

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт естественных наук
Кафедра ботаники, зоологии и биоэкологии

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАСТЕНИИ

Практикум



Ижевск
2026

УДК 581.1(075.8)

ББК 28.573я73

Ф504

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ.

Рецензент: канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. отд. интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦ УрО РАН **Т. Г. Леконцева**

Составитель: Зыкина Н. Г.

Ф504 Физиологические процессы в растении : практикум / сост.:
Н. Г. Зыкина. – Ижевск : Удмуртский университет, 2026. –
5,2 Мб. – Текст : электронный.

Пособие предназначено для проведения контроля и самоконтроля студентов бакалавриата по программе подготовки 06.03.01. «Биология» по дисциплинам «Физиология растений» и «Экология растений», а также студентов магистратуры по программе подготовки 06.04.01.02 «Биоэкология» по дисциплине «Экологическая физиология растений».

Минимальные системные требования:

Celeron 1600 Mhz; 128 Мб RAM; Windows XP/7/8 и выше, 8x DVD-ROM разрешение экрана 1024×768 или выше; программа для просмотра pdf.

© Зыкина Н. Г., сост., 2026

© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2026

Физиологические процессы в растении

Практикум

Подписано к использованию 28.05.2026

Объем электронного издания 5,2 Мб

Издательский центр «Удмуртский университет»

426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, д. 4Б, каб. 021

Тел. : +7(3412) 263-751 E-mail: editorial@udsu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Для понимания основ функционирования растительного организма и рассмотрения закономерностей его изменений, необходимо разбираться в основных физиологических процессах. Важно уделить внимание не только рассмотрению теоретических основ обмена в растительном организме (фотосинтеза, дыхания, водного обмена, минерального питания, роста и др.), но и количественной оценке данных процессов. Для этого необходимы знания о клеточных процессах растений, умения проводить необходимые расчеты показателей, а также навыки анализа и интерпретации полученных результатов. Обеспечение данной составляющей обучения возможно только с расширением доли самостоятельной работы студента. Представленное пособие помогает преподавателю интенсифицировать процесс самообразования, настраивает студента на активный поиск алгоритмов решения практических задач.

Данное практическое пособие составлено для проведения контроля и самоконтроля теоретических знаний и навыков по дисциплинам Физиология растений и Экология растений (направление «Биология»), а также дисциплине «Экологическая физиология растений» (направление «Биоэкология»).

В практикуме выделены разделы, посвященные отдельным блокам физиологических процессов. Приведены теоретические вопросы, многие из которых связаны с экспериментами, постановка и результаты последних представлены в таблицах и на рисунках. Это позволяет связать знания о структурных компонентах растения и растительной клетки с функциональными изменениями. В каждом разделе есть расчетные задачи, в которых использованы результаты экспериментальных исследований, что позволяет отработать как навыки расчета важных

физиологических показателей, так и интерпретации полученных итоговых значений.

Для эффективного использования в рамках каждого раздела есть задачи, которые включают несколько равноценных вариантов. Количество таких вариантов указано в круглых скобках сразу после номера задачи, например: 4 (1–9). Это означает, что для задачи 4 есть 9 равноценных вариантов, которые позволяют провести индивидуальную оценку усвоения навыка расчета конкретного показателя и его интерпретации сразу у 9 студентов. Соответственно текст задачи будет для всех общий, а номер задания (4.1, 4.2, 4.3 и т. д.) и числовые показатели – индивидуальные. Для большинства расчетных задач данные для индивидуальных заданий приведены в таблицах (варианты задачи отличаются номером растения, по которому проводятся расчеты).

Примененная компоновка заданий удобна для проведения контроля, а также позволяет студенту самостоятельно отработать алгоритм решения задачи.

Приведенные материалы могут быть использованы не только для работы со студентами, но и для организации проблемного обучения в школе, на курсах дополнительного образования школьников в университете, а также при подготовке школьников к олимпиадам по биологии.

РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Растительная клетка является структурной единицей растительного организма. Все метаболические изменения, происходящие в ней, основаны на универсальных биологических закономерностях.

Устные задания

1. Назовите структуры растительной клетки (рис. 1).
2. Нарисуйте схему функционального взаимодействия клеточных компартментов (рис. 1), дайте пояснения.

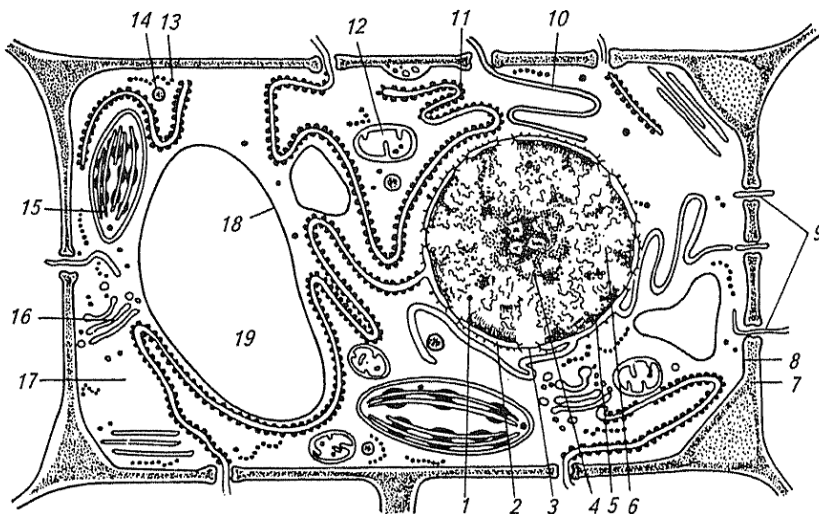


Рис. 1. Строение растительной клетки

3. Назовите сходства и различия ядерного, пластидного и митохондриального геномов.

4. Какие отличия в метаболических процессах есть между растительной и животной клетками? Для пояснений используйте рис. 1 прил. 1.

5. Поясните суть процессов, отраженных на рис. 2. В каких структурах растительной клетки они происходят?

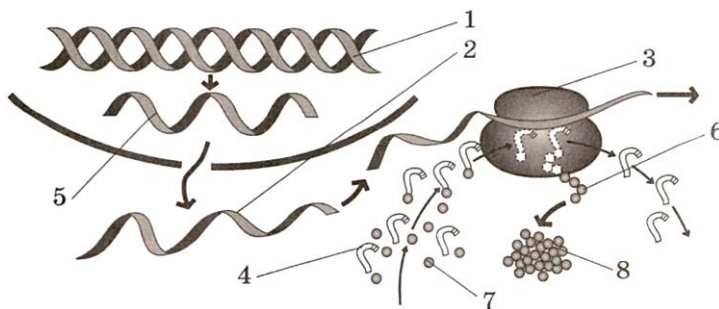


Рис. 2. Особенности клеточного процесса

6. Каким образом осуществляется регуляция процесса, изображенного на рис. 2?

7. Назовите клеточную структуру, изображенную на рис. 3, какие ее элементы отмечены цифрами 1–4? Поясните их функции.

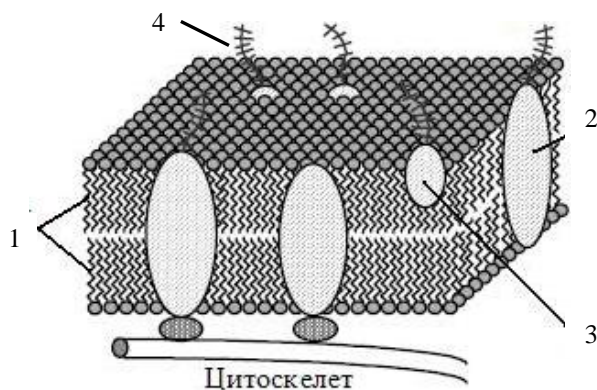


Рис. 3. Структура клетки

8. Каким образом осуществляется аллостерическая регуляция работы ферментов?

9. Объясните, почему скорость биохимических реакций в клетке зависит от температуры и pH среды?

10. Назовите механизмы, которые позволяют клетке изменять набор синтезируемых белков?

11. Используя рис. 4 опишите приведенные типы мембранного транспорта и назовите структуры его обеспечивающие. Приведите примеры веществ, которые могут так перемещаться.

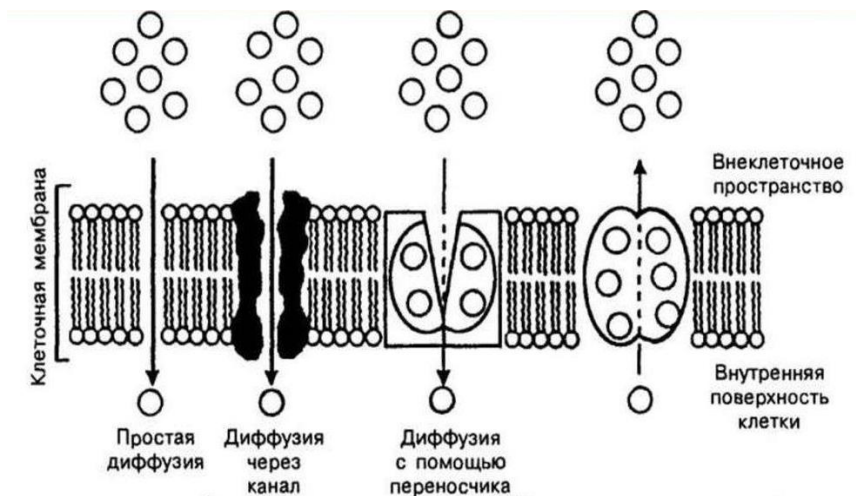


Рис. 4. Движение веществ через мембрану

12. Каковы отличительные особенности активного и пассивного транспорта веществ?

13. Приведите примеры вариантов пассивного транспорта веществ, в чем их отличия?

14. Приведите примеры электрогенного вида активного транспорта. Поясните его значение для клетки.

15. Приведите примеры первичного и вторичного активного транспорта, в чем их отличия?

16. В чем отличия таких видов транспорта как: унипорт, симпорт, антипорт? Приведите примеры.

17. Плазмалемма и тонопласт в растительной клетке отличаются своей проницаемостью. Поясните механизм формирования данных отличий. В чем физиологическое значение данных отличий?

18. Какие формы активного транспорта приведены на рис. 5. Назовите другие варианты активного транспорта, приведите примеры.

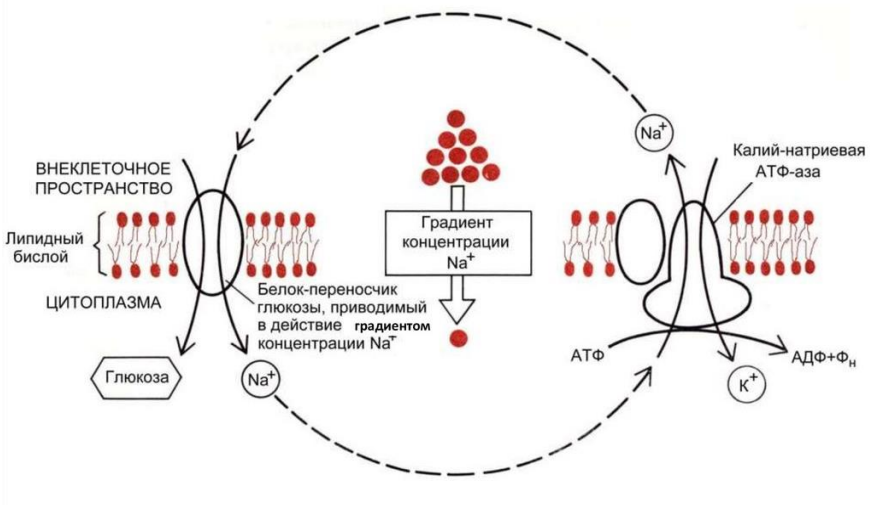


Рис. 5. Транспорт веществ через мембрану

19. Дайте определение процессу, отраженному на рис. 6, охарактеризуйте данный процесс и сравните его с физическим процессом диффузии.

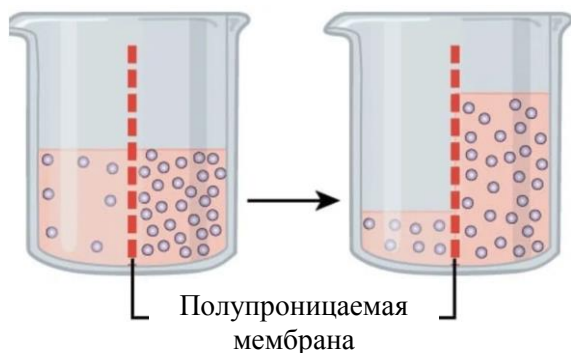


Рис. 6. Работа полупроницаемой мембраны

Расчетные задачи

20. Рассчитайте, какую долю объема растительной клетки занимает цитоплазма, если известно, что клетка имеет сферическую форму диаметром 60 мкм и содержит одну сферическую вакуоль диаметром 45 мкм.

21. Рассчитайте, какую долю объема растительной клетки занимает цитоплазма, если известно, что клетка имеет сферическую форму диаметром 50 мкм и содержит одну сферическую вакуоль диаметром 15 мкм.

22. Найдите, какую долю объема клетки занимают хлоропласты у сферической клетки губчатого мезофилла диаметром 40 мкм, содержащей 50 сферических хлоропластов диаметром 4 мкм.

23. Найдите, какую долю объема клетки занимают хлоропласты у сферической клетки губчатого мезофилла диаметром 30 мкм, содержащей 30 сферических хлоропластов диаметром 5 мкм.

РАЗДЕЛ 2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

Растительная клетка активно изменяет состав своей среды, при этом количество воды в ней может быть очень велико, особенно в тканях с крупной вакуолью. Регулируя перемещение воды, растение регулирует упругость тканей и активность метаболических процессов. Задания раздела посвящены характеристикам и расчету наиболее важных показателей водного обмена растительной клетки.

Устные задания

1. Почему растительную клетку можно назвать осмотической системой?

2. Назовите структуры растительной клетки, участвующие в процессах водного обмена, найдите их на рис. 7.

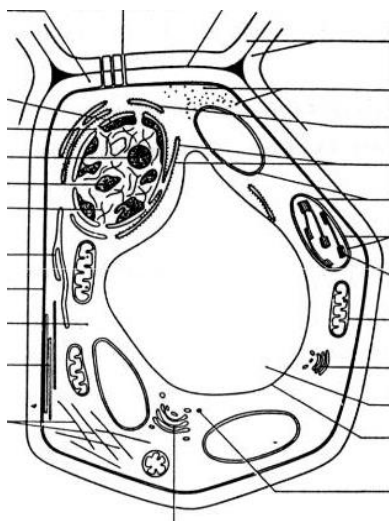


Рис. 7. Строение растительной клетки

3. Назовите причины перемещения воды, в процессах осмоса используя понятие водного потенциала.

4. Сравните (без расчетов) осмотическое давление двух растворов (рис. 8), расположенных по разные стороны полупроницаемой мембраны (обозначена пунктиром). К чему приведет данная разница. Замените один из растворов для того чтобы получился противоположный результат.

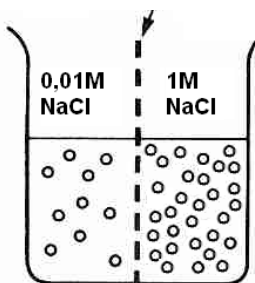


Рис. 8. Экспериментальная осмотическая система

5. С чем связан разный уровень жидкости по разные стороны полупроницаемой мембраны (обозначена пунктиром) на рис. 9. В объяснения включите понятия: концентрация, водный потенциал, осмотическое давление.

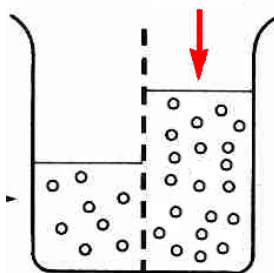


Рис. 9. Осмотические явления

6. Как рассчитать давление, которое необходимо приложить к раствору (красная стрелка на рис. 9), чтобы уровни жидкости в сосуде по разные стороны полупроницаемой мембраны (обозначена пунктиром) были одинаковы?

7. Какие экспериментальные условия необходимо создать, чтобы пронаблюдать явление плазмолиза и тургора?

8. Почему в 5 % растворе глюкозы будет наблюдаться более значительная степень плазмолиза, чем в 5 % растворе сахарозы?

9. На чём основан принцип определения осмотического давления методом плазмолиза?

10. Как будет отличаться время плазмолиза у растений мезофитов и склерофитов?

11. Поясните, какая форма плазмолиза представлена на рис. 10? При каких условиях она наблюдается, какие особенности клетки приводят к формированию тяжей, обозначенных на рисунке стрелками?

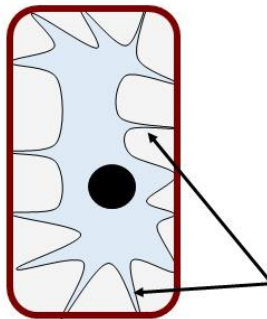


Рис. 10. Плазмолизованная клетка растения

12. В чем отличия временного и стойкого плазмолиза? Приведите примеры веществ-плазмолитиков, которые вызывают данные формы плазмолиза.

13. Каким образом одно- и двухвалентные катионы влияют на степень гидратации коллоидов?

14. Какое значение имеет повышенная вязкость протопласта для растительной клетки? В каких экологических условиях формируется такой вид адаптации.

15. Какие показатели водного раствора необходимо учесть, чтобы определить его осмотическое давление? На какие из них растительная клетка может повлиять? Ответ поясните.

16. Какие условия необходимо создать, чтобы наблюдать переход клетки из тургорного состояния к выпуклой форме плазмолиза, а затем к колпачковому плазмолизу (рис. 11)?

17. На рис. 11 представлен колпачковый плазмолиз, какие структуры отмечены №№ 1–6.

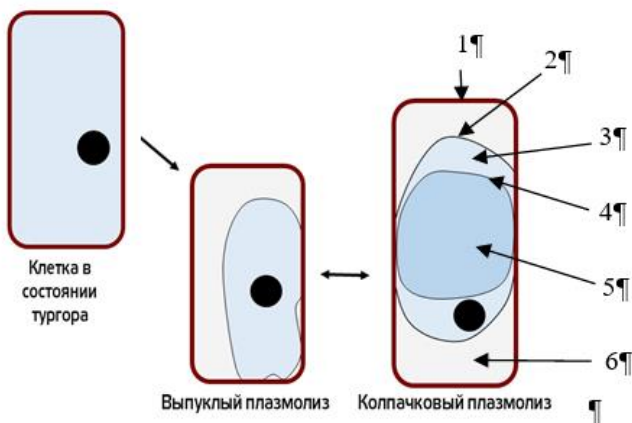


Рис. 11. Плазмолиз растительной клетки

Расчетные задачи

18. Определите осмотическое давление клеточного сока при +22 °С, если известно, что изотонический раствор сахарозы для данной клетки имеет концентрацию 0,35 М.

19. Определите осмотическое давление клеточного сока при температуре +18 °С, если известно, что 0,3 и 0,4 М растворы сахарозы плазмолиза в клетке не вызывают, а в 0,5 М и в 0,6 М растворе наблюдается плазмолиз.

20. (1–27). Растительная клетка в состоянии неполного тургора, известны: осмотическое давление ее клеточного сока, температура, окружающий раствор и его концентрация (табл. 1), определите для одного из вариантов: куда пойдет вода – в клетку или из клетки?

Таблица 1

Данные для определения направления движения воды

№ варианта	Осмотическое давление клеточного сока, атм	Т, °С	Концентрация окружающего раствора (М) и растворенное вещество		
			А Хлорид натрия	Б Сахароза	В Хлорид железа (III)
1	12	+18	0,7	0,5	0,4
2	12	+18	0,3	0,1	0,6
3	12	+18	0,2	0,8	0,9
4	8	+6	0,4	0,2	0,7
5	15	0	0,6	0,5	0,3
6	3	+20	0,9	0,1	0,8
7	10	+17	0,8	0,9	0,2
8	7	+10	0,2	0,7	0,9
9	4	+25	0,4	0,3	0,7

21. (1–18). Осмотическое давление клеточного сока указано в табл. 1., а тургорное давление составляет: а) $3/4$ от максимальной величины; б) $1/5$ от максимальной величины. Определить сосущую силу клетки.

