в тварин?*
5. *Яке біологічне значення утворення функціональної системи органів?*
6. *Чому будь-який організм є відкритою системою? Відповідь обґрунтуйте.*



КОРОТКИЙ СЛОВНИК ТЕРМІНІВ І ПОНЯТЬ

Авітаміноз – захворювання, викликане відсутністю або несприйняттям певних вітамінів.

Автотрофні організми (**автотрофи**) – живі істоти, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних з використанням світлової енергії (фотосинтетики) або енергії певних хімічних реакцій (хемосинтетики).

Адаптація – виникнення пристосувань у живих систем (організмів, екосистем тощо) у відповідь на зміни, які відбуваються в їхньому зовнішньому чи внутрішньому середовищах.

Аеробні організми (**аероби**) – живі істоти, здатні до життя, розвитку та розмноження виключно за наявності в середовищі існування кисню (O_2), який вони використовують як окиснювач у процесах метаболізму.

Алелопатія – вплив різновидових рослин одна на одну внаслідок виділення ними в навколишнє середовище різних біологічно активних речовин.

Амфіфільні речовини – органічні сполуки, одна частина молекули яких виявляє гідрофільні властивості, інша – гідрофобні.

Анаеробні організми (**анаероби**) – живі істоти, здатні до життя, розвитку та розмноження за відсутності в середовищі існування кисню (O_2).

Антикодон – триплет нуклеотидів, розташований на верхівці молекули тРНК; визначає амінокислоту, яку транспортує дана молекула тРНК і впізнає комплементарну йому ділянку з трьох нуклеотидів (кодон) молекули іРНК.

Асиміляція – одна зі сторін обміну речовин; сукупність процесів поглинання з довкілля, засвоєння і накопичення хімічних речовин, які слугують для синтезу необхідних клітині чи організму в цілому сполук.

АТФ (аденозинтрифосфатна кислота) – нуклеотид, який складається із залишків нітратної основи (аденіну), вуглеводу (моносахариду рибози) та трьох молекул ортофосфатної кислоти; запасає енергію у вигляді високоенергетичних (макроергічних) хімічних зв'язків, які виникають між залишками ортофосфатної кислоти. Є універсальним накопичувачем та переносником енергії в біологічних системах.

Бактеріофаги – віруси, що паразитують у клітинах прокаріотних організмів.

Біорізноманіття – різноманітність живих систем на різних рівнях організації: розрізняють біорізноманітність органічних речовин, генів, організмів (внутрішньовидове біорізноманіття), видів (міжвидове біорізноманіття), екосистем тощо.

Буферні системи – водні розчини, здатні протистояти зміні показника pH при додаванні до них певної кількості кислоти або лугу. Вони складаються зі слабкої кислоти (донора H^+), основи (акцептора H^+), здатних відповідно зв'язувати йони гідроксилу (OH^-) та Гідрогену (H^+), завдяки чому pH усередині системи практично не змінюється.

Вакуолі – одномембранні органели; залежно від функцій розрізняють скоротливі, травні та вакуолі рослинних клітин, заповнені клітинним соком.

Віруси – внутрішньоклітинні паразити, що не мають клітинної будови та складають окреме царство Віра; ***прості віруси*** мають лише білкову оболонку; ***складні віруси***, крім білкової, додатково оточені ліпопротеїновою поверхневою мембраною.

Водневий показник, або **pH**, – значення негативного десяткового логарифму концентрації йонів H^+.

Ген – ділянка молекули нуклеїнової кислоти, що містить інформацію про первинну структуру молекул поліпептиду, білка, певного типу РНК або взаємодіє з регуляторним білком; є елементарним носієм спадкової інформації.

Генетичний код – властива всім живим організмам єдина система запису спадкової інформації в молекулах нуклеїнових кислот у вигляді певної послідовності нуклеотидів, яка визначає порядок введення амінокислот до поліпептидного ланцюга під час його синтезу.

Геном – сукупність генетичної інформації, закодованої в генах певної клітини або цілісного організму.

Гетеротрофи – організми, які споживають органічні сполуки, створені інши-



ми істотами, але нездатні синтезувати їх з неорганічних речовин.

Гіалоплазма – безбарвна напіврідка основа цитоплазми.

Гідрофільність – здатність органічної речовини розчинятись у воді.

Гідрофобність – нездатність органічної речовини до розчинення у воді.

Гомеостаз – здатність біологічних систем різних рівнів організації зберігати відносну сталість складу та властивостей внутрішнього середовища за змін, що відбуваються в навколишньому.

Грана – купка з розміщених один на одному тилакоїдів.

Денатурація – процес порушення природної структури (вторинної, третинної або четвертинної) білка, нуклеїнових кислот та деяких інших біополімерів. Відбувається під дією певних чинників (температури, хімічних сполук). Зазвичай денатурація супроводжується втратою біологічної активності молекули; буває повною чи частковою, оборотною і необоротною.

Деструкція – необоротний процес руйнування первинної структури білків.

Дисиміляція – одна зі сторін обміну речовин; сукупність процесів, які призводять до розкладання складних хімічних сполук в організмі до простіших.

Диференціація – виникнення відмін у будові і функціях клітин, тканин та органів під час індивідуального розвитку.

ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота) – нуклеїнова кислота; біополімер, мономерами якого є залишки нуклеотидів: аденіну (А), гуаніну (Г), тиміну (Т) та цитозину (Ц). Складається з двох ланцюгів, закручених спірально. Міститься в клітинах усіх організмів, а також у деяких вірусах. ДНК забезпечує кодування, зберігання та передачу спадкової інформації дочірнім клітинам під час поділу материнської.

Еволюція – необоротний процес історичних змін живих систем.

Ендоплазматична сітка – система порожнин у вигляді мікроскопічних канальців і вакуоль, що сполучаються між собою й оточені мембраною; *незерниста* (*агранулярна*) ендоплазматична сітка позбавлена рибосом, на ній синтезуються вуглеводи та ліпіди; *зерниста* (*гранулярна*) ендоплазматична сітка несе на мембранах рибосоми, за участі яких відбувається синтез білка.

Еукаріоти – організми (рослини, гриби, тварини), клітини яких мають ядро. Становлять окреме надцарство живої природи.

Імунітет – здатність організму протистояти збудникам захворювань і зберігати власну цілісність. *Гуморальний імунітет* виникає внаслідок вироблення антитіл, інтерферонів та інших біологічно активних речовин; *клітинний імунітет* забезпечується здатністю певних видів лейкоцитів до фагоцитозу шкідливих мікроорганізмів і речовин; *вроджений імунітет* формується до моменту народження; *набутий імунітет* виникає в процесі індивідуального розвитку (внаслідок перенесених захворювань, вакцинації або введення лікувальних сироваток).

Інтерфаза – період між двома послідовними поділами клітини або від її останнього поділу до загибелі. Під час інтерфази відбуваються процеси росту, подвоєння ДНК, синтезу білків, АТФ та інших органічних сполук, розмноження мітохондрій і пластид.

Інцистування – процес утворення щільної оболонки (цисти) в деяких одноклітинних і багатоклітинних організмів.

Каріотип – специфічний для кожного виду організмів набір хромосом ядра; характеризується певною кількістю хромосом та особливостями їхньої будови.

Клітина – основна одиниця будови, функціонування та розвитку живих організмів, елементарна біологічна система.

Клітинна стінка – ущільнена надмембранна структура рослин (здебільшого складається із целюлози), грибів (з хітину та інших полісахаридів) та прокаріотів (у бактерій – переважно з муреїну, ціанобактерій – із целюлози).

Клітинний центр – органела, що складається з двох центріолей, які розташовані в ущільненій ділянці цитоплазми; бере участь в утворенні веретена поділу.

Клітинний цикл – період життя клітини від початку одного поділу до іншого або від початку останнього поділу до загибелі; складається з власне поділу та перерви між двома поділами (інтерфази).

Кодон – триплет нуклеотидів, одиниця генетичного коду в молекулі нуклеї-



нової кислоти, яка несе інформацію про певну амінокислоту. Послідовність кодонів у гені визначає послідовність включення амінокислотних залишків у синтезовану молекулу білка.