22. (1–9). Определите осмотическое давление клеточного сока для одного из вариантов, приведенных в табл. 2. Что произойдет с клеткой, если поместить ее в раствор с осмотическим давлением в 10 атм.

23. (1–9). Подберите гипотонический и гипертонический растворы нитрата калия для клетки одного из вариантов, приведенных в табл. 2 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2

Данные для расчета осмотического давления клетки

№ варианта	Тургорное давление, атм	Водный потенциал клетки (сосущая сила), атм
1	12	1
2	17	2
3	1	4
4	8	18
5	15	3
6	3	7
7	10	1
8	7	11
9	4	5

24. (1–9). Подберите изотонический раствор сахарозы для клетки одного из вариантов, приведенных в табл. 2: а) при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

25. (1–9). Определите направление движения воды между клетками, характеристики которых приведены в табл. 3.

26. (1–9). Клетку 1 поместили в экспериментальный раствор (табл. 3). Определите направление движения воды для одного из вариантов. Что произойдет с клеткой в данном растворе?

27. (1–9). Клетку 2 поместили в экспериментальный раствор (табл. 3). Определите направление движения воды для одного из вариантов. Что произойдет с клеткой в данном растворе?

28. (1–9). Подберите гипотонический и гипертонический растворы нитрата калия для клетки 1 одного из вариантов, приведенных в табл. 3 при 0 °С.

29. (1–9). Подберите изотонический раствор сахарозы для клетки 1 одного из вариантов, приведенных в табл. 3: а) при 0 °С; б) при 20 °С.

Таблица 3

Данные для расчета осмотического давления клетки

№ варианта	Тургорное давление, атм		Осмотическое давление экспериментального раствора, атм	Осмотическое давление клеточного сока, атм	
	Клетка 1	Клетка 2		Клетка 1	Клетка 2
1	1	12	10,0	12	18
2	12	10	12,0	17	20
3	4	15	3,0	11	18
4	13	8	16,0	18	12
5	3	15	22,0	15	18
6	7	3	31,0	13	9
7	1	10	30,5	10	20
8	11	7	34,7	27	13
9	5	4	38,9	14	8

30. (1–9). Подберите гипотонический и гипертонический растворы нитрата калия для клетки 2 одного из вариантов, приведенных в табл. 3 при 0 °С.

31. (1–9). Подберите изотонический раствор сахарозы для клетки 2 одного из вариантов, приведенных в табл. 3: а) при 0 °С; б) при 20 °С.

32. (1–9). Определите предполагаемое осмотическое давление клеток растительной ткани по результатам погружения в растворы сахарозы разной концентрации. Данные для расчетов приведены в табл. 4

Таблица 4

Результаты погружения клеток в разные растворы

№ клетки	Т, °С	Концентрация раствора сахарозы (М), в котором протопласт клетки:			
		уменьшается		увеличивается	
1	+7	0,7	0,4	0,2	0,1
2	+18	0,3	0,6	0,1	0,2
3	+11	0,5	0,9	0,4	0,3
4	+15	0,4	0,7	0,3	0,1
5	+6	0,6	0,3	0,1	0,2
6	0	0,9	0,8	0,7	0,4
7	+20	0,8	0,6	0,4	0,5
8	+17	0,7	0,9	0,6	0,4
9	+10	0,4	0,7	0,2	0,3

33. (1–3). На основании данных табл. 5–7 определите значение водного потенциала клеток коры: а) корнеплода моркови; б) клубня картофеля; в) корнеплода свеклы.

Какие явления будут происходить, если кусочки этой ткани погрузить в 1М раствор сахарозы? Сделайте схематические рисунки.

Таблица 5

**Влияние концентрации раствора хлорида натрия
на длину брусочков из коры корнеплода моркови**

Концентрация растворов, М	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Первоначальная длина брусочков, мм	30	30	30	30	30	30	30	30
Длина брусочков после пребывания в растворе, мм	33	32	31	30	29	28	27	26
Изменение длины брусочков, мм								

Таблица 6

**Влияние концентрации раствора хлорида натрия на длину
брусочков из клубня картофеля**

Концентрация растворов, М	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Первоначальная длина брусочков, мм	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Длина брусочков после пребывания в растворе, мм	22,0	21,0	20,0	19,0	18,5	17,0	17,5	16,0
Изменение длины брусочков, мм								

Таблица 7

**Влияние концентрации раствора хлорида натрия
на длину брусочков из корнеплода свеклы**

Концентрация растворов, М	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Первоначальная длина брусочков, мм	20	20	20	20	20	20	20	20
Длина брусочков после пребывания в растворе, мм	25	24	23	22	21	20	19	18
Изменение длины брусочков, мм								

РАЗДЕЛ 3. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЯ

Водный обмен растений складывается из процессов получения, перераспределения и потери воды. В данном разделе приведены вопросы и задачи по поглощению воды корневой системой и потере воды в ходе испарения, о работе нижнего и верхнего конечного двигателя.

Расчетные задачи в большинстве рассматривают транспирационные процессы, характеристики которых можно выразить разнообразными показателями.

Интенсивность транспирации. Эта потеря воды (в г) в ходе испарения с единицы площади (м^2 , дм^2) за час. У большинства растений колеблется от 15 до 250 $\text{г}/\text{м}^2$ в час днем и от 1 до 20 $\text{г}/\text{м}^2$ в час ночью.

Продуктивность транспирации. Отражает количество накопленного органического вещества при испарении 1 л воды. У растений в умеренном климате колеблется от 1 до 8 (в среднем 3 г) на 1000 г израсходованной воды.

Транспирационный коэффициент. Это количество воды (мл) испарившейся при накоплении растением 1 г органических веществ. Для растений средней полосы России колеблется от 125 до 1000 мл/г. В среднем это около 300, т. е. около 300 г воды расходуется на накопление 1 г сухих веществ, но может составлять и 1500 мл/г. Зная его величину, можно приблизительно вычислять поливные нормы для орошаемых культур в разных почвенно-климатических условиях.

Экономичность транспирации. Указывает количество воды, испаренное растением за единицу времени в процентах от общего запаса воды в растении. Тонколистные растения расходуют за час больше воды по сравнению с растениями с мясистыми листьями, которые испаряют 8–20 % от общего количества содержащейся в них воды.

Относительная транспирация. Характеризует отношение интенсивности транспирации к интенсивности испарения со свободной водной поверхности при тех же условиях. Показатель характеризует способность регулировать транспирацию и колеблется в среднем от 0,1 до 0,5. У растений, хорошо защищенных от потери воды, он снижается до 0,01 и ниже, а для тех, кто к дефициту воды не адаптирован, он может подняться до 1 и даже 2.

Сравнение количественных показателей позволяет оценить состояние растения, сравнить разные виды растений по количеству необходимой им воды (табл. 8).

Таблица 8

Варьирование транспирационных коэффициентов (ТК) у сельскохозяйственных растений (по Алпатьеву)

Растение	ТК	Растение	ТК
Пшеница	217–735	Горох	259–782
Люцерна	446–1210	Кукуруза	174–406
Просо	162–447	Подсолнечник	290–705
Сорго	204–298	Картофель	167–659

Также на основе транспирационных коэффициентов можно рассмотреть отличия в транспирации у разных экологических групп растений по отношению к воде. В том числе разных путей адаптации растений к засухе (рис. 12).

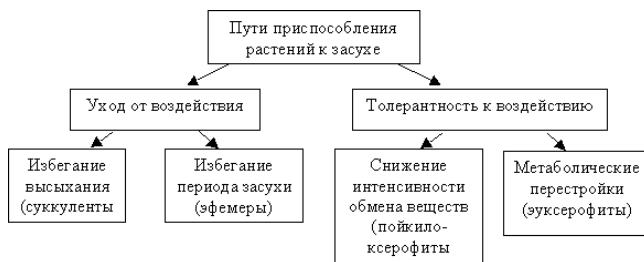


Рис. 12. Пути адаптации растений к почвенной засухе

Устные задания

1. Почему К. А. Тимирязев называл транспирацию «неизбежным злом»?

2. Происходит ли транспирация при закрытых устьицах и у безлистных побегов?

3. В табл. 8 приведены транспирационные коэффициенты некоторых сельскохозяйственных растений. Выберите в ней растение, наименее нуждающееся в поливе в условиях почвенной засухи.

4. Как объяснить, что при общей небольшой площади устьичных отверстий (около 1 % площади листьев) интенсивность транспирации при благоприятных условиях водоснабжения растения приближается к интенсивности испарения со свободной водной поверхности?

5. Назовите структуры под № 1–4 на рис. 13. Какие физиологические процессы должны произойти в клетках, чтобы состояние А сменилось состоянием Б?

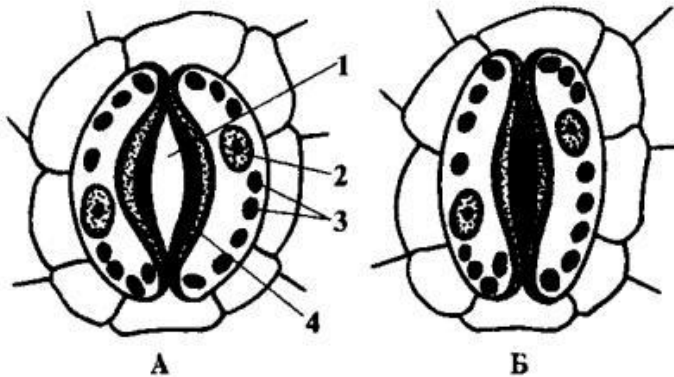


Рис. 13. Изменение просвета устьичной щели

6. На рис. 14 представлено фотоактивное движение устьиц, объясните происходящие в клетках 1 и 2 процессы.

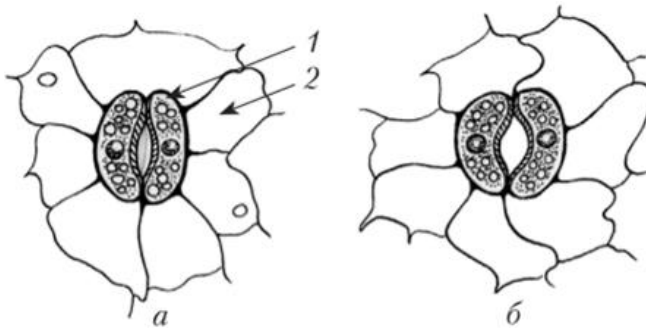


Рис. 14. Фотоактивное движение устьиц

7. Как объяснить завядание листьев в жаркий летний день при достаточном количестве воды в почве и ликвидацию водного дефицита ночью?

8. Растение было выдержано несколько часов в темноте, а затем выставлено на прямой солнечный свет. Как изменится при этом транспирация? Почему?

9. С какой целью растения регулируют свое осмотическое давление? Приведите варианты изменения метаболизма, приводящих к его росту.

10. В лабораторию поступило 2 объекта одного вида растения (в состоянии тургора). Осмотическое давление в клетках растений составляли соответственно 4 и 7 атм. Какие факторы могли повлиять на данный факт?

11. Какие абиотические факторы способны регулировать интенсивность устьичной и кутикулярной транспирации?

12. Какой процесс, происходящий в растениях продемонстрирован в эксперименте на рис. 15? Предположите результаты эксперимента, если в качестве объектов сравнения будут

взяты: а) побеги одного растения с разным числом листьев, б) побеги травянистого и древесного растения.

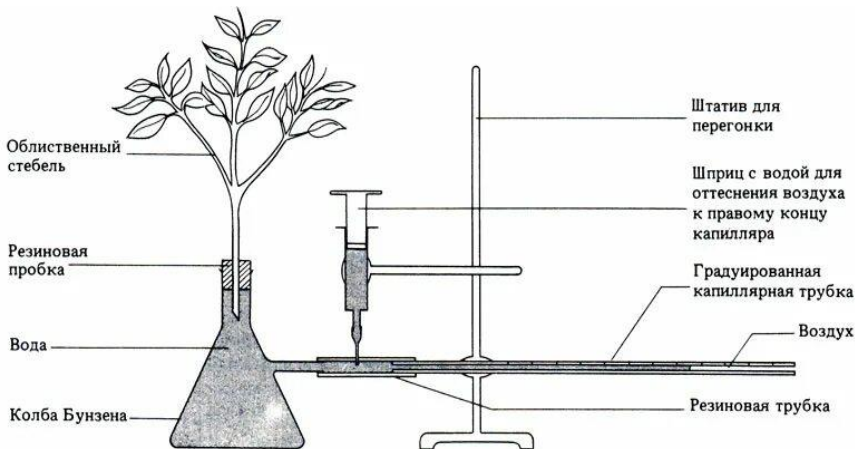


Рис. 15. Экспериментальная установка для изучения водного обмена растений

13. Как изменяет состояние устьиц накопление в замыкающих клетках: ассимилятов, АБК или калия? Каковы механизмы действия этих веществ в регуляции устьичных движений.

14. При одинаковой температуре окружающей среды и одинаковом водоснабжении интенсивность транспирации растения на свету и в темноте неодинакова. Почему?

15. По рисункам клеток в разных зонах корня (рис. 16) поясните: с какими физиологическими процессами связаны изменения в клеточном строении.

16. Назовите зоны 2 и 4 на рис. 16, сравните особенности их водного баланса. Поясните происходящие в каждой зоне физиологические процессы.

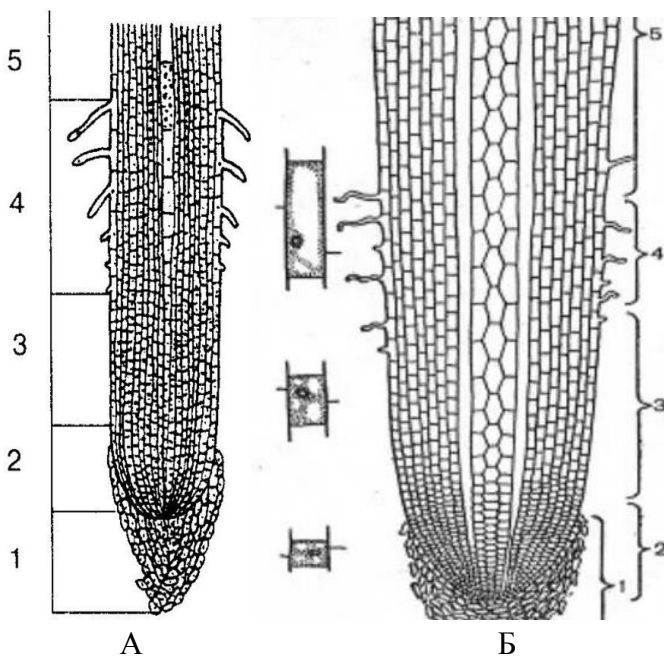


Рис. 16. Зоны корня и особенности их клеток

17. В одном из опытов Л. А. Иванова 20-летняя сосна была спилена 3 ноября, торец пня был тщательно смазан салом и закрыт клеенкой, после чего периодически определялась влажность древесины пня, которая изменялась: 3 ноября – 60,2 %, 5 ноября – 62,2 %, 9 ноября – 63,7 %. Как объяснить полученные результаты?

18. Поясните, почему корни слабо поглощают воду из холодных почв?

19. Как объяснить «плач» березы при поранении ствола рано весной и отсутствие этого явления летом?

20. У некоторых растений незадолго перед дождем появляются капли воды на кончиках листьев. Каковы причины этого явления?

21. В двух чашках с почвой были выращены проростки кукурузы при одинаковых условиях. Затем одну плошку поставила в сосуд с водой комнатной температуры, а вторую – в сосуд с водой, нагретой до 30 оС, после чего обе плошки закрыли стеклянными колпаками. У каких проростков будет наблюдаться более интенсивная гуттация? Как это объяснить?

22. Ветка тополя была срезана с дерева, поставлена в банку с водой и закрыта стеклянным колпаком. Будет ли наблюдаться гуттация у этой ветки? Объясните.

23. Чем объясняется уменьшение интенсивности всасывания воды растением при затоплении почв?

24. Какие листья быстрее завядают при почвенной засухе: верхние или нижние?

25. Какие условия способствуют активной гуттации растений?

26. Дальний транспорт воды в растении обеспечивается разными механизмами. Какие из них отражены на рис. 17? Опишите принципы работы каждого. Какой из вариантов наиболее активно работает у суккулентов?

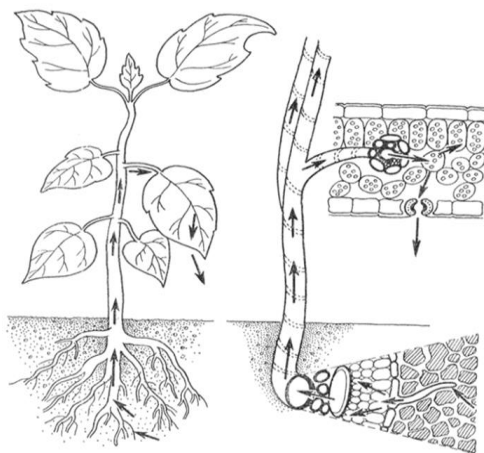


Рис. 17. Движение воды в растении

27. Опишите изменение водного потенциала разных клеток растения по рис. 17. В ходе каких процессов происходит его изменение?

28. Определите, к какой группе растений по отношению в воде относится растение, строение листа которого приведено на рис. 18? Какие особенности строения позволяют вам сделать такой вывод?

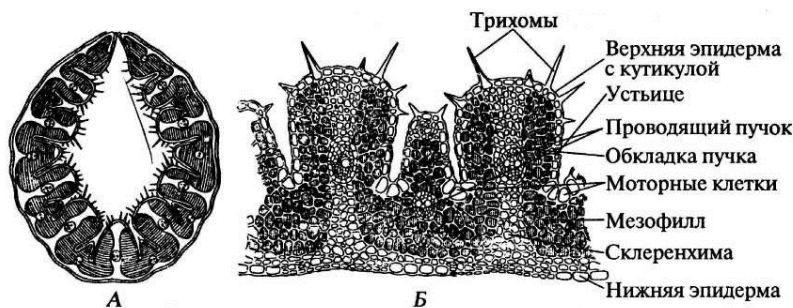


Рис. 18. Лист ковыля перистого на поперечном срезе

Расчетные задачи

29. (1–8). Определите продуктивность транспирации для одного из приведенных в табл. 8 сельскохозяйственных растений. Для расчетов возьмите среднее значение транспирационного коэффициента.

30. (1–9). Определите интенсивность транспирации для одного из древесных растений. Необходимые данные о площади листовой поверхности, времени транспирации и объеме испаренной воды приведены в табл. 9.

31. (1–9). Определите интенсивность транспирации для одного из древесных растений. Необходимые данные о площади листовой поверхности, времени транспирации и объеме испаренной воды приведены в табл. 10.

32. (1–9). Определите интенсивность транспирации для одного из растений и рассчитайте относительную транспирацию. Необходимые данные о растении приведены в табл. 10. Площадь свободной водной поверхности – 20 дм², время испарения с нее воды – 2 часа.

Таблица 9

Данные для расчета интенсивности транспирации

№ растения	Листовая поверхность, дм ²	Время, ч	Объем испаренной воды, кг
1	30	12	1
2	260	8	1,7
3	4400	15	133
4	180	3	0,8
5	378	16	1,5
6	79	72	3
7	156	4	0,8
8	18200	0,5	0,7
9	565	2,2	1,4

Таблица 10

Данные для расчета интенсивности транспирации

№ растения	Листовая поверхность, м ²	Время транспирации, мин	Объем испаренной воды, мл	
			у растения	с водной поверхности
1	36	120	1060	59
2	28	84	1745	59
3	44	152	13300	4773
4	182	35	8000	60
5	38	100	1540	12

6	77	74	3860	81
7	19	45	1070	100
8	115	72	748	5
9	56	25	1400	120

33. (1–9). Определите продуктивность транспирации для одного из древесных растений. Необходимые данные о количестве накопленных органических веществ и объему испаренной воды приведены в табл. 11.

Таблица 11

Данные для расчета продуктивности транспирации

№ растения	Накопленные органические вещества, кг	Объем испаренной воды, кг
1	12	1065
2	8,4	1749
3	15,2	13380
4	3,5	800
5	10	1540
6	7,4	3800
7	0,45	107
8	7,2	740
9	2,8	1400

34. (1–9). Определите транспирационный коэффициент для одного из древесных растений. Необходимые данные о количестве накопленных органических веществ и объему испаренной за вегетационный период воды приведены в табл. 11.

35. (1–9). Определите объем воды, которое испарит растение при известной интенсивности транспирации. Необходимые данные приведены в табл. 12.

36. (1–9). Данные о продуктивности транспирации даны в табл. 13. Рассчитайте транспирационный коэффициент для двух соседних растений. Поясните, какое из них для накопления максимальной биомассы больше нуждается в поливе.

Таблица 12

Данные для расчета потерь воды

№ растения	Листовая поверхность, дм²	Время, ч	Интенсивность транспирации, г/дм² в час
1	1200	1,5	0,51
2	170	2,8	0,34
3	182	4	1,81
4	874	18	0,04
5	15	3,6	2,59
6	370	0,7	1,35
7	180	1,4	0,48
8	76	11	0,72
9	412	5	0,61

Таблица 13

Данные для расчета транспирационного коэффициента и интенсивности транспирации

№ растения	Продуктивность транспирации, г/л	Масса 1, г	Масса 2, г	Площадь листьев побега, см²
1	1,6	10,89	10,54	240
2	2,8	33,67	33,33	300
3	4	7,08	6,54	453
4	8	10,45	10,23	198
5	3,6	4,89	4,44	1225
6	7	4,24	3,97	252
7	1,4	18,55	17,97	625
8	11	6,26	5,13	1357
9	5	0,28	0,04	250

37. (1–9). Определите интенсивность транспирации для одного из побегов древесных растений. Необходимые данные о площади листовой поверхности побега, массе сразу после его срезания (масса 1) и спустя 3 минуты (масса 2) приведены в табл. 13.

38. (1–9). Разные семена при набухании поглощают разное количество воды (табл. 14). Рассчитайте, какое количество воды потребуется для набухания 150 кг семян одного из приведенных растений (для расчетов берите среднее значение показателя).

Таблица 14

Количество воды (% к воздушно-сухой массе) необходимое для набухания и прорастания семян (по Гродзинскому)

Растение	Количество воды	Растение	Количество воды
Просо	25,0–38,2	Вика	75,4
Кукуруза	37,3–44,0	Тимофеевка	80,0
Пшеница	46,6–47,7	Мятлик	90,0
Ячмень	48,2–57,4	Чечевица	93,3
Горох, бобы, фасоль	106–114	Клевер красный	117–143
Подсолнечник	56,5	Овес	59,8–76,3
Капуста	60,0	Лен	160,6

39. На основании данных табл. 15 определите содержание воды, продуктивность транспирации, транспирационный коэффициент листьев растений. Какие выводы вы можете сделать?

40. На основании данных табл. 16 определите содержание воды, продуктивность транспирации, транспирационный коэффициент листьев растений. Какие выводы вы можете сделать?

Таблица 15

Показатели водного обмена растений

Содержание элементов минерального питания в среде культивирования растений	Масса листьев, г				Масса израсходованной воды за время опыта, г
	в начале опыта		в конце опыта		
	исходная	после высушивания	исходная	после высушивания	
Избыток	13,2	6,8	15,1	8,5	550
Оптimum	12,4	6,5	14,3	7,2	300
Недостаток	10,1	4,1	11,9	4,3	110

Таблица 16

Показатели водного обмена растений

Объект	Масса листьев, г				Масса израсходованной воды за время опыта, г
	в начале опыта		в конце опыта		
	исходная	после высушивания	исходная	после высушивания	
Пшеница	12,5	8,4	16,3	10,6	1200
Сахарный тростник	54,3	32,8	72,5	45,5	3500
Агава	6,2	3,2	7,9	4,1	50

РАЗДЕЛ 4. ФОТОСИНТЕЗ

Растения – фототрофные организмы, они синтезируют органические вещества в процессе фотосинтеза. В данном разделе приведены вопросы и задания по данному процессу. Его интенсивность отражается не только на самом растении, но и на экосистеме в целом.

Расчетные задачи раздела позволяют рассмотреть особенности некоторых показателей фотосинтетических процессов. Для измерения активности фотосинтеза существует значительное количество характеристик, наиболее используемые приведены ниже.

Интенсивность фотосинтеза (ИФ) чаще всего выражают в количестве углекислого газа, которое усваивается единицей листовой поверхности за единицу времени (*мг CO₂*, ассимилированного 1 дм² листа за 1 ч). В зависимости от вида растения этот показатель колеблется от 5 до 25 мг CO₂/дм²·ч.

Однако интенсивность фотосинтеза может быть выражена в других единицах:

- *в мл O₂*, выделенного 1 дм² листа за 1 ч;
- *в мг сухого вещества*, накопленного 1 дм² листа за 1 ч.

Продуктивность фотосинтеза (чистая продуктивность фотосинтеза, ЧПФ) – это отношение суточного увеличения *массы* всего растения (в граммах) *к площади* листьев. В среднем эта величина составляет от 0,1 до 20 г сухого вещества на 1 м² листовой поверхности в сутки. Она варьируется в зависимости от условий и периода вегетации. Например, у злаков в фазе интенсивного роста это 40–50 г/м² в сутки, а у основных сельскохозяйственных культур – 4–10 г/м² в сутки.

Коэффициент эффективности фотосинтеза – это эффективность использования усвоенной в процессе фотосинтеза

углекислоты на построение биомассы растения. Определяется отношением показателя чистой продуктивности фотосинтеза ($\text{г/м}^2 \cdot \text{сутки}$) к количеству усвоенного за день в процессе фотосинтеза углекислого газа ($\text{г/м}^2 \cdot \text{сутки}$). Показывает, насколько эффективно используется усваиваемая в процессе фотосинтеза CO_2 на построение сухого вещества урожая.

Чаще всего величина этого коэффициента близка к 0,5. У молодых растений он составляет 0,36–0,39, а к концу вегетации возрастает до 1,01–1,02. При неблагоприятных условиях снижается, а иногда равен нулю или отрицателен (например, при засухе и высокой температуре).

Ассимиляционный коэффициент (K_{acc}) – это отношение количества усваиваемой в процессе фотосинтеза CO_2 к количеству хлорофилла в ассимиляционных органах. Составляет примерно 5 мг CO_2 на 1 мг хлорофилла в час.

Чем больше в листьях хлорофилла, тем ниже ассимиляционный коэффициент. Поэтому K_{acc} у светолюбивых растений обычно выше, чем у тенелюбивых, поскольку листья последних содержат больше хлорофилла.

Устные задания

1. Почему экстрагирование с помощью водных растворов спирта или ацетона приводит к полному обесцвечиванию листьев, тогда как неполярные растворители (например, бензин) не могут извлечь весь содержащийся в листьях хлорофилл?

2. Почему лист имеет зеленую окраску? Какие части солнечного спектра используются при фотосинтезе?

3. Какой биологический смысл красной окраски глубоководных морских водорослей?

4. Какие особенности строения молекул пигментов обеспечивают им способность поглощать свет в определенной области спектра?

5. При участии каких пигментов фотосинтез используют лучи разной длины волны? Используйте для пояснений рис. 19.

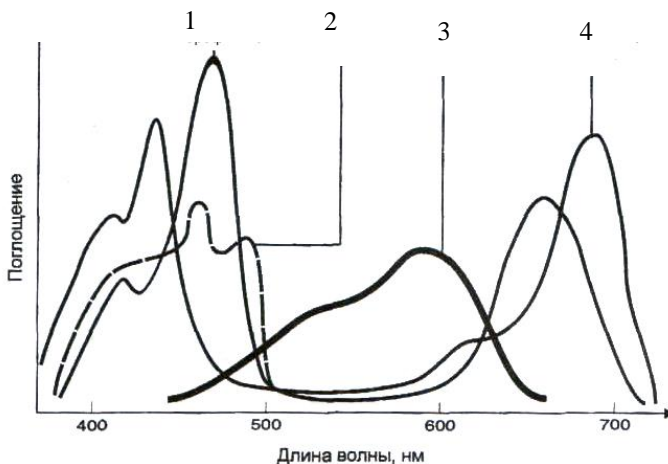


Рис. 19. Максимумы поглощения основных фотосинтетических пигментов

6. Что такое ФАР? Свет каких длин волн составляет ФАР?

7. В чём заключается роль хлорофилла как фотосенсибилизатора?

8. Почему очень концентрированные растворы хлорофилла имеют тёмно-красный цвет?

9. Как влияет на выделение кислорода изменение качественных и количественных показателей освещения растения?

10. Охарактеризуйте изменения энергетического состояния хлорофилла, представленные на рис. 2 прил. 1. Опишите варианты реализации электронного возбуждения.

11. Спиртовую вытяжку из зеленого листа рассматривают в проходящем и в отраженном свете (рис. 20). Объясните отличия в окраске двух пробирок.

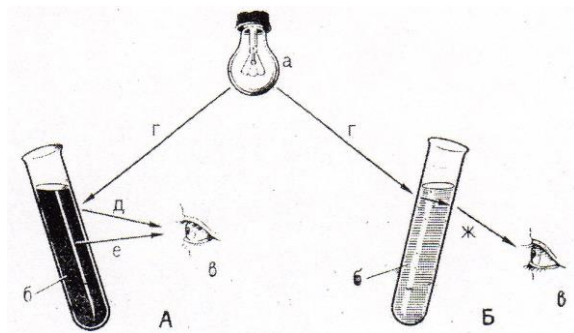


Рис. 20. Рассмотрение вытяжки хлорофилла при разном освещении

12. Рассмотрите рис. 21 и приведенные фотосистемы. Каково их расположение в разных видах тилакоидов и особенности оптимального функционирования.

13. Веточка элодеи была погружена в воду и освещена сначала красным, а затем синим светом той же интенсивности. В каких случаях будут более быстро выделяться пузырьки O_2 из листьев? Как это объяснить?

14. В мембранах тилакоидов возможен циклический и нециклический транспорт электронов. Используя рис. 21 опишите последовательность движения электрона и назовите конечные продукты при разных видах транспорта.

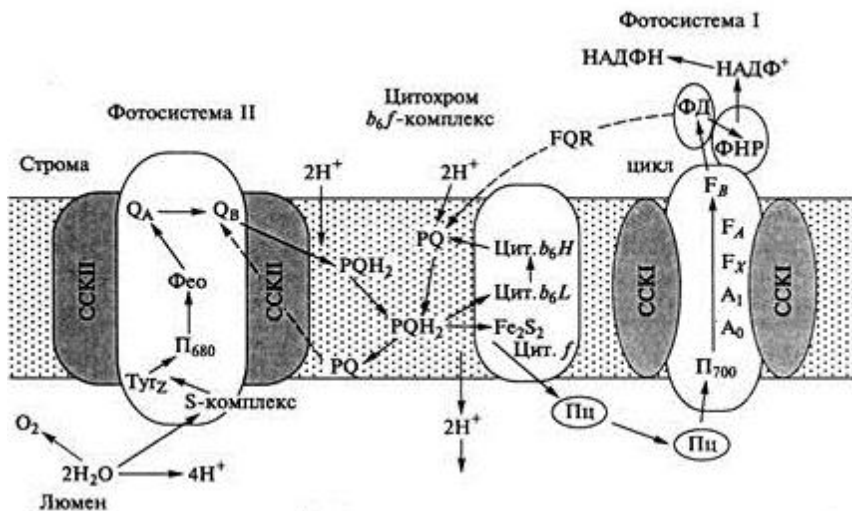


Рис. 21. Белковые комплексы мембран хлоропласта

15. Как изменится транспорт электронов и конечные продукты световых реакций в случае отсутствия окисленного НАДФ?

16. Каковы результаты работы электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) хлоропластов? Какие структуры участвуют в реализации итогов работы ЭТЦ? В чем суть теории Митчела?

17. Известно, что скорость фотохимических реакций не зависит от температуры. Между тем фотосинтез, осуществляющийся за счет световой энергии, подчиняется правилу Вант-Гоффа, ускоряясь в 2–3 раза при повышении температуры на 10°. Как объяснить это явление?

18. Помимо двух основных вариантов транспорта электронов (циклический ФС I и нециклический) в растениях возможны и другие варианты (рис. 3 прил. 1). Поясните при каких условиях они начинают функционировать.

19. Какие изменения в процессах, отраженных на рис. 22 произойдут при переходе растения на циклический транспорт электронов за счет ФС1?

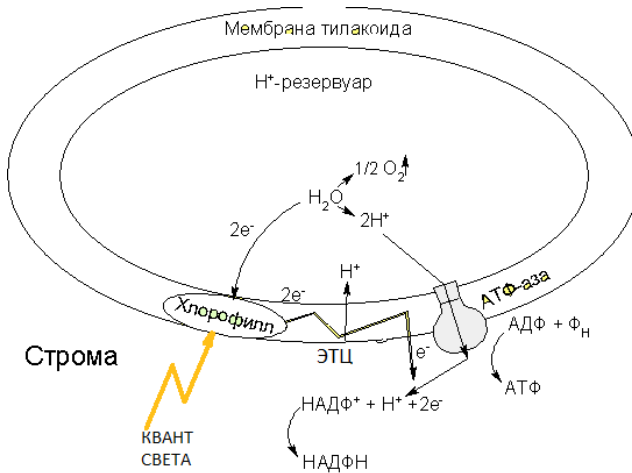


Рис. 22. Процессы световой фазы фотосинтеза

20. Растение было освещено сначала зеленым, а затем синим светом той же интенсивности. В каких случаях будет наблюдаться более быстрое поглощение CO₂ листьями? Почему?

21. Два одинаковых листа в течение трех дней были закрыты светонепроницаемыми чехлами, а затем освещены: первый лист – красным, а второй – желтым цветом одинаковой интенсивности. У какого листа будет более высокое содержание крахмала? Как это объяснить?

22. Почему в неблагоприятных условиях в клетках мезофилла усиливаются альтернативные пути фотосинтетического метаболизма углерода?

23. Взаимовлияние интенсивности света и температуры на интенсивность фотосинтеза отражена на рис. 23. Предпо-

ложите для каких растений (с С-4 или С-3 фотосинтезом) получены данные зависимости. Дайте пояснения, сравнивая кривые.

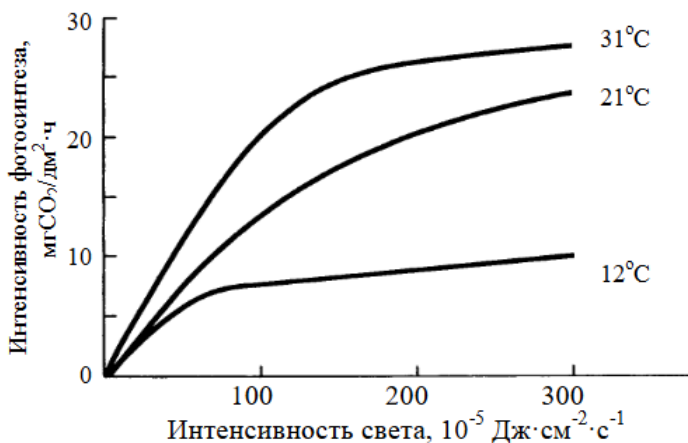


Рис. 23. Взаимовлияние интенсивности света и температуры на фотосинтез (по Полевому)

24. Нарисуйте углекислотную кривую фотосинтеза, проанализируйте её.

25. Какие условия среды способствуют фотодыханию? Для растений с каким типом фотосинтеза типичен данный процесс?

26. Какие особенности цикла Кальвина-Бенсона свидетельствуют о его появлении в условиях низкой концентрации кислорода? Какие эволюционные изменения произошли у растений в связи с увеличением содержания кислорода в атмосфере?

27. Взаимовлияние интенсивности света и концентрации углекислого газа на интенсивность фотосинтеза отражена на рис. 24. Дайте пояснения отраженным зависимостям, сравнивая кривые.

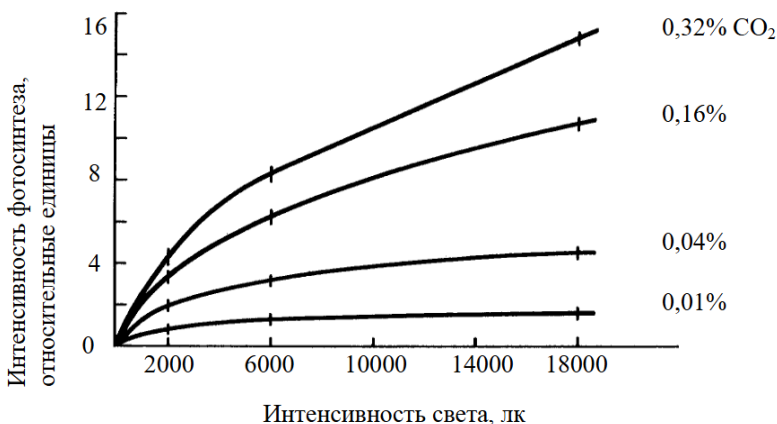


Рис. 24. Взаимовлияние интенсивности света и концентрации углекислого газа на фотосинтез (по Маракаеву)

28. Как доказать при помощи метода крахмальной пробы необходимость света для процесса фотосинтеза?

29. У многих растений нередко наблюдается выделение CO_2 листьями в полуденные часы летнего дня. Каковы причины этого явления?

30. Какие структуры можно выделить на рис. 25? Объясните, движение каких веществ отмечено на рисунке стрелками. Сделайте выводы об особенностях фотосинтеза данного растения.

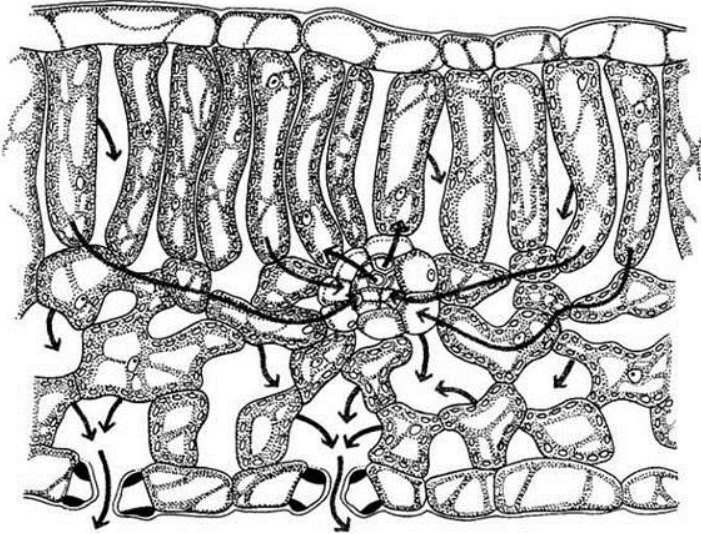


Рис. 25. Схема передвижения веществ на срезе листа растения

31. Какие структуры листа обозначенных на рис. 26? Поясните их роль для процессов фотосинтеза. Какие две разновидности хлоропластов можно выделить у данного листа? К каким структурам они приурочены?