Комплекс Гольджі – органела еукаріотичної клітини; складається з укритих мембранами пласких цистерн, пухирців і канальців; накопичує, перетворює та виділяє різні речовини, бере участь в утворенні лізосом, клітинних стінок, скоротливих вакуоль та інших структур.

Комплементарність – відповідність послідовностей нуклеотидів у двох ланцюгах молекули ДНК або між нуклеотидами молекул ДНК та РНК, яка на ній синтезується; зумовлена особливостями хімічної будови відповідних нуклеотидів.

Кофактор – небілкова частина складного ферменту. Кофакторами можуть бути неорганічні катіони або аніони, а також органічні речовини (*коферменти*), наприклад похідні вітамінів.

Кофермент – кофактор органічної природи.

Кросинговер (**перехрест хромосом**) – обмін певними ділянками між гомологічними хромосомами під час кон'югації останніх в профазі першого поділу мейозу. Забезпечує мінливість організмів.

Лейкопласти – безбарвні пластиди різноманітної форми, в яких запасається крохмаль.

Лізосоми – оточені мембраною органели; містять ферменти, здатні розщеплювати різноманітні органічні сполуки, забезпечувати процеси внутрішньоклітинного травлення або перетравлювати групи клітин.

Мейоз – спосіб поділу еукаріотичних клітин, унаслідок якого хромосомний набір зменшується вдвічі; мейоз відбувається шляхом двох послідовних поділів, інтерфаза між якими вкорочена або відсутня. Мейоз забезпечує сталість числа хромосом тих видів організмів, яким притаманне статеве розмноження.

Метаболізм (**обмін речовин**) – сукупність процесів надходження речовин із зовнішнього середовища, їхнього перетворення в організмі чи окремій клітині та видалення у довкілля продуктів життєдіяльності.

Мінливість – здатність організмів набувати нових спадкових або неспадкових станів ознак протягом життя або історичного розвитку виду.

Мітоз – основний спосіб поділу еукаріотичних клітин; супроводжується утворенням особливого апарату, який забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім; складається з чотирьох послідовних етапів (фаз): профази, метафази, анафази та телофази.

Мітохондрії – двомембранні органели еукаріотичних клітин різноманітної форми; у них відбувається синтез АТФ.

Настії – рухові реакції частин рослин, які виникають у відповідь на дію подразників довкілля, що не мають певного спрямування, проявляються зміною положення окремих частин рослини.

Нуклеїнові кислоти – біополімери, які складаються з мономерів (нуклеотидів); до них належать дезоксирибонуклеїнові (ДНК) та рибонуклеїнові (РНК) кислоти.

Органели – постійні компоненти клітини певної будови, які забезпечують певні процеси життєдіяльності.

Піноцитоз – процес поглинання рідин клітинами живих організмів.

Плазматична мембрана (або плазмолема) – біологічна мембрана, що оточує цитоплазму.

Пластиди – органели клітин рослин і деяких одноклітинних тварин, укриті двома мембранами. Залежно від вмісту пігментів поділяються на лейкопласти, хлоропласти та хромопласти.

Пластичний обмін – сукупність реакцій, які забезпечують ріст клітин і організму в цілому та оновлення їхнього хімічного складу; процеси біохімічного синтезу необхідних біологічним системам сполук.

Пріони – модифіковані білкові молекули, звичні для організму, які зазнають змін унаслідок порушення синтезу білків через мутації відповідних генів; спричиняють смертельно небезпечні захворювання людини і тварин.

Прокаріоти – надцарство, до якого належать одноклітинні організми (бактерії, ціанобактерії), клітини яких не мають ядра та більшості інших органел; багато видів здатні утворювати колонії.



Регенерація – процеси відновлення втрачених або ушкоджених частин, а також відтворення цілісного організму з певної його частини (репаративна регенерація); поновлення клітинного складу різних тканин та органів (фізіологічна регенерація).

Ренатурація – процеси відновлення природної структури певних біополімерів (білків, нуклеїнових кислот тощо), порушеної внаслідок *денатурації*.