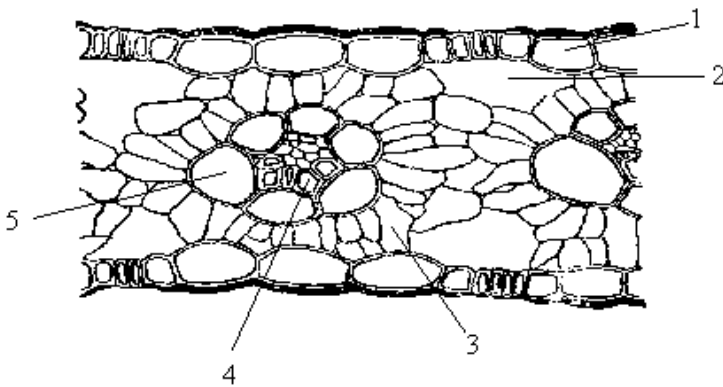


Рис. 26. Поперечный срез листа кукурузы

32. Поясните отличия в анаболических процессах, происходящих в листьях представленных на рис. 25 и рис. 26. Назовите причины появления данных отличий.

33. Проведите сравнение ферментов РуБФКО (рибулозабифосфаткарбоксилазаоксидаза) и ФЕПК (фосфоенолпируваткарбоксилаза).

34. Как особенности ФЕПК определяют большую адаптивность растений с С₄-фотосинтезом?

35. В отличие от большинства растений у суккулентов устьица днем закрыты, а ночью открываются. Как протекает у них фотосинтез?

36. Найдите черты сходства и различия в поглощении углекислоты растениями с С₄-фотосинтезом и САМ-фотосинтезом.

37. Как скажется понижение концентрации кислорода на продуктивности С₃- и С₄-фотосинтеза?

38. Используя рис. 27, сравните изменение интенсивности фотосинтеза у растений с разным типом фотосинтеза.

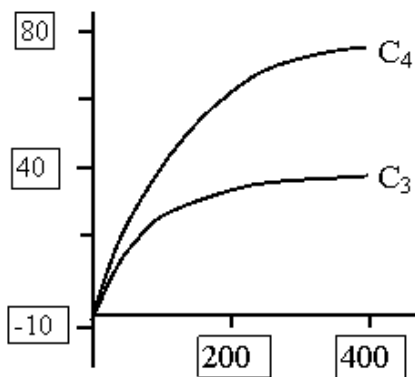


Рис. 27. Динамика изменения интенсивности фотосинтеза (мг СО₂/дм²·ч) у растений с С₃- и С₄-фотосинтезом при повышении освещенности (ФАР, Вт/м²)

39. Хлоропласты каких клеток у C4-растений лучше приспособлены для световых, а какие – для темновых реакций? Почему отсутствие гран в хлоропластах проходящих пучков дает определенную выгоду? Объясните.

40. Что такое листовая мозаика? У каких растений обычно наблюдается это явление – у светолюбивых или теневыносливых?

41. Как объяснить отмирание нижних ветвей деревьев в сомкнутом насаждении? У каких пород и почему процесс очищения ствола от сучьев происходит быстрее: лиственница, пихта, сосна, ель?

42. Компенсационная точка у теневыносливых растений (например, липа) составляет 0,5–1 % полного дневного освещения, а светолюбивых (например, дуб) 3–5 %. Какова причина различия?

43. Профессор Л. А. Иванов приводит следующие данные: при слабом освещении (1 % полного солнечного) листья клена за 1 час на 1 г сырой массы поглотили 0,54 мг CO₂, листья дуба выделится 0,12 мг CO₂, а у листьев ивы не наблюдалось ни поглощения, ни выделения CO₂. Какие выводы можно сделать на основании приведенных результатов?

44. Как объяснить хорошее естественное возобновление (рост молодых сеянцев) под пологом материнского древостоя липы, клена, вяза и полную гибель подроста березы, дуба, осины?

45. Каковы причины гибели многих лесных трав (кислицы, недотроги, майника) после вырубki леса?

46. С какой целью проводится эксперимент, приведенный на рис. 28? Поясните его этапы и требования к объекту исследования.

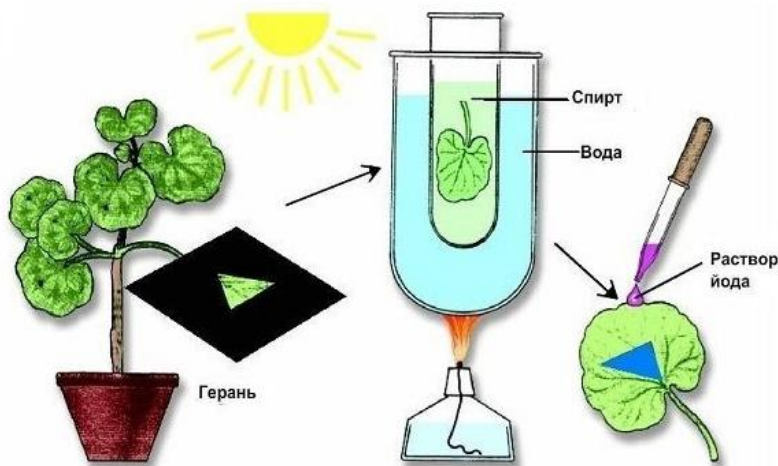


Рис. 28. Физиологический эксперимент

47. Освещенность составляет 90 % оптимальной величины для данного растения, температуры 40 % от оптимальной, все остальные влияющие на фотосинтез факторы оптимальны. Назовите факторы, увеличение которых вызовет: а) резкое усиление фотосинтеза б) небольшое увеличение интенсивности фотосинтеза в) не приведет к повышению интенсивности фотосинтеза?

48. Назовите возможные местообитания или природные условия, в которых факторам, лиминирующими фотосинтез, могут быть: а) интенсивности освещения б) концентрация кислорода в) температура.

49. Как объяснить прекращение фотосинтеза срезанного и поставленного в воду листа при самых благоприятных внешних условиях?

50. В. А. Бриллиант установила, что максимальная интенсивность фотосинтеза наблюдается не при полном насыщении

листьев водой, при небольшом (около 5 %) водном дефиците. Какие объяснения можно дать описанному феномену?

51. По данным А. С. Оканенко, в южных районах Украины более высокий урожай дают сорта сахарной свеклы со светло-зелеными листьями, а в Белоруссии и Прибалтике – с темно-зелеными. С чем это связано?

52. Несмотря на то, что интенсивность фотосинтеза сосны примерно в 3 раза меньше, чем на березы (при одинаковых внешних условиях), прирост органической массы этих пород при расчете на 1 га почти одинаков. Как это объяснить?

53. Каковы отличия в организации фототрофных тканей листа у светолюбивых и теневыносливых растений.

54. Нарисуйте температурную кривую фотосинтеза. Поясните, почему она имеет такую форму.

55. Реализует ли растений максимально возможный фотосинтез при естественной концентрации CO_2 в атмосфере?

56. Почему высокие концентрации CO_2 ингибируют фотосинтез?

Расчетные задачи

57. (1–9). Определите интенсивность фотосинтеза для одного из растений (табл. 17), используя количество поглощенного углекислого газа.

58. (1–9). Определите интенсивность фотосинтеза для одного из растений (табл. 17), используя количество выделенного кислорода.

59. (1–9). Определите интенсивность фотосинтеза для одного из растений (табл. 17), используя количество накопленной сухой биомассы.

Таблица 17

Показатели интенсивности фотосинтетических процессов

№ растения	Листовая поверхность, дм ²	Время, ч	Накопленная биомасса, г	Объем О ₂ , мл	СО ₂ , г
1	120	1,5	0,51	400	5,1
2	170	2,8	0,34	700	3,4
3	182	4	1,81	2000	18,1
4	8	1,8	0,04	130	0,4
5	150	3,6	2,59	900	25,9
6	370	0,7	0,35	2300	13,5
7	180	1,4	0,48	2200	4,8
8	76	11	0,72	800	7,2
9	412	0,5	0,61	600	6,1

60. (1–9). Определите коэффициент эффективности фотосинтеза для одного из растений. Необходимые для расчетов данные приведены в табл. 18.

61. (1–9). Определите продуктивность фотосинтеза для одного из растений (табл. 18), если известно, что за несколько суток в процессе фотосинтеза растение с известной площадью листьев накопило определенную биомассу.

62. (1–9). Рассчитайте ассимиляционный коэффициент одного из растений. Количество поглощенного углекислого газа приведено в табл. 18, а данные о содержании хлорофилла в табл. 19.

63. (1–9). Определите интенсивность фотосинтеза для одного из растений. Необходимые для расчетов данные приведены в табл. 19.

Таблица 18

Показатели интенсивности фотосинтетических процессов

№ растения	Листовая поверхность, дм ²	Время, сут	Биомасса, г	Количество поглощенного СО ₂ , г
1	1,2	4	0,5	0,2
2	34	7	17	3,4
3	1,8	20	18	18,1
4	0,4	13	0,8	0,4
5	5,5	9	15	15,9
6	10,3	23	37	13,5
7	12,4	22	18	4,8
8	20,7	8	76	7,2
9	10,6	6	4,1	6,1

Таблица 19

Показатели интенсивности фотосинтетических процессов

	Листовая поверхность, дм ²	Время, ч	Объем О ₂ , мл	Количество хлорофилла, мг/ дм ²
1	3	12	120	370
2	26	0,8	45	47
3	44	15	1330	103
4	18	3	480	6
5	3	1,6	17	2398
6	0,6	0,7	3	3215
7	15	4	278	59
8	18	0,5	78,4	65
9	56	0,2	19	22

64. (1–9). Определите сколько грамм органического вещества выработает одно из растений за указанное время (табл. 20) при известной интенсивности фотосинтеза.

65. (1–9). Определите, за какое время одно из растений произведет 100 грамм органического вещества при указанной интенсивности фотосинтеза. Необходимые для расчетов данные приведены в табл. 20.

Таблица 20

Показатели интенсивности фотосинтетических процессов

№ расте- ния	Интенсивность фотосинтеза, в мг сухого вещества /1 дм² в час	Площадь листьев, м²	Вре- мя, сут
1	2,83	0,5	4
2	0,71	0,2	7
3	2,49	12	2
4	2,78	0,8	1
5	4,8	1,5	2
6	1,35	3	3
7	1,9	1,6	2
8	0,86	0,7	8
9	1,96	2,2	3

РАЗДЕЛ 5. ДЫХАНИЕ

Важнейшим этапом питания органическими веществами на клеточном уровне является процесс дыхания. Выделяющаяся при дыхании энергия тратится как на процессы роста, так и на поддержание в активном состоянии уже закончивших рост органов. Для получения энергии растения могут использовать различные субстраты (рис. 29), однако главнейшим запасным веществом у них является крахмал.

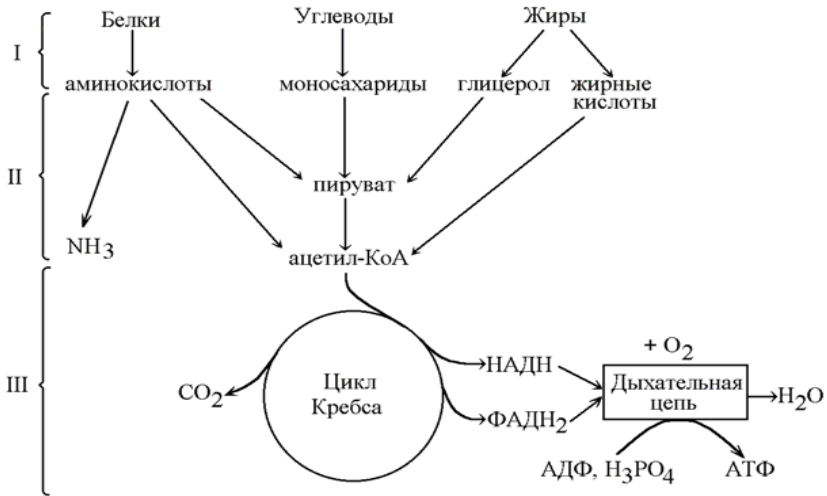


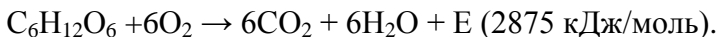
Рис. 29. Этапы расщепления различных субстратов

Активность процесса дыхания оценивают по следующим показателям:

Интенсивность дыхания (ИД) – это скорость, с которой происходит процесс дыхания, измеряемая количеством выделения углекислого газа за единицу времени (час) на единицу массы (г) дышащего материала (сырую или сухую).

Дыхательный коэффициент (ДК) — это объемное или молярное отношение CO_2 , выделившегося в процессе дыхания, к поглощенному за этот же промежуток времени O_2 .

При нормальном доступе кислорода величина ДК зависит от субстрата дыхания. Если в процессе дыхания используются углеводы, то процесс идет согласно уравнению:



В этом случае ДК равен единице: $6\text{CO}_2/6\text{O}_2 = 1$. Однако если разложению в процессе дыхания подвергаются более окисленные соединения, например, органические кислоты, поглощение кислорода уменьшается, ДК становится больше единицы. Так, если в качестве субстрата дыхания используется яблочная кислота, то ДК = 1,33. При окислении в процессе дыхания более восстановленных соединений, таких, как жиры или белки, требуется больше кислорода и ДК становится меньше единицы. Так, при использовании жиров ДК = 0,7.

Устные задания

1. Почему высшие растения не могут длительно поддерживать свою жизнь анаэробных условиях, хотя и не погибают сразу после попадания в среду без кислорода?
2. Почему нельзя хранить влажные семена?
3. В каких случаях растение (отдельные органы и ткани растений) испытывает дефицит кислорода? Как оно адаптируется к условиям гипо- и аноксии?
4. Каким образом в семенах, запасующих липиды, образуются редуцирующие сахара?
5. Перечислите промежуточные продукты аэробного дыхания, которые подвергается: а) декарбоксилированию, б) окислению (отнятию водорода).

6. Почему интенсивность дыхания растений резко возрастает при увеличении содержания O_2 в окружающей среде от 1 до 6 %, а при дальнейшем повышении содержания кислорода интенсивность дыхания почти не изменяется?

7. При начале водного дефицита, у разных растений интенсивность дыхания изменяется по-разному (рис. 30). Поясните причины происходящих изменений.

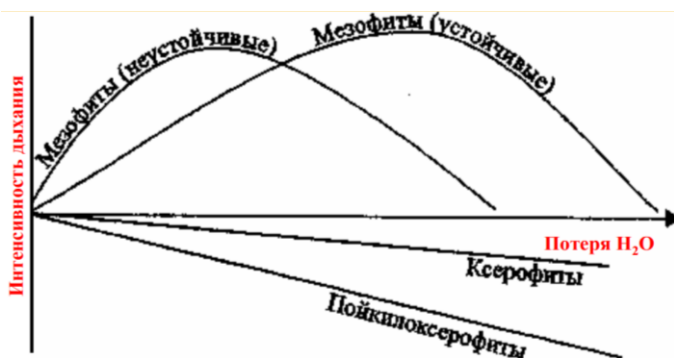


Рис. 30. Влияние дефицита воды на интенсивность дыхания растений

8. Какова связь между величиной дыхательного коэффициента и энергетической интенсивностью дыхания?

9. Опишите последовательность расщепления запасного крахмала (с указанием этапов и процессов) для получения энергии в виде АТФ.

10. Опишите последовательность использования белка эндосперма семени для получения энергии в виде АТФ (с указанием этапов и процессов).

11. Опишите последовательность расщепления запасных липидов семени (с указанием этапов и процессов) для получения энергии в виде АТФ.

12. Дыхательный коэффициент проростков пшеницы при содержании O_2 в воздухе 21 % составлял 0,98, при 5 % – 0,93, при 3 % – 3,34. Как объяснить резкое возрастание дыхательного коэффициента?

13. Химический анализ прорастающих в темноте семян вики показал, что за 30 дней содержание крахмала снизилось с 36 до 2 %, тогда как содержание растворимых углеводов возросло за этот период всего лишь с 5 до 6 %. Как объяснить это несоответствие?

14. Как изменяется интенсивность дыхания семян при увеличении их влажности? Используя рис. 31 поясните, при какой влажности необходимо хранить семена проса.

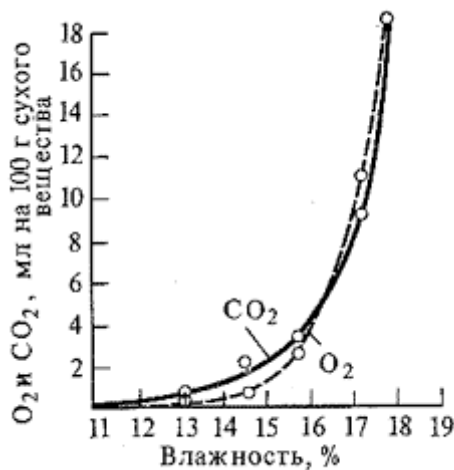


Рис. 31. Зависимость интенсивности дыхания семян проса от влажности

15. Как объяснить разную величину дыхательного коэффициента прорастающих крахмалистых и маслянистых семян?

16. Зелёный лист на свету при 25 °С интенсивно поглощал CO₂, а при повышении температуры до 40 °С начал выделять углекислый газ. Как объяснить отмеченное изменение газообмена листа?

17. Почему интенсивность дыхания клубней картофеля резко повышается при понижении температуры от +3 до -1 °С?

18. Используя данные, приведенные на рис. 32 поясните, почему повышение температуры может по-разному изменять интенсивность дыхания семян.

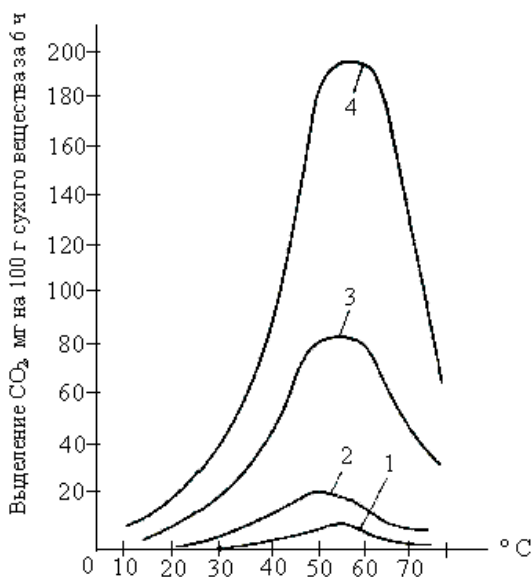


Рис. 32. Влияние температуры на интенсивность дыхания семян пшеницы разной влажности:

1 – 14 %; 2 – 16 %; 3 – 18 %; 4 – 22 %

19. В свежих корнеплодах сахарной свёклы содержалось около 1 % редуцирующих сахаров, а в подвявших – в 5 раз больше. Как это объяснить?

20. Известно, что в период весеннего сокодвижения в пазухе древесных растений содержится много растворимых сахаров. Каково их происхождение?

21. В сухих семенах клеверины почти нет крахмала, а в проростках, выращенных в темноте, это вещество содержится в заметных количествах. Каково происхождение этого крахмала?

22. Учитывая особенности гидролиза крахмала (рис. 33), опишите последовательность активации амилаз при прорастании семени.



Рис. 33. Схема гидролиза крахмала разными видами амилаз

23. Почему при кратковременном затоплении растения выживают, а при длительном нет?

24. Рассчитайте и сравните энергетическую эффективность различных окислительных путей.

Расчетные задачи

25. (1–9). Используя данные рис. 32 посчитайте какое количество углекислого газа за сутки выделяют семена пшеницы при разной влажности и температуре:

1. Влажности 14 % и температуре 55 °С;
2. Влажности 22 % и температуре 20 °С;
3. Влажности 16 % и температуре 50 °С;

4. Влажности 22 % и температуре 40 °С;
5. Влажности 18 % и температуре 70 °С;
6. Влажности 22 % и температуре 50 °С;
7. Влажности 18 % и температуре 30 °С;
8. Влажности 22 % и температуре 70 °С;
9. Влажности 18 % и температуре 50 °С.

26. (1–9). Сколько углекислого газа выделяют семена одного из растений (табл. 21) при известной интенсивности дыхания (ИД) в пересчете на сухое вещество.

Таблица 21

Показатели дыхательных процессов в семенах

№ растения	Масса семян, г	Время, сут	Содержание воды в семенах, %	ИД, мг CO ₂ /г*ч
1	400	3	10	40
2	700	2	15	1,7
3	2000	3	28	30,2
4	130	4	17	26,7
5	900	3	8	5,7
6	2300	2	15	5
7	2200	1	25	18,5
8	800	4	14	4,4
9	600	5	19	0,3

27. Некоторые считают, что вредно оставлять цветы на ночь в комнате, так как они поглощают кислород, необходимый для дыхания человека. Чтобы ответить на вопрос, насколько обоснованно это мнение, посчитайте, до какой величины снизится содержание кислорода против обычного (21 % по объему) в воздухе комнаты объемом 45 м³ в течение 10 часов, за счет дыхания растений, имеющих общую массу 2 кг и среднюю интенсивность дыхания 12 мл O₂ на 1 г в сутки.

28. (1–9). Сколько углекислого газа выделяют почки одного из растений за указанное время (табл. 22) при известной интенсивности дыхания (ИД).

Таблица 22

Данные для расчета показателей дыхания в почках

№ растения	Масса почек, г	Время, сут	Содержание воды в почках, %	ИД, мг CO₂/г*сут
1	400	3	50	1120
2	700	2	75	48
3	2000	3	37	846
4	130	4	85	748
5	900	3	40	160
6	2300	2	75	140
7	2200	1	84	518
8	800	4	70	123
9	600	5	55	8

29. (1–9). Определите интенсивность дыхания плодов (в мг CO₂ на 1 г сухой массы в час) для одного растения по данным табл. 23.

30. (1–18). В табл. 24 приведены результаты необходимые для расчета дыхательного коэффициента (ДК) разных органических веществ. Рассчитайте ДК и сделайте вывод: может ли быть данное вещество использовано растением как запасное?

Таблица 23

Показатели для расчета интенсивности дыхания

№ расте- ния	Масса плодов, кг	Время, ч	Количество CO₂, г
1	3,33	3	400
2	2,16	26	95
3	2,02	44	2684
4	8,89	18	4273
5	3,54	3	61
6	7,14	2	71
7	4,63	15	1285
8	8,71	18	690
9	1,70	56	29

Таблица 24

Показатели для расчета дыхательного коэффициента

№ веще- ства	Объемы газов, мл		№ веще- ства	Объемы газов, мл	
	CO₂	O₂		CO₂	O₂
1	96	120	10	112	84,8
2	128	189	11	15	17,2
3	44	142	12	28	29,8
4	82	155	13	17	14,9
5	138	95	14	8	6,3
6	77	74	15	15	18,3
7	119	185	16	25	19,5
8	95	172	17	14	18,7
9	56	145	18	19	17,6

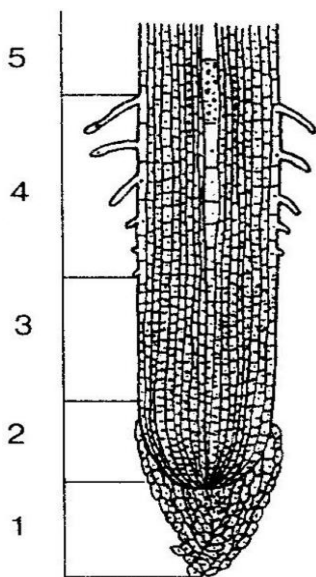
РАЗДЕЛ 6. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

Растения поглощают из почвы элементы минерального питания и используют их для разнообразных физиологических процессов. При этом жизненно необходимым являются как элементы, которые непосредственно входят в состав органических соединений, так и элементы участвующие в регуляции, не выполняя субстратной функции. Недостаток таких элементов вызывает нарушения жизнедеятельности растений, которые можно устранить путем внесения этого элемента в питательную среду.

Устные задания

1. Как вырастить растение без почвы, какие условия необходимо при этом соблюдать?

2. Почему выражение «корень всасывает почвенный раствор» ошибочно?



3. Охарактеризуйте отличия процессов поглощения элементов минерального питания в зоне 4 и 5 на рис. 34. С какими особенностями строения и физиологическими процессами связаны отличия?

Рис. 34. Зоны корня

4. Мраморную полированную пластинку закопали в почву вегетационного сосуда и вырастили в этом сосуде проростки фасоли. Через несколько недель на поверхности пластинки образовались отпечатки корней. Как объяснить коррозию мрамора при соприкосновении с корнями?

5. Используя рис. 35, объясните варианты и особенности передвижения ионов из почвы к сосудам ксилемы. Как на этот процесс влияет ассимиляция минеральных веществ?

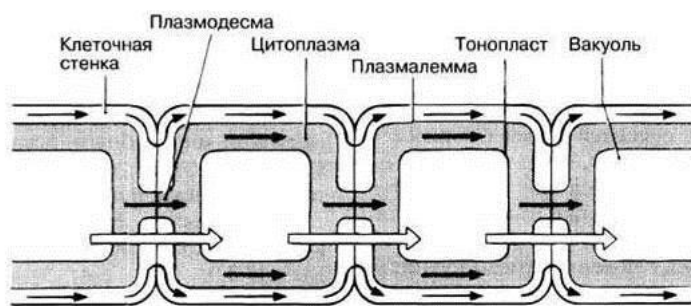


Рис. 35. Схема передвижения минеральных веществ при ближнем транспорте у растений

6. Как объяснить уменьшение интенсивности поглощения корнями минеральных веществ при избыточном увлажнении почвы?

7. В каких частях растения наблюдается более высокое содержание зольных элементов: в древесине или в листьях; в старых или молодых листьях? Как объяснить эти различия?

8. Какие листья обнаруживают более резко выраженные симптомы фосфорного голодания – верхние или нижние? С чем это связано?

9. Как объяснить хлороз яблони, выросшей на почве с высоким содержанием извести?

10. Из стареющих листьев оттекает большая часть азота, фосфора и калия, а содержание кальция изменяется мало. В чем причины таких отличий?

11. Опишите движение иона калия от почвенного раствора до сосуда по пути 1 (рис. 36). Используя рисунок, подробно и последовательно перечислите все структуры и охарактеризуйте этапы этого варианта ближнего транспорта.

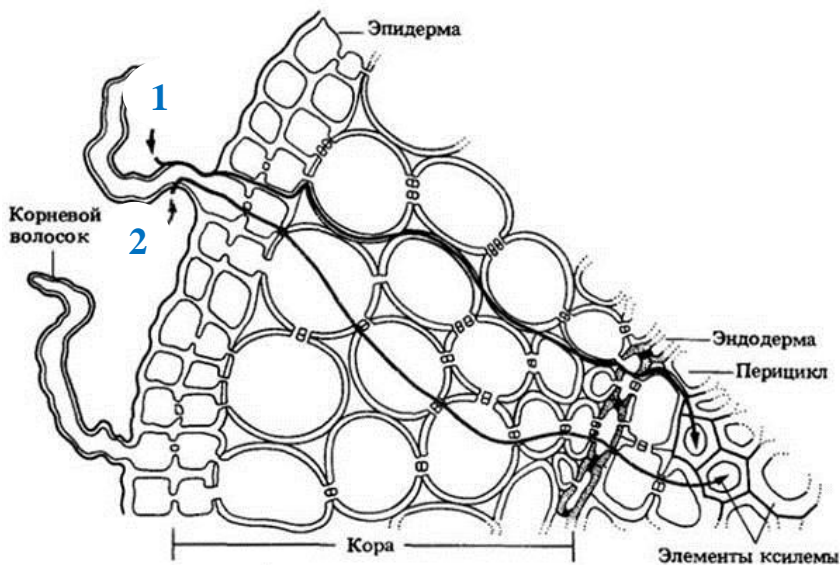


Рис. 36. Движение элементов минерального питания в зоне корневых волосков

12. При погружении корней в слабый раствор хлорида аммония было отмечено изменение pH раствора. Как изменится кислотность раствора и с чем это связано?

13. Опишите движение иона калия от почвенного раствора до сосуда по пути 2 (рис. 36). Используя рисунок, подробно

и последовательно перечислите все структуры и охарактеризуйте этапы этого варианта ближнего транспорта.

14. (1–5). Зола каких растений (частей растений) из приведенных в табл. 25, содержит наиболее высокие количества: а) калия, б) кальция, в) магния, г) фосфора, д) кремния? С чем могут быть связаны выявленные отличия?

Таблица 25

Состав золы различных сельскохозяйственных растений, % от общего количества золы (по Максимуму)

Объект	Состав золы								
	K ₂ O	Na ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₂	SiO ₂	Cl
Семена									
Пшеница	30,2	0,6	3,5	13,2	0,6	47,9	–	0,7	–
Кукуруза	29,8	1,1	2,2	15,5	0,8	45,6	0,8	2,1	0,9
Фасоль	41,5	1,1	5,0	7,1	0,5	38,9	3,4	0,6	1,8
Стебли и листья									
Пшеница	13,6	1,4	5,8	2,5	0,6	4,8	–	67,4	–
Кукуруза	27,2	0,8	5,7	11,4	0,8	9,1	–	40,2	–
Клевер	27,2	0,8	29,3	8,3	0,6	10,7	–	6,2	–
Гречиха	46,6	2,2	18,4	3,6	–	11,2	–	5,5	–
Клубни и корни									
Картофель	60,0	3,0	2,6	4,9	1,1	16,9	6,5	2,1	3,4
Сахарная свекла	53,1	8,9	6,1	7,9	11,1	12,2	4,2	2,3	4,8

15. (1–4). Зола какого растения (табл. 25) можно использовать для повышения в почве содержания: а) калия; б) кальция; в) магния; г) фосфора?

16. У каких листьев, молодых или старых, раньше появится хлороз при недостатке в почве растворимых соединений железа?

17. Кусочки черешка и листовой пластинки исследуемого растения поместили на тарелку, размяли стеклянной палочкой и облили бесцветным раствором дифениламина в серной кислоте (реактив на ион NO₃⁻). Черешок дал интенсивное синее

окрашивание, а листовая пластинка – слабое. Как объяснить полученные результаты.

18. На рис. 37 представлена схема превращения азота в растении. Какие метаболические пути позволяют растениям ассимилировать азот. В каких органах растения и структурах клетки происходят данные процессы?

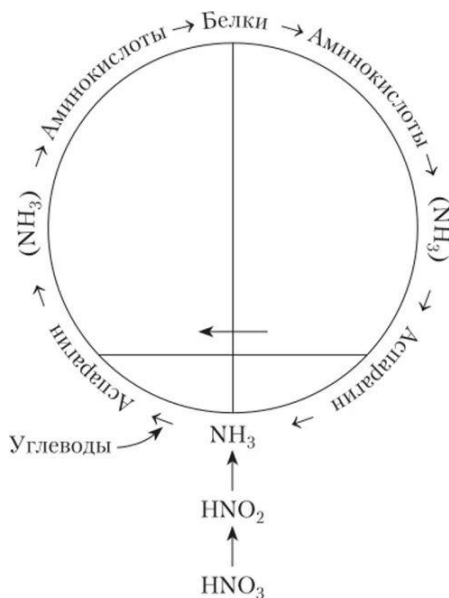


Рис. 37. Цикл Д.Н. Прянишникова

19. К соку, отжатому из стебля, черешка и листовой пластинки, добавили бесцветный раствор дифениламина в концентрированной серной кислоте (реактив на ион NO_3^-). Ни один из перечисленных объектов не дал посинения, несмотря на то, что почва, на которой выращивалось растение, была богата нитратами. Сделать выводы на основе полученных результатов.

20. Почему содержание нитратов в листьях резко снижается при выставлении растения на яркий свет?

21. Как объяснить наличие разнообразных аминокислот почти полное отсутствие ионов NO_3^- в пасоке (ксилемном соке) многих древесных растений, в том числе произрастающих в почве, богатой нитратами?

22. Бобовые растения имеют повышенные требования к плодородию почвы, то есть к запасу в ней минеральных веществ. Объясните, почему это так и должно быть?

23. Кобальт входит в состав витамина B_{12} , который необходим для осуществления процесса фиксации молекулярного азота. Поясните, кто является наиболее чувствительным растением к недостатку кобальта: а) пшеница; б) свекла; в) вика; г) табак?

24. Отходы растениеводства (солома) разных видов растений содержат разное количество элементов (табл. 26). В соломе какой культуры больше всего общее содержание элементов минерального питания?

25. (1–6). Отходы растениеводства (солома) разных видов растений содержат разное количество элементов (табл. 26). В соломе какой культуры больше всего элементов минерального питания: а) азота; б) фосфора; в) калия; г) кальция; д) магния; е) серы? С чем могут быть связаны такие отличия?

26. Отходы растениеводства (солома) разных видов растений содержат разное количество элементов (табл. 26). Сравните содержание элементов в соломе пшеницы (яровой и озимой) и соломе бобовых культур. Объясните выявленные отличия.

Таблица 26

**Содержание элементов минерального питания в соломе
разных сельскохозяйственных культур (по Новикову)**

№	Культура	Содержание в воздушно-сухой массе, %						
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Зола
1	Озимая пшеница	0,50	0,20	0,90	0,28	0,11	0,10	4,9
2	Озимая рожь	0,45	0,26	1,00	0,29	0,09	0,16	3,9
3	Ячмень	0,50	0,20	1,00	0,33	0,09	0,15	4,5
4	Овес	0,65	0,35	1,60	0,38	0,12	0,17	6,5
5	Яровая пшеница	0,60	0,20	0,85	0,36	0,09	0,05	3,5
6	Кукуруза	0,75	0,30	1,64	0,49	0,26	0,15	4,4
7	Рапс	0,70	0,25	1,00	2,00	0,21	0,30	4,8
8	Гречиха	0,80	0,60	2,40	0,95	0,19	0,13	5,2
9	Горох	1,40	0,35	0,50	1,82	0,27	0,32	3,9
10	Соя	1,20	0,30	0,50	1,46	0,50	0,33	3,3
11	Вика	1,40	0,27	0,65	0,78	0,38	0,50	4,4

27. При использовании высоких доз минеральных удобрений, особенно при внесении в рядки и лунки, отмечается снижение всхожести семян. С чем связаны такие изменения?

28. Почему хороший дренаж и вспашка повышают плодородие почвы?

29. Охарактеризуйте понятие почвенно-поглощающий комплекс (ППК). Приведите мероприятия по увеличению ППК в почве.

30. Корневая система растения была выдержана в течение нескольких минут в растворе метиленовой сини. Как изменилась окраска корней? Поясните. Затем корни промыли водой, после чего они были погружены в раствор хлорида кальция.

Раствор приобрел хорошо заметную синюю окраску. Как объяснить это явление? Какие части корня остались синими и почему?

31. Установите соответствие между названиями *процессов*:

- 1) фиксация атмосферного азота;
- 2) восстановление нитратов;
- 3) образование глутамата из NH_3 и α -кетоглутарата;
- 4) образование глутамата из глутамина и α -кетоглутарата;
- 5) аминирование глутамата;

и названиями *ферментов*, которые их катализируют:

- а) нитратредуктаза;
- б) глутаминсинтетаза;
- в) нитрогеназа;
- г) глутаматдегидрогеназа;
- д) глутаматсинтаза.

32. Недостаток железа в почве вызывает хлороз тканей между жилками молодых листьев, тогда как недостаток азота приводит к общему пожелтению старых листьев. Почему недостаток элементов влияет на ткани разного возраста?

33. Почему органические удобрения рекомендуется вносить в больших дозах и задолго до посева?

34. Для изучения минерального питания растений был поставлен ряд экспериментов, примеры некоторых приведены на рис. 38. С какой целью могли поставить такие эксперименты, поясните их суть и предположите возможные результаты.

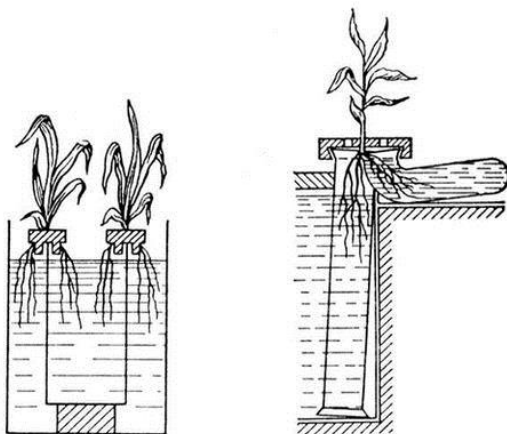


Рис. 38. Эксперимент по изучению минерального питания растений

35. Растения выращивались в вегетационных сосудах с исследуемой почвой. В первый сосуд никаких удобрений не вносили (контроль), во второй сосуд добавили калийное удобрение, в третий – фосфорное, в четвертый – азотное. Остальные условия (освещение, температура, полив) были во всех сосудах одинаковыми. Рост растений во втором сосуде не отличался от контроля, в третьем был немного лучше, а в четвертом гораздо лучше, чем в контрольном сосуде. Сделайте выводы из приведенных результатов.

36. В вегетационном опыте изучалось влияние удобрений на урожайность пшеницы. Опыт был поставлен в четырех вариантах: 1) неудобренная почва (контроль); 2) аммиачная селитра; 3) суперфосфат; 4) аммиачная селитра + суперфосфат. Урожай во втором варианте получился в 1,5 раза выше, чем в контроле, в третьем – не отличался от контроля, а в четвертом был в 2 раза больше. Сделайте выводы и объясните полученные результаты.

37. Какова роль азота в жизнедеятельности растений? Какие формы азота доступны для растений? Назовите признаки дефицита азота у растений.

38. В какой форме азот доступнее растениям на кислых почвах: в форме нитратов или иона аммония?

39. Какие калийные удобрения вам известны? Дайте их физиологическую и экологическую характеристику.

40. Укажите, какие из перечисленных солей являются физиологически кислыми, а какие физиологически основными: а) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; б) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; в) NaNO_3 ; г) NH_4NO_3 . Поясните свой ответ.

41. Какую роль играет фосфор в жизнедеятельности растений? В какой форме растения поглощают фосфор? Какие признаки растений свидетельствуют о дефиците фосфора в растении?

42. Назовите фосфорные удобрения. Дайте их физиологическую и экологическую характеристику.

43. Какие азотные удобрения вам известны? Дайте их физиологическую и экологическую характеристику.

44. Рост растений сопровождается выносом элементов питания из почвы. По табл. 27 определите какой из элементов выносятся наиболее активно зерновыми культурами и корнеплодами? Поясните данные особенности.

45. Какие клеточные компартменты участвуют в восстановлении нитратов в растительной клетке?

46. Используя рис. 4 в прил. 1 охарактеризуйте роль растений в круговороте азота. Поясните основные этапы и происходящие физиологические процессы.