Рибосоми – немембранні органели у вигляді сферичних тілець, до складу яких входять рРНК і білки; складаються з двох часток різного розміру (*субодиниць*) і забезпечують біосинтез білків у клітині.

РНК (рибонуклеїнові кислоти) – нуклеїнові кислоти, до складу нуклеотидів яких входять залишки нітратних основ (аденіну, гуаніну, цитозину, урацилу), рибози та ортофосфатної кислоти. Як правило, вони складаються з одного ланцюга нуклеотидів. Розрізняють *транспортні* (тРНК), *інформаційні*, або *матричні* (іРНК, або мРНК), та *рибосомні* (рРНК) рибонуклеїнові кислоти. Входять до складу багатьох вірусних частинок.

Синапс – місце контакту між двома нейронами або нейроном та ефекторною клітиною, слугує для міжклітинної передачі нервового імпульсу.

Теплоємність – фізична величина, що визначається кількістю теплоти, яку потрібно надати тілу для підвищення його температури на один градус.

Тилакоїди – внутрішні структури хлоропластів у вигляді сплощених вакуоль або мішечків.

Транскрипція – етап синтезу білка, під час якого на молекулі ДНК синтезується молекула іРНК.

Трансляція – етап синтезу білка, під час якого послідовність нуклеотидів у молекулі іРНК (яка слугує матрицею) перекладається в послідовність амінокислотних залишків синтезованої молекули білка.

Тропізми – спрямовані ростові рухи органів рослин у відповідь на дію подразника.

Тургор – напружений стан клітинної стінки, зумовлений тиском на неї цитоплазми зсередини клітини. У більшості рослин тургорний тиск становить 5–10 атмосфер, а в клітин грибів і рослин солонців – 50–100 атмосфер. У тваринних клітин тверда стінка відсутня, а клітинна мембрана нездатна протистояти великій різниці тиску з обох її сторін; тому цей показник зазвичай не перевищує 1 атмосфери.

Фагоцитоз – процес активного захоплення твердих об'єктів деякими клітинами тварин.

Фізіологічний розчин – 0,9 %-й водний розчин натрій хлориду, що відповідає концентрації цієї сполуки в плазмі крові людини.

Фотосинтез – синтез рослинами, деякими прокаріотами та одноклітинними тваринами органічних речовин з неорганічних завдяки перетворенню світлової енергії в енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук.

Фототрофи – автотрофні організми, які для процесів синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію світла.

Функціональна система органів – тимчасове об'єднання дій різних систем органів для здійснення певної життєвої функції.

Хемосинтез – процеси утворення органічних речовин з неорганічних хемотрофами за рахунок енергії, яка звільняється внаслідок окиснення певних неорганічних сполук.

Хемотрофи – види автотрофних прокаріотів, які для синтезу органічних речовин використовують енергію, що звільняється внаслідок хімічних реакцій.

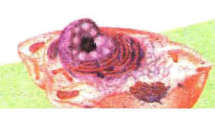
Хлоропласти – пластиди, зазвичай забарвлені в зелений колір завдяки наявності пігментів – хлорофілів; у них відбувається фотосинтез.

Хлорофіли – група пігментів зеленого кольору, які містять Магній; за їх допомогою фотосинтезуючі організми вловлюють енергію світла і здійснюють процеси фотосинтезу.

Хроматида – структурний елемент хромосоми, який формується в інтерфазі внаслідок подвоєння.

Хроматин – ниткоподібні утвори, що становлять комплекси з ядерних білків та нуклеїнових кислот (нуклеопротеїдів); з них складаються хромосоми.

Хромопласти – пластиди, забарвлені в різні кольори (жовтий, червоний тощо) завдяки наявності відповідних пігментів.



Хромосоми – внутрішньоядерні структури, здатні до самоподвоєння; до їхнього складу входять молекули ДНК та ядерних білків гістонів.

Цитоплазма – внутрішнє середовище клітини, що міститься між плазматичною мембраною та ядром; становить собою колоїдний розчин органічних і мінеральних речовин та вміщує органели і включення.