Таблица 27

**Вынос элементов минерального питания 1 тонной урожая
различных культур (для Нечерноземной зоны России)**

Культура	Основная продукция	Вынос 1 т основной продукции с учетом побочной, кг				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Пшеница озимая	зерно	35	10	24	6,3	6,5
Пшеница яровая	зерно	27	11	22	5,6	7,8
Рожь озимая	зерно	24	10	29	8,8	6,0
Овес	зерно	31	10	27	9,7	7,2
Ячмень	зерно	26	10	26	7,7	6,3
Гречиха	зерно	30	15	40	18,0	8,5
Горчица белая	семена	57	20	23		
Горох	зерно	66	16	20		
Рапс озимый	семена	49	23	30		
Лен долгунец	семена	106	53	93		
	соломка	14	6	12	17,1	16,4
	волокно	80	26	95		
Сахарная свекла	корнеплоды	5,9	1,8	7,5		
Картофель	клубни	5	1,5	7	0,5	1,5
Кормовые корнеплоды	корнеплоды	5	1,5	7	0,5	1,0
Кукуруза на силос	зел. масса	2,5	1,5	5,0		
Подсолнечник на силос	зел. масса	3,0	1,0	5,0		
Горох	зел. масса	6,5	1,5	5,2		
Горохоовсяная смесь	зел. масса	2,2	1,4	4,0		
Клевер	сено	19,7	5,6	15,0	42,2	19,0
Клевер+тимopheевка	сено	17,6	6,0	17,5	27,0	12,5
Вика	сено	22,7	6,2	10,0		
Естественные сенокосы	сено	17,0	7,0	18,0	7,2	5,0
Капуста белокочанная	кочаны	3,3	1,3	4,4		
Капуста цветная	соцветия	9,5	3,3	12,5		
Морковь столовая	корнеплоды	5,2	1,9	6,0		
Свекла столовая	корнеплоды	5,0	1,7	6,3		
Огурец	плоды	3,6	1,6	4,5		
Томат	плоды	3,5	1,2	5,0		
Лук на репку	репка	3,0	1,1	3,2		
Лук на перо	перо	3,1	0,9	1,8		
Редис	корнеплоды	3,4	0,9	4,0		

47. Поглощение питательных компонентов происходит неравномерно в течении вегетационного сезона. Например, на рис. 39 приведена динамика их поглощения для льна. С ка-

кими процессами и закономерностями связана разная интенсивность поглощения в течении вегетационного сезона?

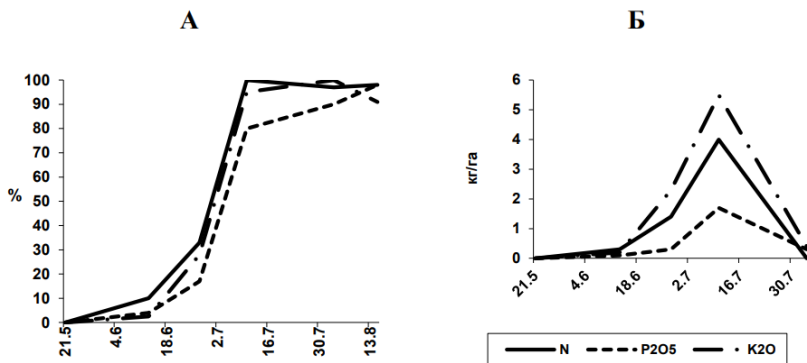


Рис. 39. Динамика поглощения питательных элементов льном (А – в % к максимальному накоплению; Б – в кг/га за сутки)

48. Какие функции в растении выполняют калий, кальций и магний? В какой форме и как они поступают в растение? Каковы признаки дефицита калия в растениях?

49. Дефицит каких элементов вызывает хлороз растений?

50. Для чего растению необходимы микроэлементы? Какие способы внесения микроэлементов вам известны?

51. Почему избыток микроэлементов вызывает ухудшение жизнедеятельности растений?

52. Поглощение ионов калия может осуществляться в растении пассивным транспортом. Используя рис. 5 прил. 1 объясните данный механизм.

53. Используя данные табл. 28 поясните, под какими культурами в почве быстрее снизится содержание: а) азота, б) фосфора, в) калия.

Таблица 28

**Вынос питательных веществ (азота, фосфора и калия)
из почвы урожаями некоторых культур**

Культура	Средняя урожайность, кг/м ²	Вынос элементов питания, г/м ²		
		N	P	K
Арбуз	2,5	6	3	7
Баклажан	1,5	7	2	6
Брюква	3	12	6	15
Горох	2	(22)	5	7
Дыня	2	6	3	12
Кабачок	4	21	6	19
Капуста кочанная	4	14	4	17
Капуста цветная	2	19	7	25
Картофель	4	20	7	20
Лук	2	8	3	8
Морковь	4	13	5	20
Огурец	6	21	9	24
Пастернак	3	7	4	9
Перец	1,5	8	2	10
Петрушка	1,5	6	4	7
Редис	1	3	1	4

54. Каковы механизмы устойчивости растений к избытку макроэлементов?

55. В каких случаях следует отдать предпочтение внекорневой подкормке минеральными элементами по сравнению с внесением в почву? Почему?

56. В чем выражается антогонизм и синергизм элементов минерального питания в почве? Поясните ответ, используя рис. 6 в прил. 1. Какие практические рекомендации можно сделать?

57. Какую роль играет микориза в минеральном питании растений?

58. Какую роль в поглощении ионов играет клеточная стенка?

59. Каково значение ризосферы в минеральном питании растений?

60. Для оптимального питания растений важна структурированность почв (наличие в них агрегатов и мицелл). Поясните, как данный показатель влияет на минеральное питание растений.

Расчетные задачи

61. (1–55). Отходы растениеводства (солома) разных видов растений содержат разное количество элементов (табл. 26). Постройте для двух из приведенных культур график содержания всех приведенных в таблице элементов. Выбор культур в соответствии с индивидуальным номером по табл. 29. Сравните графики и сделайте выводы.

62. В ходе исследования минерального питания растения был поставлен эксперимент (табл. 30, рис. 40). Постройте графики распределения калия в ксилеме и флоэме, поясните суть эксперимента и полученные результаты.

Таблица 29

Номера индивидуальных заданий для задачи 59

№ первой культуры в табл. 21	№ второй культуры в табл. 21 для сравнения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-									
2	1	-								
3	2	11	-							
4	3	12	20	-						
5	4	13	21	28	-					
6	5	14	22	29	35	-				
7	6	15	23	30	36	41	-			
8	7	16	24	31	37	42	46	-		
9	8	17	25	32	38	43	47	50	-	
10	9	18	26	33	39	44	48	51	53	
11	10	19	27	34	40	45	49	52	54	55

Таблица 30

Изменение содержания ^{42}K (млн $^{-1}$) во флоэме и ксилеме

	Пометка	^{42}K во флоэме	^{42}K в ксилеме
Выше надреза	СВ	53	47
Надрезанная часть	С6	11,6	119
	С5	0,9	122
	С4	0,7	112
	С3	0,3	98
	С2	0,3	108
	С1	20	113
Ниже надреза	СН	84	58

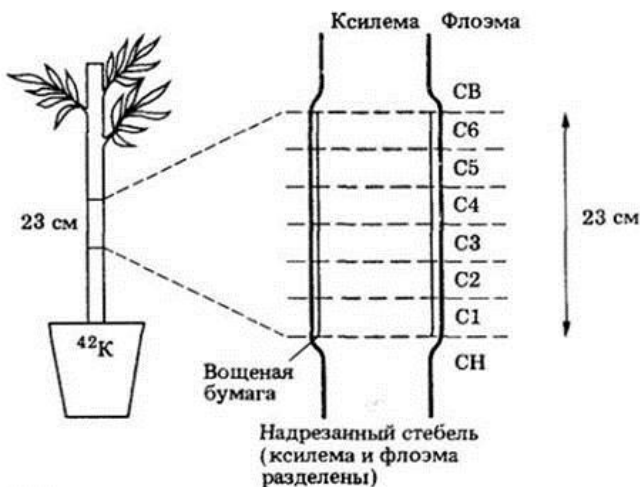


Рис. 40. Расположение разреза и места отбора проб для определения содержания ^{42}K (млн $^{-1}$) во флоэме и ксилеме

63. (1–90). Рост растений сопровождается выносом элементов питания из почвы. По табл. 28 постройте для двух культур столбчатую диаграмму выноса ими азота, фосфора и калия из почвы. Выбор культур в соответствии с индивидуальным номером по табл. 31. Какой из элементов выносятся культурами наиболее активно? Рассчитайте примерный вынос элементов вашими культурами с 1 сотки пашни.

64. Для роста и развития растений важна общая концентрация питательного раствора, это позволяет избежать проблем с поступлением воды. Некоторые варианты питательных растворов приведены в прил. 2, рассчитайте для растворов под №№ 1–7 общую концентрацию веществ (без добавления раствора микроэлементов Хогланда). Ранжируйте растворы по увеличению концентрации.

Номера индивидуальных заданий для задачи 63

№ первой культуры в табл. 28	Культура	№ второй культуры в табл. 28 для сравнения					
		10	11	12	13	14	15
1	Арбуз	1	16	31	46	61	76
2	Баклажан	2	17	32	47	62	77
3	Брюква	3	18	33	48	63	78
4	Горох	4	19	34	49	64	79
5	Дыня	5	20	35	50	65	80
6	Кабачок	6	21	36	51	66	81
7	Картофель	9	24	39	54	69	84
8	Капуста кочанная	7	22	37	52	67	82
9	Капуста цветная	8	23	38	53	68	83
10	Лук	-	25	40	55	70	85
11	Морковь	10	-	41	56	71	86
12	Огурец	11	26	-	57	72	87
13	Пастернак	12	27	42	-	73	88
14	Перец	13	28	43	58	-	89
15	Петрушка	14	29	44	59	74	-
16	Редис	15	30	45	60	75	90

65. Для роста и развития растений особенно важно получать азот в достаточном количестве. Используя данные о составе питательных растворов под №№ 1–7 (прил. 2). Рассчитайте для них общую концентрацию (мг/л) азота (без добавления раствора микроэлементов Хогланда). Ранжируйте растворы по увеличению концентрации данного макроэлемента.

66. При выращивании растений в условиях гидропоники, важно правильно подобрать питательный раствор. Используя

рецепт № 5 (прил. 2), определите все отличия зимнего и летнего варианта растворов. Обоснуйте найденные расхождения с учетом физиологических особенностей растений.

67. (1–6). При выращивании растений в условиях гидропоники, важно правильно составить питательный раствор. Некоторые варианты растворов приведены в прил. 2. Рассчитайте для одного из приведенных растворов – рецепты №№ 1–5 соотношение трех (NPK) элементов (без добавления раствора Хогланда). Выявлено что наиболее удачное соотношение данных элементов (процентное содержание по массе) для разных стадий онтогенеза растений отличается:

- a. вегетация – 15-5-10 (варианты: для выращивания салата оптимальным будет соотношение 18-10-15, а для рассады 10-5-5);
- b. цветение/плодоношение – 8-15-20 (например, для томатов используют соотношение 9-18-27, а для клубники 7-14-14).

Используя эти данные, обоснуйте применение вашего раствора на определенном этапе развития растений.

68. (1–2). При выращивании растений в условиях гидропоники, важно правильно составить питательный раствор. В прил. 2 (табл. 1) приведены составы двух растворов на основе промышленных минеральных удобрений. Рассчитайте для одного из них соотношение макроэлементов исходя из данных о количестве действующего вещества в удобрении (прил. 2, табл. 2). Используя эти данные, а также соотношение элементов для разных стадий развития растений из предыдущей задачи, обоснуйте применение вашего раствора на определенном этапе развития растений.

69. При выращивании растений часто используют комплексные удобрения разного состава (прил. 2, табл. 2). Проана-

лизируйте удобрения с азотом и фосфором в составе. Каково соотношение данных элементов в разных удобрениях? Какие из них будет рациональнее вносить весной, а какие – осенью?

70. При выращивании растений часто используют комплексные удобрения (прил. 2, табл. 2). Выпишите удобрения с азотом и фосфором в составе. Рассчитайте количество калийного удобрения (на ваш выбор), которое необходимо добавить при использовании данной смеси на разных этапах развития растения для его оптимального развития. Данные по примерному соотношению элементов для разных стадий развития растений даны в задаче 67.

71. При выращивании растений часто используют комплексные удобрения разного состава (прил. 2, табл. 2). Проанализируйте удобрения с азотом, фосфором и калием в составе. Какие из них будет рациональнее вносить весной, а какие – осенью?

72. (1–3). В результате расчетов по недостатку фосфора было установлено, что растения на участке нуждаются в 20,0 г элемента. Рассчитайте какое количество:

- а) простого суперфосфата;
- б) двойного суперфосфата;
- в) фосфоритной муки

необходимо внести, чтобы восполнить недостаток элемента. Содержание элементов дано в табл. 2 прил. 2, для расчетов берите средние значения. Учитывайте, что из внесенного удобрения в первый год мобилизуется только 20 % фосфора.

73. (1–4). В результате расчетов по недостатку азота было установлено, что растения на участке нуждаются в 45,0 г чистого азота. Рассчитайте какое количество:

- а) аммиачной селитры;
- б) мочевины;

в) сульфата аммония;

г) натриевой селитры

необходимо внести, чтобы восполнить недостаток элемента. Содержание элементов дано в табл. 2 прил. 2, для расчетов берите средние значения. Учитывайте, что из внесенного удобрения в первый год мобилизуется только 65 % азота.

74. (1–3). В результате расчетов по недостатку калия было установлено, что растения на участке нуждаются в 30,0 г элемента. Рассчитайте какое количество:

а) хлористого калия;

б) сернокислого калия;

в) калийной соли

необходимо внести, чтобы восполнить недостаток элемента. Содержание элементов дано в табл. 2 прил. 2, для расчетов берите средние значения. Учитывайте, что из внесенного удобрения в первый год мобилизуется 80 % калия.

РАЗДЕЛ 7. РОСТ И РАЗВИТИЕ

Процессы роста и развития растений отражают качественные и количественные изменения в течении жизни (онтогенеза). Онтогенез растения (рис. 41) проходит в несколько этапов, на их протяжении растение значительно изменяет не только свои морфологические показатели, но и физиологические процессы.

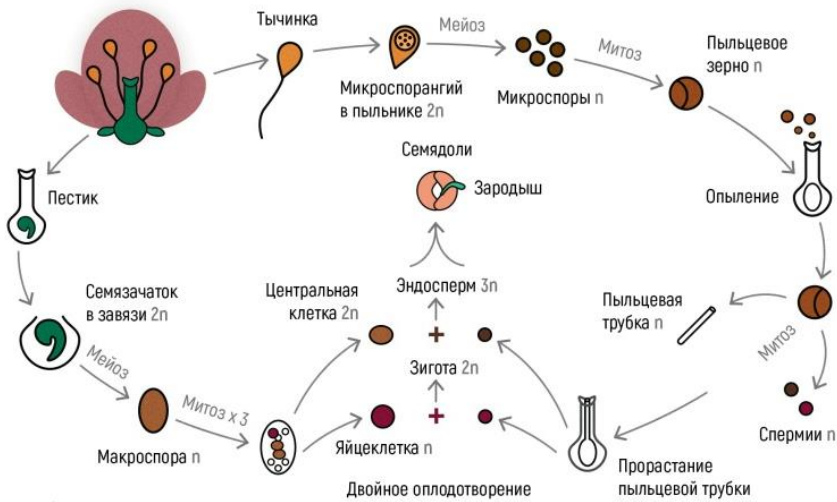


Рис. 41. Жизненный цикл цветкового растения

Рост и развитие растения происходит в результате деления, растяжения и дифференцировки (возникновение качественных различий) клеток.

Под влиянием окружающих условий, в результате метаболической и гормональной регуляции происходит адаптация ростовых процессов к условиям среды.

Устные задания

1. Назовите основные закономерности роста растений. Охарактеризуйте явление апикального доминирования.

2. Приведите примеры отрицательных и положительных корреляций, как закономерности роста растений.

3. Иллюстрацией какой закономерности роста являются побеги под буквами *a* и *б* на рис. 42? Опишите основные особенности этого процесса. Каким образом можно изменить данную закономерность?

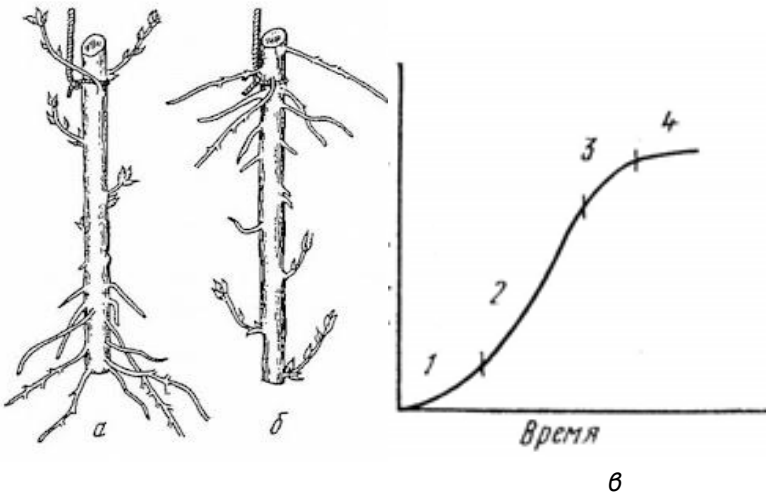


Рис. 42. Закономерности роста растений:

a – черенок в нормальном положении; *б* – черенок в перевернутом положении; *в* – кривая роста побега

4. Иллюстрацией какой закономерности роста является приведенная кривая роста побега под буквой *в* на рис. 42? Опишите основные стадии процесса (№№ 1–4 на рисунке).

5. Как можно получить бессемянные (партенокарпические) плоды томатов, груш, винограда и других растений?

6. Как усилить корнеобразование у черенков?

7. Опишите закономерность роста, которую иллюстрирует рис. 43. Приведите другие примеры данной закономерности и варианты ее противоположного проявления.



Рис. 43. Изменение роста почек на побеге

8. Какое значение имеет покой в жизни растений? Чем отличается глубокий покой от вынужденного?

9. На рис. 44 изображены тропизмы и настии. Найдите их и объясните разницу между этими типами движения.

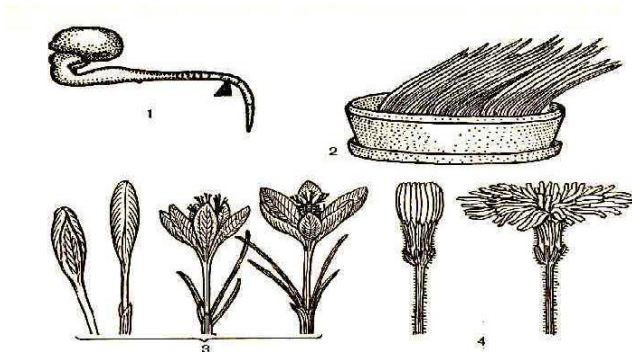


Рис. 44. Настии и тропизмы растений

10. Назовите основные стадии онтогенеза одно- и многолетних растений. Дайте их физиологическую характеристику.

11. Из побегов нижних и средних ярусов взрослой яблони приготовили черенки. Какие из них лучше укоренились, а какие из развившихся растений быстрее зацвели? Поясните свой ответ.

12. Какое общее название можно дать веществам, представленным на рис. 45. Какова роль данных соединений в жизни растений? На какие группы их можно поделить?

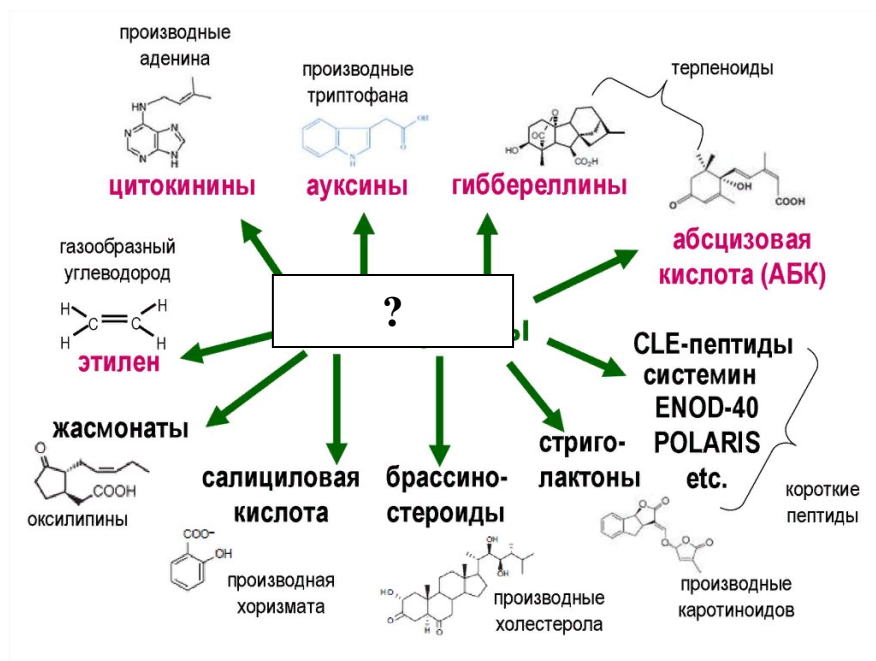


Рис. 45. Биологически активные вещества растений

13. В чем суть «теории циклического омоложения-старения»?

14. Приведите примеры ритмов физиологических процессов у растений.

15. Почему астры и хризантемы обычно не зацветают весной?

16. На рис. 46 приведены действия характерные для одного из гормонов растений. Назовите данный фитогормон, приведите примеры использования данного соединения на практике.

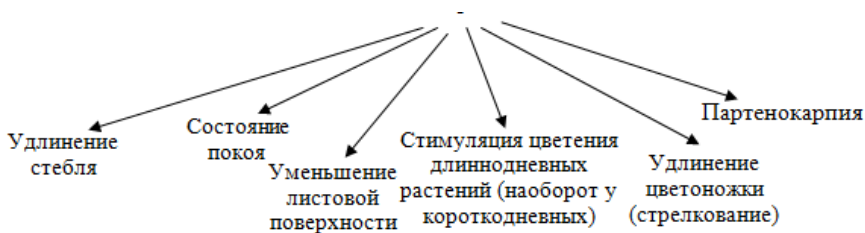


Рис. 46. Физиологическое действие гормонов растений

17. Каковы общие принципы действия фитогормонов в растении?

18. Какие физиологические эффекты вызывают салициловая и жасмоновая кислота у растений?

19. Ростовые движения растений связаны с рецепцией и трансдукцией сигнала. Какие структуры участвуют в данных процессах при росте зародыша на рис. 47?

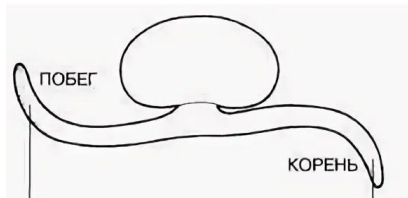


Рис. 47. Рост побега и корня зародыша семени

20. На рис. 48 приведены действия характерные для одного из гормонов растений. Назовите данный фитогормон, в какой части растения он вырабатывается?



Рис. 48. Физиологическое действие гормона растений

21. Объясните результаты дифференцировки в культуре тканей, приведенные на рис. 49, исходя из влияния фитогормонов.

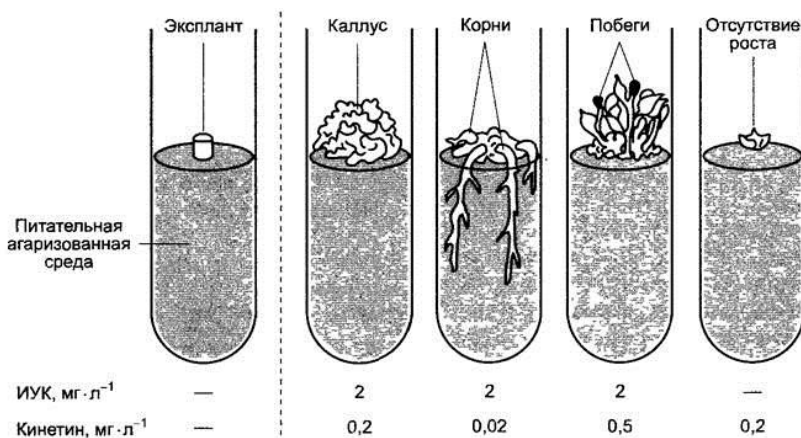


Рис. 49. Результаты дифференцировки тканей

22. Кто автор эксперимента, отраженного на рис. 50? Объясните, в чем суть эксперимента. С какими физиологическими процессами связаны изменения?

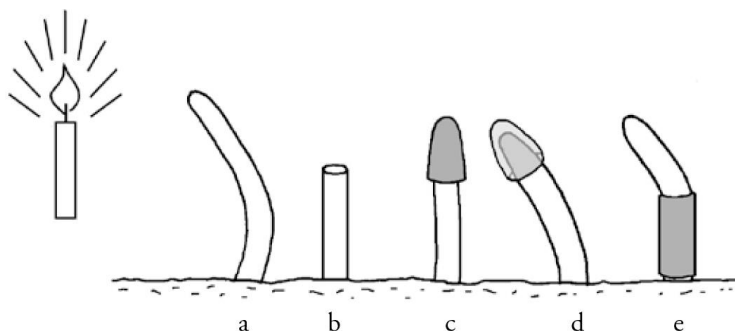


Рис. 50. Эксперимент по влиянию на рост растений при действии света

23. Для исследования влияния силы тяжести на рост растения используют центрифугу и клиностат (рис. 51). Опишите результаты эксперимента. Какие механизмы позволяют растениям отслеживать направления силы тяжести?

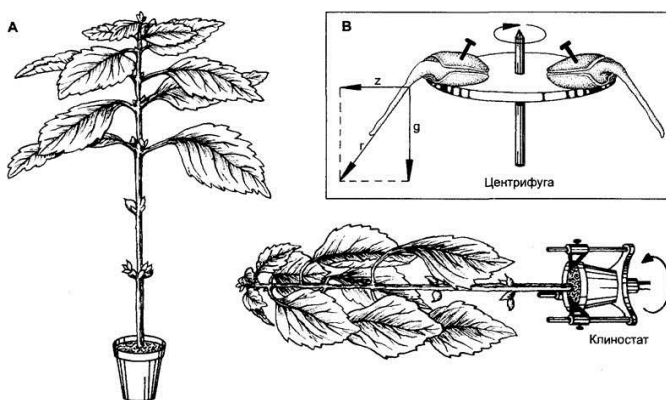


Рис. 51. Эксперименты по изучению роста растений

24. Почему озимые сорта злаков не цветут, если их посеять весной?

25. Поясните явление этиоляции растений. Как оно проявляется в клетке и растении в целом, какие условия этому способствуют? Какое адаптивное значение имеет этот процесс?

26. На рис. 52 приведен спектр поглощения одного из пигментов растения. Назовите данное соединение, поясните его роль в жизни растения.

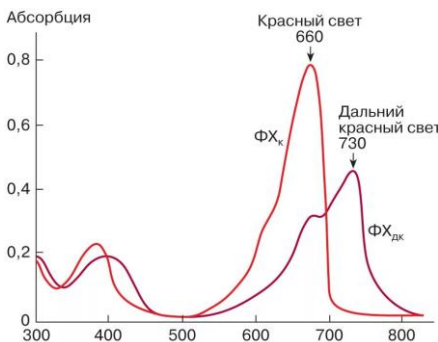


Рис. 52. Интенсивность поглощения фотонов пигментом растений

27. Рост растений происходит неравномерно. Рассмотрите график на рис. 53 и поясните отраженную там динамику роста.

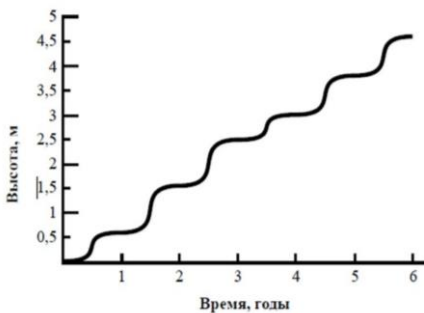


Рис. 53. Динамика роста древесного растения умеренного климата

28. Сравните фоторецепторы растений: криптохромы и фитохромы. Какие фотоны активируют данные вещества?

29. Стратификацию, скарификацию, обработку гиббереллинами и т. д. используют для выхода растений из состояния покоя. По какой причине разным растениям для выхода из органического покоя необходимы разные типы воздействия?

30. На какие две группы можно разделить пигменты, спектры которых приведены на рис. 54? Ответ поясните.

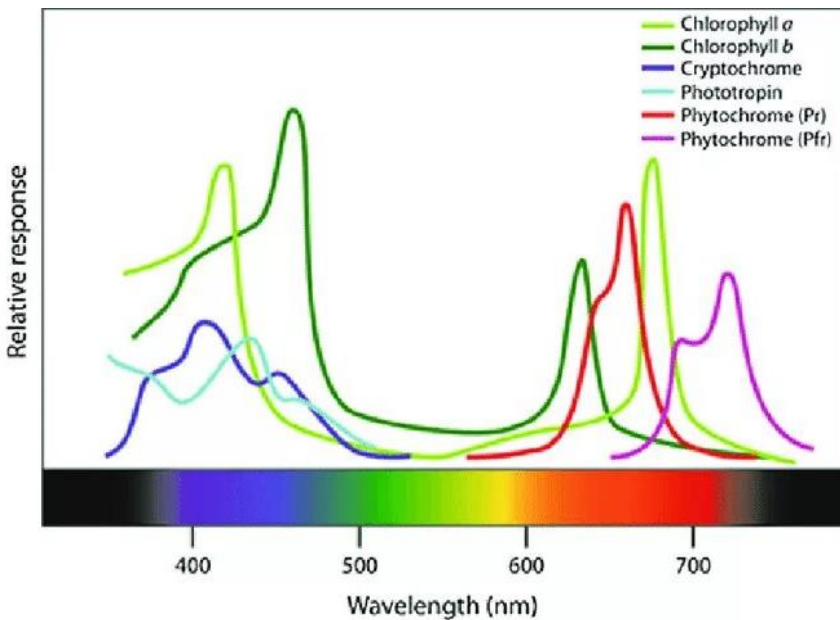


Рис. 54. Спектры поглощения ряда пигментов растений

31. Охарактеризуйте и последовательно опишите процессы, отраженные на рис. 55. Как данные процессы коррелированы с репрессией и дерепрессией генов?

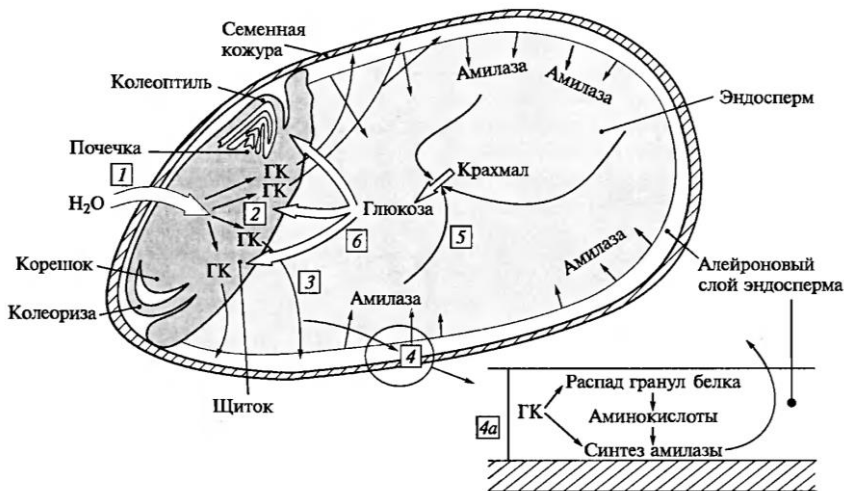


Рис. 55. Прорастание зерновки

32. В Приморском крае в ходе наблюдений за двумя интродуцированными видами: сосной Палласа крымской *P. pallasiana* Lamb. и сосной скрученной *Pinus kontorta* var. *Murrayana* Valf были получены данные об изменении высоты, диаметра ствола и объеме древесины за несколько десятков лет (табл. 27 и 28). На основе этих данных, определите на какой возраст приходится максимальные приросты показателей обеих сосен по: а) высоте; б) диаметру.

Приросты ствола сосны Палласа (по Репину)

Возраст, лет	Рост в высоту, м			Рост по диаметру, см			Рост по объёму, м ³		
	высота	прирост		диаметр	прирост		объём	прирост	
		текущий	средний		текущий	средний		текущий	средний
5	1,4	0,28	0,28	0,8	0,8	0,16	0,0006	0,0001	0,0001
10	3,3	0,38	0,33	7,4	1,32	0,74	0,0064	0,0011	0,0006
15	5,3	0,4	0,35	13,9	1,3	0,92	0,0337	0,0054	0,0022
20	9,3	0,8	0,46	19,8	1,18	0,99	0,1051	0,0142	0,0052
25	11,7	0,48	0,46	23,9	0,82	0,95	0,1673	0,0124	0,0066
30	12,5	0,16	0,42	26,4	0,5	0,88	0,2237	0,0112	0,0074
34	13,2	0,17	0,38	28,1	0,42	0,82	0,3357	0,0280	0,0098

Приросты ствола сосны скрученной (по Репину)

Возраст лет	Рост в высоту, м			Рост по диаметру, см			Рост по объёму, м ³		
	высота	прирост		диаметр	прирост		объём	прирост	
		текущий	средний		текущий	средний		текущий	средний
5	1,5	0,3	0,3	1,8	1,8	0,36	0,0007	0,0001	0,0001
10	3,4	0,38	0,34	4,2	0,48	0,42	0,0076	0,0014	0,0007
15	4,8	0,28	0,32	10,4	1,24	0,69	0,0213	0,0028	0,0014
20	6,9	0,42	0,35	15,0	0,92	0,75	0,0512	0,006	0,0025
25	8,6	0,34	0,34	18,6	0,72	0,74	0,0812	0,006	0,0032
30	11,0	0,48	0,37	23,0	0,88	0,77	0,1331	0,0104	0,0044
35	11,4	0,08	0,33	27,6	0,92	0,79	0,2083	0,015	0,0063
40	11,7	0,06	0,29	29,4	0,36	0,74	0,2743	0,0132	0,0071
45	11,9	0,04	0,26	30,0	0,12	0,67	0,3252	0,0102	0,0072
47	12,4	0,1	0,26	30,4	0,08	0,65	0,4034	0,0156	0,0086

Расчетные задачи

33. (1–14). В ходе наблюдений за двумя видами: сосной Палласа и сосной скрученной были получены данные о приростах (табл. 32 и 33). Используя их в соответствии с номером индивидуального задания (по табл. 34), постройте кривые роста и поясните выявленные закономерности и отличия.

Таблица 34

Номера индивидуальных заданий для задачи 33

№ инд. задания	Сравниваемые показатели
1	Рост в высоту двух видов сосны
2	Рост диаметра ствола двух видов сосны
3	Рост объема древесины двух видов сосны
4	Прирост (средний) в высоту двух видов
5	Прирост (средний) диаметра ствола двух видов
6	Прирост (средний) объема древесины двух видов
7	Изменение роста в высоту и объема древесины сосны Палласа
8	Изменение диаметра ствола и объема древесины сосны Палласа
9	Изменение прироста: высоты и диаметра ствола сосны Палласа
10	Изменение роста в высоту и объема древесины сосны скрученной
11	Изменение диаметра ствола и объема древесины сосны скрученной
12	Изменение прироста: высоты и диаметра ствола сосны скрученной
13	Изменение прироста: высоты и объема древесины сосны скрученной
14	Изменение прироста: объема древесины и диаметра ствола сосны скрученной

34. (1–9). Опишите графически рост первого листа пшеницы, используя данные табл. 35. Назовите и охарактеризуйте отдельные участки этой кривой.

Таблица 35

Изменение площади первого листа пшеницы

Номер растения	Площадь листа (см ²) по дням:							
	1	2	3	5	7	9	12	15
1	0,3	0,5	0,8	1,5	2,9	3,5	3,6	3,6
2	0,2	0,4	0,7	1,3	2,6	3,2	3,4	3,5
3	0,5	0,8	1,2	2,3	4,4	5,3	5,4	5,4
4	0,2	0,3	0,6	1,1	2,2	2,7	2,8	2,9
5	0,4	0,4	0,5	0,8	1,6	1,8	1,9	2,0
6	0,4	0,7	1,1	2	3,3	4,7	5,3	5,3
7	0,1	0,2	0,3	1,5	3,8	4,5	4,6	4,6
8	0,1	0,2	0,8	1,8	2,2	2,6	3,8	3,9
9	0,2	0,4	0,7	2,4	3,5	3,7	3,8	3,8

35. (1–9). Используя данные табл. 35, рассчитайте абсолютную и относительную скорость роста листа одного из растений.

36. (1–9). Постройте кривую роста для одного из растений по табл. 36. Выделите на ней фазы роста. Поясните причины изменения скорости роста в онтогенезе данных растений.

37. (1–36). Постройте кривую прироста для двух из растений по табл. 36. Номер растений брать в соответствии с индивидуальным номером по табл. 37. Выделите на графиках фазы роста и сравните максимальную скорость роста данных растений. Предположите причины выявленных отличий.

Таблица 36

**Результаты измерений прироста однолетних побегов
древесных растений средней полосы**

Порядковый номер узла	Расстояние от начала побега у растений №:								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,1	0,1	0,7	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,3
2	0,2	0,3	1,4	0,3	0,5	1,2	0,7	0,3	0,4
3	0,3	0,6	2,1	0,6	1,1	2,5	3,8	0,6	2,1
4	0,5	1,2	3,5	2,8	2,4	5,9	10	1,4	5
5	0,7	2,5	4,9	5,6	6,7	12	25	3,3	17
6	1	5,1	6	11	18	15	29	4,8	25
7	1,4	9,7	9,8	23	36	16	31	5,3	33
8	2,4	15,2	17	38	42	26	34	5,6	36
9	3,8	16,6	27	45	43	52	35	5,8	38
10	4,2	17,2	29	49	44	54	35	5,9	39
11	4,5	17,6	30	50	44	55	35	6	40

Таблица 37

Номера индивидуальных заданий для задачи 37

№ первого рас- тения в табл. 36	№ второго растения в табл. 36 для сравнения							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1	-						
3	2	9	-					
4	3	10	16	-				
5	4	11	17	22	-			
6	5	12	18	23	27	-		
7	6	13	19	24	28	31	-	
8	7	14	20	25	29	32	34	-
9	8	15	21	26	30	33	35	36

РАЗДЕЛ 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

Условия окружающей среды, в которых обитают растения, весьма разнообразны, соответственно многообразны и используемые ими пути адаптации. Растения переносят экстремальные условия в различных состояниях. Многие виды впадают в состояние глубокого органического покоя, но большое число видов в неблагоприятных условиях не прекращают активной жизнедеятельности. Физиологической основой устойчивости является возможность организма переключать метаболические пути при изменении условий обитания с основных на второстепенные или альтернативные. Для этого должны быть отработаны механизмы оценки изменений и подбора оптимальной стратегии жизни. Раздел посвящен разным вариантам адаптации растений к условиям среды, участию в этих процессах различных структур и физиологических процессов.

Устные задачи

1. Назовите наиболее значимые отличия в системах управления растений и животных.
2. Какие фазы в соответствии с концепцией Г. Селье можно выделить при стрессе у растений? В чем особенности данных фаз у растений?
3. Какова роль фотосинтетических процессов в адаптации растений к стрессовым условиям?
4. Какова роль дыхательных процессов в адаптации растений к стрессовым условиям?
5. Каково соотношение дыхания роста и дыхания поддержания у растений в разных условиях среды?

6. Какие концепции, объясняющие механизмы адаптации у растений существуют в настоящее время?

7. Поясните закон толерантности Шелфорда, приведите примеры для его иллюстрации. В чем его отличия от закона минимума Либиха?

8. Используя рис. 56. (часть А), поясните отличия 1 и 2 групп, приведите примеры растений.

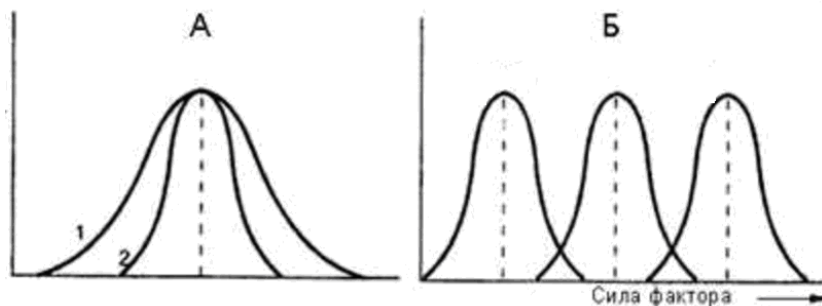


Рис. 56. Экологическая пластичность видов (по Одуму)

9. Какое значение имеет повышенная вязкость протопласта для растительной клетки? В каких экологических условиях формируется такой вид адаптации.