Цитоскелет – система мікротрубочок і мікроніток (мікрофіламентів) білкової природи, яка слугує опорою клітини та бере участь у її русі; елементи цитоскелета забезпечують закріплення органів у певному положенні та їхнє переміщення по клітині.

Ядерця – розміщені в ядрі щільні структури, які складаються з комплексів РНК з білками, внутрішньоядерцевого хроматину та гранул – попередників субодиниць рибосом.

Ядро – складова еукаріотичних клітин, укрита двома мембранами. Регулює процеси синтезу білків, забезпечує зберігання та передачу спадкової інформації дочірнім клітинам.



ЗМІСТ

Дорогі десятикласники! 3

ВСТУП 4

§ 1. Система біологічних наук. Зв'язок біологічних наук з іншими науками 4

Нарис з історії розвитку біологічної науки 7

§ 2. Рівні організації життя 12

§ 3. Методи досліджень у біології. Значення досягнень біологічної науки в житті людини і суспільства 18

РОЗДІЛ І. МОЛЕКУЛЯРНИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

Тема 1. *НЕОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ ОРГАНІЗМІВ* 24

§ 4. Елементний склад організмів 24

§ 5. Роль неорганічних речовин в життєдіяльності організмів 30

§ 6. Функції води в життєдіяльності організмів 34

Практична робота № 1. *Визначення вмісту води у власному організмі* (виконують учні академічного рівня навчання) 41

Тема 2. Органічні речовини 42

§ 7. Органічні речовини живих істот. Ліпіди 42

§ 8. Вуглеводи: різноманітність, властивості та функції 47

§ 9. Білки: будова та властивості 50

§ 10. Функції білків 55

§ 11. Нуклеїнові кислоти. Властивості та функції РНК. АТФ 60

§ 12. Будова, властивості та функції ДНК 63

§ 13. Біологічно активні речовини. Вітаміни, гормони, фактори росту 67

Лабораторна робота № 1. *Визначення деяких органічних речовин та їхніх властивостей* 72

Лабораторна робота № 2. *Вивчення властивостей ферментів* 73

Практична робота № 2. *Розв'язання елементарних задач із транскрипції та реплікації* 74

Розв'язання елементарних задач із трансляції 74

Розв'язання елементарних задач із репарації 75

Практична робота № 3. *Ознайомлення з інструкціями з використання окремих медичних препаратів, засобів побутової хімії тощо та оцінка їхньої небезпеки* 75

Практична робота № 4. *Оцінка продуктів харчування за їхнім складом* 76

РОЗДІЛ ІІ. КЛІТИННИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

Тема 1. *ЗАГАЛЬНИЙ ПЛАН БУДОВИ КЛІТИНИ. ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ. ЯДРО* 79

§ 14. Клітина – основна структурно-функціональна одиниця організмів. Методи цитологічних досліджень 79

§ 15. Будова та функції клітинних мембран 86



§ 16. Надмембранні і підмембранні комплекси клітин 94
§ 17. Будова та функції ядра клітин еукаріотів. Нуклеоїд прокаріотів 99
§ 18. Особливості організації каріотипу різних організмів 103

Лабораторна робота № 3. *Будова клітин прокаріотів та еукаріотів* 109
Лабораторна робота № 4. *Спостереження явищ плазмолізу та деплазмолізу в клітинах рослин* (виконують учні академічного рівня навчання). 109
Лабораторна робота № 5. *Мікроскопічна та ультрамікроскопічна будова ядра* (виконують учні академічного рівня навчання). 110

Тема 2. *ЦИТОПЛАЗМА КЛІТИН* 113

§ 19. Цитоплазма. Клітинні включення 113
§ 20. Одномембранні органели 116
§ 21. Двомембранні органели: мітохондрії та пластиди 122
§ 22. Рибосоми. Органели руху. Клітинний центр 127
§ 23. Будова клітин прокаріотів. Гіпотези походження еукаріотів 131

Лабораторна робота № 6. *Вивчення будови одномембранних органел* 137
Лабораторна робота № 7. *Вивчення будови двомембранних органел* 138
Лабораторна робота № 8. *Рух цитоплазми в клітинах рослин* 139

Тема 3. *КЛІТИНА ЯК ЦІЛІСНА СИСТЕМА* 142

§ 24. Клітинний цикл. Мітоз 142
§ 25. Мейоз. 147
§ 26. Загальна характеристика обміну речовин і перетворення енергії в клітинах 153
§ 27. Пластичний обмін. Біосинтез білків і нуклеїнових кислот 159
§ 28. Хемосинтез і фотосинтез 165
§ 29. Сучасна клітинна теорія. Можливості та перспективи використання цитотехнологій 171

Лабораторна робота № 9. *Будова хромосом* 176
Лабораторна робота № 10. *Мітотичний поділ клітин* 177
Практична робота № 5. *Порівняння мітозу і мейозу* (виконують учні академічного рівня навчання) 177
Практична робота № 6. *Розв'язання елементарних задач із трансляції* (виконують учні академічного рівня навчання) 178

РОЗДІЛ ІІІ. ОРГАНІЗМОВИЙ РІВЕНЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЯ

Тема 1. *НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ* 182

§ 30. Будова, хімічний склад і властивості вірусів 182
§ 31. Розмноження вірусів. Основні етапи взаємодії вірусу і клітини 187
§ 32. Роль вірусів у природі та житті людини. Вірусні інфекції людини і тварин 192
§ 33. Профілактика та лікування вірусних інфекцій 198
§ 34. Віроїди і пріони 203

Тема 2. *ОДНОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ* 208

§ 35. Особливості будови та процесів життєдіяльності прокаріотичних організмів 208



§ 36. Роль прокаріотів у природі та житті людини 214
§ 37. Особливості організації одноклітинних еукаріотів 220
§ 38. Особливості процесів життєдіяльності одноклітинних еукаріотів 223
§ 39. Роль протистів у природі та господарстві 229
Практична робота № 5. *Порівняння симптомів захворювань, які спричиняють віруси і бактерії.* 234

Тема 3. *БАГАТОКЛІТИННІ ОРГАНІЗМИ* 236

§ 40. Багатоклітинні еукаріоти 236
§ 41. Тканини рослин 242
§ 42. Тканини людини та тварин. Гістотехнологія 250
§ 43. Органи та системи органів 258
§ 44. Регуляція функцій у багатоклітинних організмів 267

Узагальнення 277

Принципи організації і функціонування молекулярного, клітинного та організмового рівнів життя 277
Лабораторна робота № 11. *Будова тканин рослин* 277
Лабораторна робота № 12. *Будова тканин тварин* 278

Короткий словник термінів і понять 280



Навчальне видання

БАЛАН ПАВЛО ГЕОРГІЙОВИЧ
ВЕРВЕС ЮРІЙ ГРИГОРОВИЧ
ПОЛІЩУК ВАЛЕРІЙ ПЕТРОВИЧ

БІОЛОГІЯ
10 клас

Рівень стандарту, академічний рівень

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *Людмила Мялківська*
Обкладинка, художнє редагування та оформлення *Юлії Кущ*
Технічний редактор *Валентина Олійник*
Комп'ютерна верстка *Олени Білохвост*
Коректори *Любов Федоренко, Лариса Леуська*

Згідно із Законом України «Про авторське право
та суміжні права» у підручнику частково використано
ілюстрації з таких видань:

Raven P. H., Johnson G. B., Losos J. B., Singer S. R. Biology. – 7th ed. – McGraw-Hill, 2005

Uno G., Storey R., Moore R. Principles of botany. – 1th ed. – McGraw-Hill, 2001

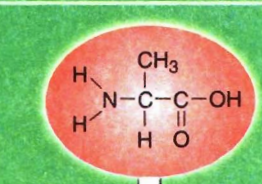
Mader S.S. Biology. – 9th ed. – McGraw-Hill, 2007

Формат 70x100/$_{16}$. Умовн. друк. арк. 23,4.
Обл.-вид. арк. 21,85. Наклад 203410 (1-й з-д: 1–63390) прим.
Вид. № 1045. Зам. № 180-10.

Видавництво «Генеза»,
вул. Тимошенка, 2-л. м. Київ, 04212.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців серія ДК № 25 від 31.03.2000 р.

Віддруковано з готових позитивів у
ТОВ „Видавництво „Фоліо"
вул. Чубаря, 11, м. Харків, 61002
Свідоцтво серія ДК № 3194 від 22.05.2008 р.

Біополімери та їхні мономери



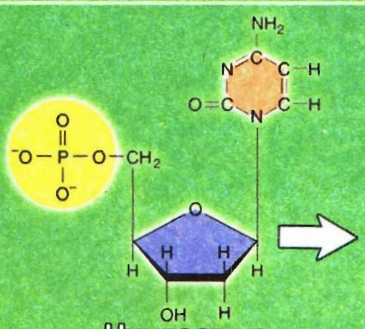
Амінокислота

Білкова молекула
у складі мікронитки



Поліпептид

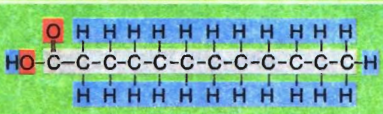
ДНК, що входять до складу хромосоми



Нуклеотид

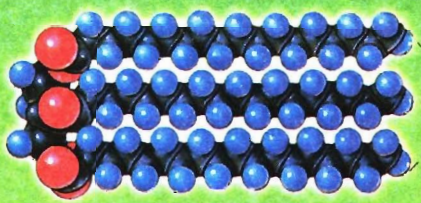


Хромосома

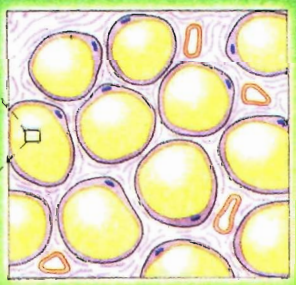


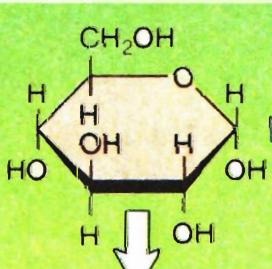
Жирна кислота

Жирові включення
у цитоплазмі клітини



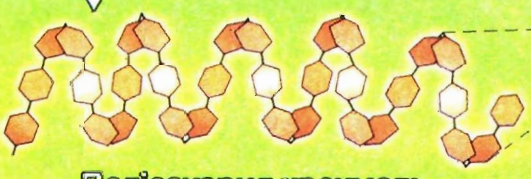
Молекула жирів



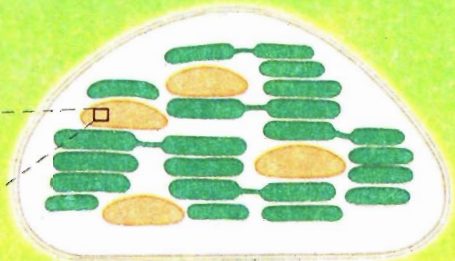


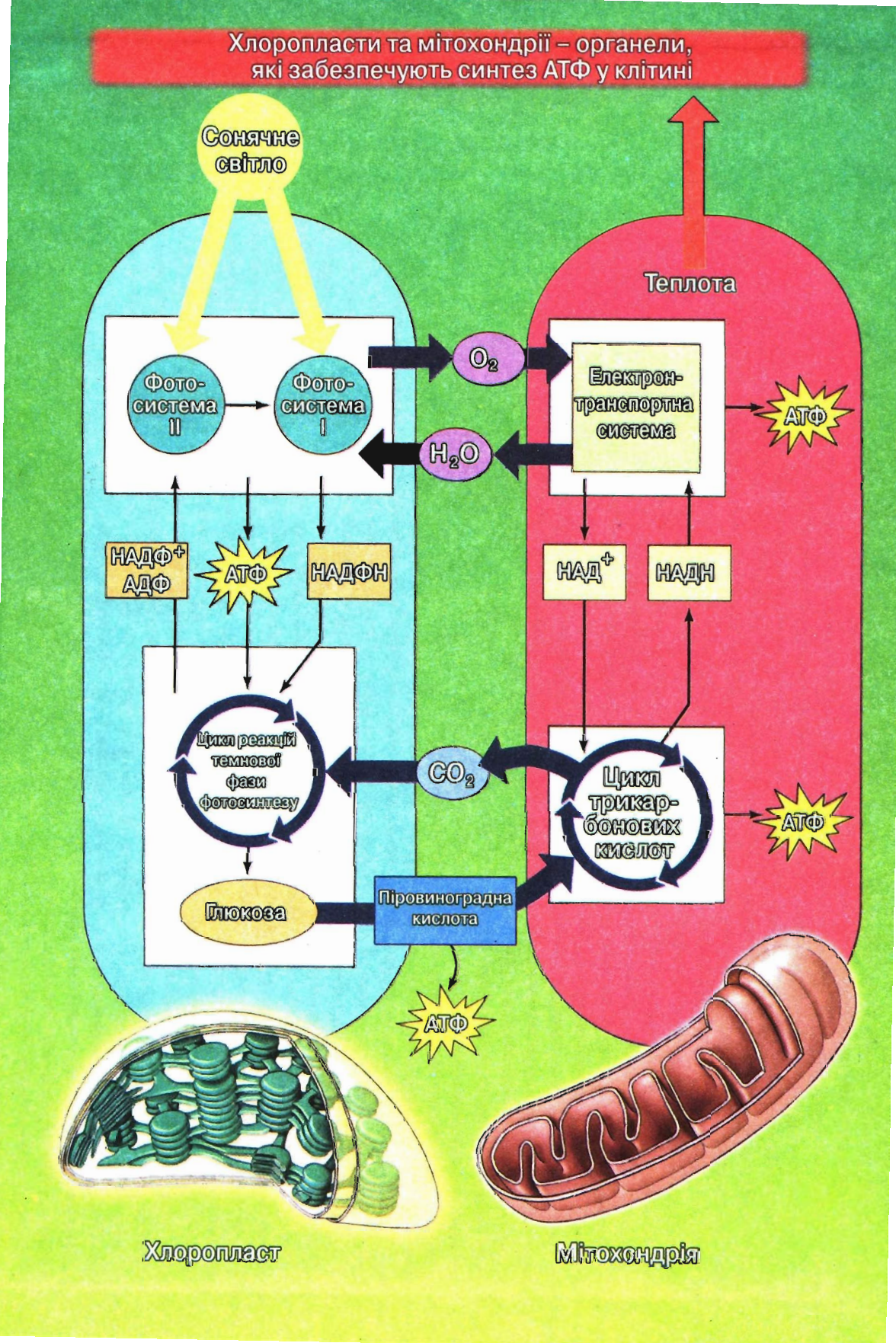
Моносахарид

Зернятка крохмалю
всередині хлоропласта



Полісахарид крохмаль




Хлоропласти та мітохондрії – органели, які забезпечують синтез АТФ у клітині
Сонячне світло
Теплота
Фото-система II
Фото-система I
O_2
H_2O
Електрон-транспортна система
АТФ
НАДФ⁺ АДФ
АТФ
НАДФН
НАД⁺
НАДН
Цикл реакцій темнової фази фотосинтезу
CO_2
Цикл трикар-бонових кислот
АТФ
Глюкоза
Піровиноградна кислота
АТФ
Хлоропласт
Мітохондрія

Видавництво «ГЕНЕЗА»
пропонує новий навчально-методичний комплект до підручника
П.Г. Балана, Ю.Г. Вервеса, В.П. Поліщука
«БІОЛОГІЯ», 10 клас
(рівень стандарту, академічний рівень),
що складається з таких посібників:



О.В. Данилова, С.А. Данилов
«Зошит для лабораторних і практичних робіт з біології», 10 кл.
(рівень стандарту, академічний рівень)



П.Г. Балан
«Тести для контролю знань з біології», 10 кл.
(рівень стандарту, академічний рівень)

ISBN 978-966-504-999-9
9 789665 049999 >