10. Опишите роль механизмов регуляции экспрессии генов при адаптации растений к изменяющимся условиям среды. Приведите пример.

11. Выделите и поясните основные особенности теории рефлекса в адаптации растений к неблагоприятным условиям среды.

12. Выделите основные особенности концепции донорно-акцепторных отношений в объяснении адаптации растений к неблагоприятным условиям среды.

13. Охарактеризуйте г- и К – стратегии растений, приведите примеры.

14. На каких стадиях онтогенеза растение характеризуется наибольшей чувствительностью к неблагоприятным условиям среды? Приведите обоснование и примеры.

15. Используя рис. 56. (часть Б), поясните отличия трех представленных графиков. Приведите примеры.

16. Растения по отношению к воде можно поделить на две группы: *пойкилогидрические* и *гомойогидрические*. Какие отличия в механизмах адаптации можно выделить у данных групп?

17. Поясните отличия фотоморфогенных рецепторов от пигментов фотосинтеза. Приведите примеры веществ из каждой группы.

18. На рис. 57. отражены 3 варианта изменения суточного хода транспирации. Какие внутренние и внешние факторы могут быть причиной таких отличий. Приведите пояснения для каждого графика (1–3).

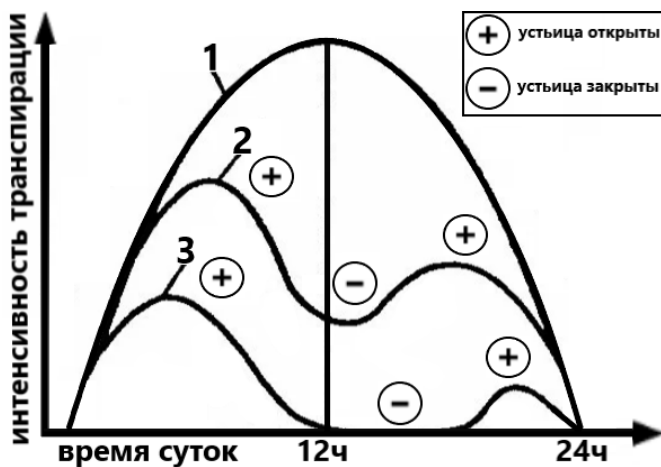


Рис. 57. Суточное изменение транспирации

19. Поясните отличия растений, представленные на рис. 58. Какие физиологические адаптации могут обеспечить такие отличия.

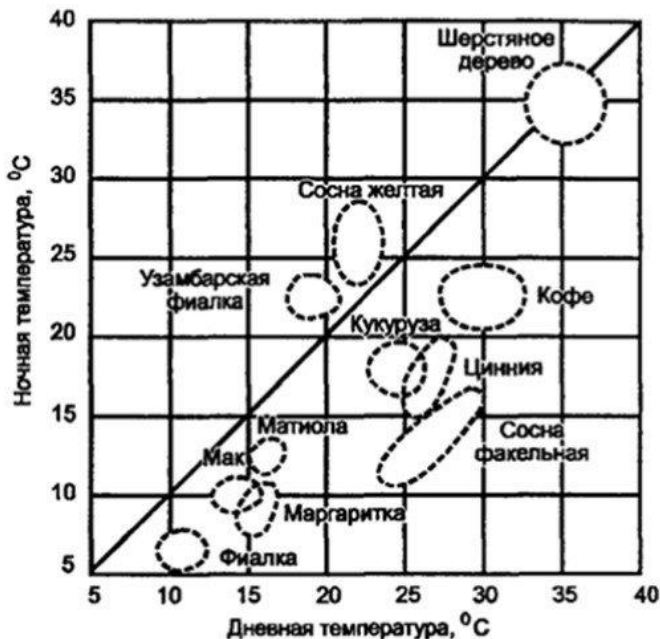


Рис. 58. Оптимальные температурные условия для разных растений

20. Поясните роль вторичных мессенджеров в адаптации растений к стрессовым условиям. Приведите примеры.

21. Зачем растению такие вторичные метаболиты как алкалоиды, флавоноиды и терпеноиды? Какова их роль в осуществлении взаимодействий растений с окружающей средой?

22. Поясните роль элиситеров в формировании фитоиммунитета растений.

23. Какие химические соединения растений участвуют в формировании и поддержании фитоиммунитета?

24. Охарактеризуйте реакцию сверхчувствительности при контакте с фитопатогеном и ее значение для растительного организма.

25. Какова роль фитоалексинов в борьбе растений с патогенами?

26. Каково значение сахаров, накапливающихся в ходе адаптации растений к действию отрицательной температуры?

27. Какую роль в клетке играют криопротекторы?

28. Перечислите основные виды рецепции у растительного организма.

29. Почему при кратковременном затоплении растения выживают, а при длительном нет?

30. В каких случаях растений испытывает дефицит кислорода? Как оно адаптируется к условиям гипо- и аноксии?

31. Приведите верный порядок процессов при включении защитных механизмов в ответ на инфицирование растения: а) некротические участки тканей отделяются от здоровых перидермой; б) образование комплекса элиситер – рецептор индуцирует у растения реакцию сверхчувствительности; в) паразит воздействует на клетки растения-хозяина с помощью элиситеров; г) отмирание клеток растения-хозяина приводит к возникновению в них регуляторных молекул – производных полимеров матрикса клеточных стенок (олигосахаридов); д) олигосахариды погибающих клеток диффундируют к соседним здоровым клеткам и вызывают в них синтез фитоалексинов; е) мембранные рецепторы растения взаимодействуют с элиситером паразита.

32. Какие семена лучше перенесут понижение температуры до -10°C : семена с содержанием воды 12 % или семена с содержанием воды 30 %? Ответ поясните.

33. Растения пшеницы погибают при температуре 49 °С в течение 10 минут, а кактусы переносят эту температуру без ущерба длительное время. Чем можно объяснить более высокую жаростойкость суккулентов?

34. На рис. 59 приведены срезы листьев растений, по-разному адаптированных к одному из экологических факторов. Назовите фактор и поясните данный вид адаптации.

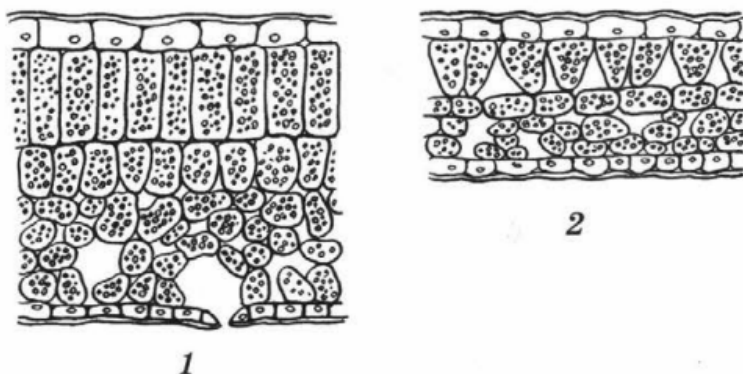


Рис. 59. Строение листа

35. Засуха и засоление в какой-то степени сходно влияют на поглощение воды растением. Чем это можно объяснить?

36. Каковы механизмы регуляции зацветания растений температурой? Почему озимая пшеница не дает урожая при посеве весной?

37. Для растений характерны разные ростовые явления, что происходит с растениями на рис. 60? Какие рецепторные системы участвуют в данном процессе. Поясните развитие событий после рецепции и роль в этом процессе гормонов.

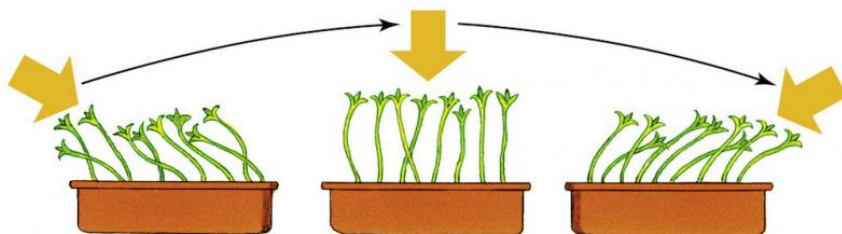


Рис. 60. Ростовые движения растений

38. С какими фоторецепторами и гормонами связаны изменения растений на рис. 61? Опишите механизм формирования данной адаптации.



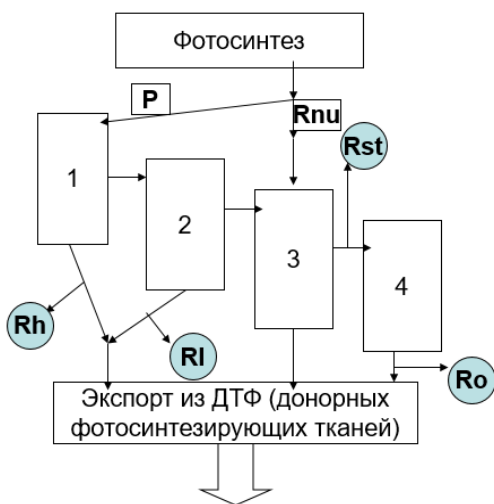
Рис. 61. Рост растений в изменяющихся условиях

39. Какие функции в растении выполняют фитохромы и криптохромы?

40. Хризантемы зацветают только осенью. Поясните причины данного явления и предложите варианты смещения цветения на более ранние сроки.

41. Назовите фотоморфоренные пигменты растений и тип фотонов, на которые они реагируют. В чем их сходство и отличие от пигментов фотосинтеза?

42. Какова роль системы пулов (рис. 62) при функционировании донорно-акцепторной системы растения?



P – истинный фотосинтез (без фотодыхания);
Rh и **RI** – темновое дыхание на свету в хлоропластах и цитоплазме;
Rnu – фотодыхание;
Rst и **Ro** – дыхание, связанное с образованием резервного пула ассимилятов на свету и мобилизацией из данного пула в темноте.

Рис. 62. Система пулов в фотосинтезирующих тканях (по Усманову и др.)

1 и 2 – метаболические пулы хлоропластов и цитоплазмы;
3 – транспортный пул ассимилятов, образуемый экспортом части продуктов фотосинтеза при участии фотодыхания; **4** – резервный пул ассимилятов, образуемый в условиях переменного радиационного режима в течение суток.

43. Как меняется концентрация АБК в растении в условиях засухи?

44. Какие адаптивные механизмы позволяют гидрофитам обитать в водной среде?

45. Укажите основные особенности физиологии гидрофитов. Приведите примеры данных растений.

46. Чем отличается распределение пластических и энергетических ресурсов в фотосинтезирующих тканях в норме и при стрессе? Для пояснений используйте рис. 7 в прил. 1.

47. На рис. 63 приведены изменения растений в условиях изменения типа освещения. Поясните произошедшие изменения, используя одну из концепций адаптации.



Рис. 63. Изменения растения при воздействии ультрафиолетовых лучей

48. Приведите пример донорно-акцепторной единицы растения и ее значение в адаптации растений.

49. Какие две системы составляют ресурсы надежности растения, позволяющие растительному организму безотказно функционировать при норме и отклонении от нормы.

50. Поясните на основе теории рефлекса механизмы трансформации сигнала внешней среды в клетке растений в удобную для передачи форму.

51. Поясните, при каком уровне фотосинтеза (низкий, высокий) происходит синтез экспортных веществ в левой части рис. 64. Ответ поясните.

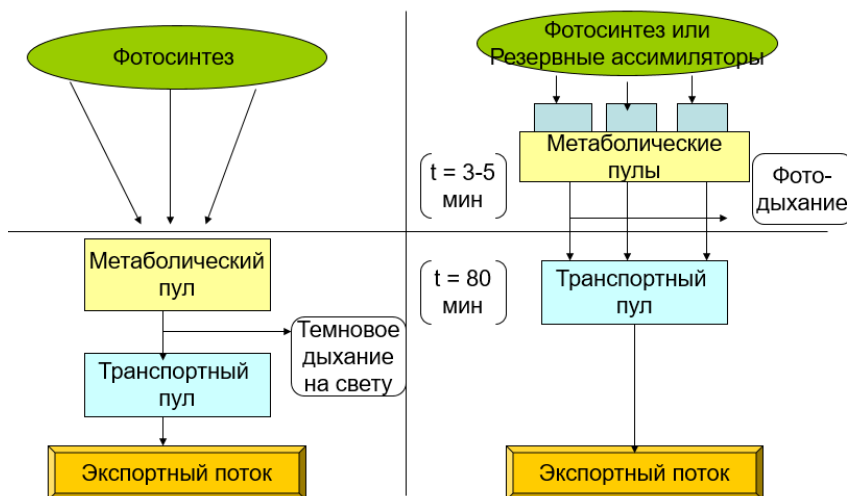


Рис. 64. Модель временной интеграции процессов превращения ассимилированного углерода в донорных фотосинтезирующих тканях (по Усманову и др.)

52. Опишите явление «лиственная мозаика». Какое значение оно имеет для растений? Какие фоторегуляторы участвуют в этом процессе?

53. Каковы механизмы передачи молекулярного сигнала в растительной клетке (организме) при формировании реакции на изменение условий окружающей среды?

54. Какие процессы позволяют растениям переходить из вегетативной фазы в фазу цветения. Каковы механизмы этого процесса?

55. На рис. 65 вверху приведены разные варианты освещения растений. Это четко отразилось на переходе к генеративной фазе развития. Какие физиологические процессы способствовали данному процессу. Какие выводы можно сделать на основе данного эксперимента. Каковы механизмы формирования данного типа адаптации?

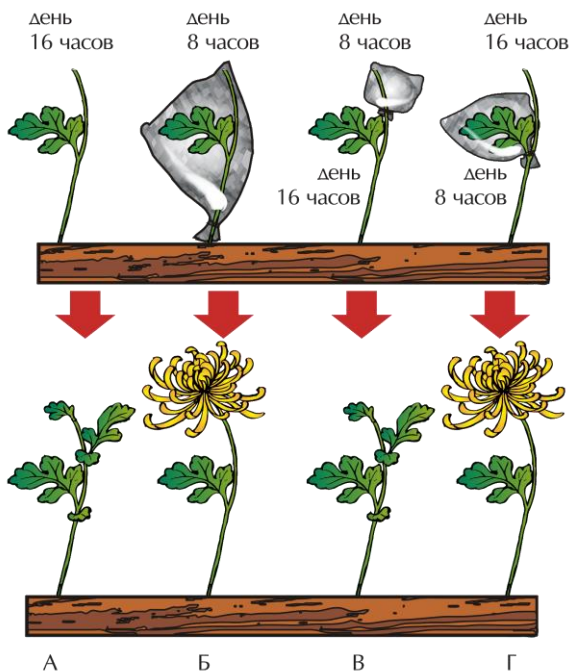


Рис. 65. Цветение растений

56. Осмолитики (аминокислота пролин, производные аминокислот – бетаины, многоатомные спирты и др.) необходимы растениям в условиях засухи. Каким требованиям должны соответствовать данные вещества, чтобы эффективно и безопасно выполнять свою функцию?

57. Что такое трансгенные растения? С какой целью и как их получают?

58. Аллелопатия – один из видов взаимодействия растений в фитоценозе. Какие факторы и как обеспечивают эти взаимодействия?

59. Какие вещества могут выполнять функцию осмолитиков? Каков принцип их работы?

60. Охарактеризуйте процесс, который представлен на рис. 66. Поясните последовательность физиологических процессов, которые происходят до данного события. Какие гормоны определяют формирование данного слоя?

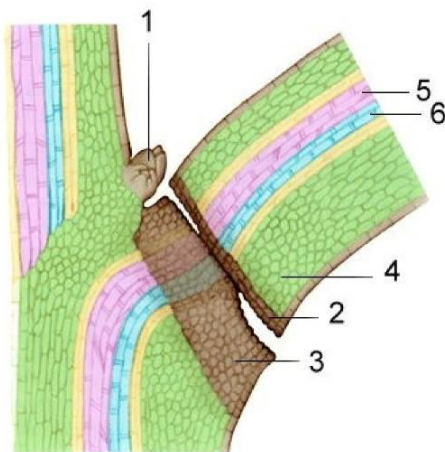


Рис. 66. Изменение морфологии черешка листа

61. Поясните что такое кросс-устойчивость и как она формируется.

62. Почему накопление ионов тяжелых металлов в растении ухудшает их жизнедеятельность? Каков механизм токсического действия тяжелых металлов?

63. Какие соединения в клетке участвуют в детоксикации тяжелых металлов?

64. На рис. 67 представлены графики изменения скорости фотосинтеза и компенсационные точки двух растений. Поясните отличия.

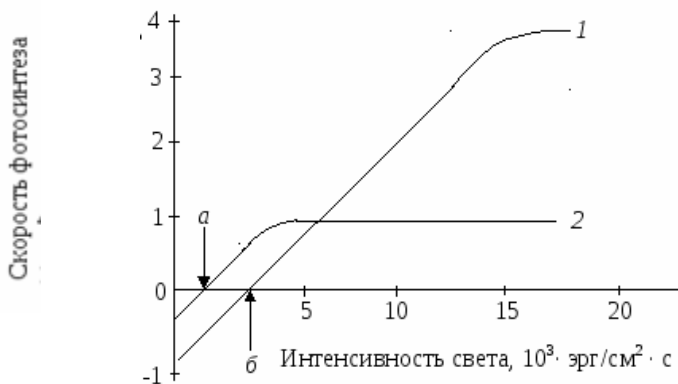


Рис. 67. Компенсационные точки (а, б) растений разных групп

65. Объясните, почему хвоя сосны, выдерживающая зимой морозы до -40°C , летом гибнет при искусственном охлаждении до -8°C ?

66. Диализ углеводов показал, что в одном растении содержится больше сахаров, а в другом — крахмала. Какое растение более приспособлено к перенесению зимних условий?

67. В чем отличия холодоустойчивости и морозостойкости?

68. На рис. 68 представлено 4 варианта изменений дневного хода транспирации в зависимости от влагообеспеченности растения. Поясните представленные отличия.

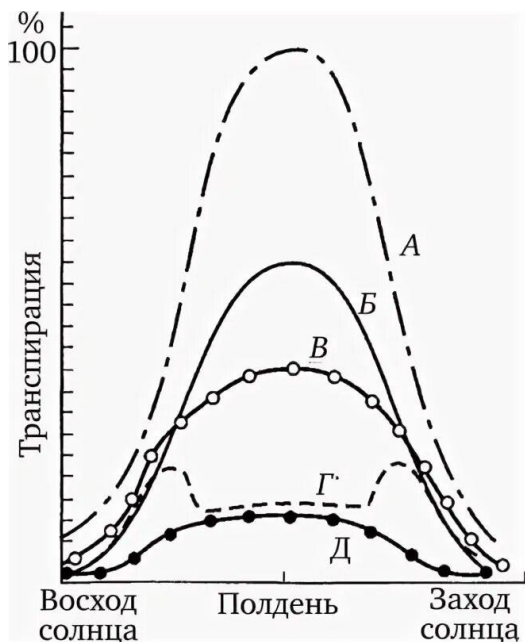


Рис. 68. Суточное изменение уровня транспирации (под буквой А – испарение со свободной водной поверхности)

69. Укажите причины ухудшения роста растений на промышленных отвалах.

70. Какие гормоны участвуют в развитии стрессовых реакций у растений?

71. О чем свидетельствует большое количество двойных связей у жирных кислот, входящих в состав липидов мембран растений?

72. В результате жизнедеятельности в клетке образуются активные формы кислорода (АФК). Используя рис. 69, поясните, каким образом они образуются, для чего используются клеткой и чем опасны. Какие меры борьбы с АФК есть в клетке?

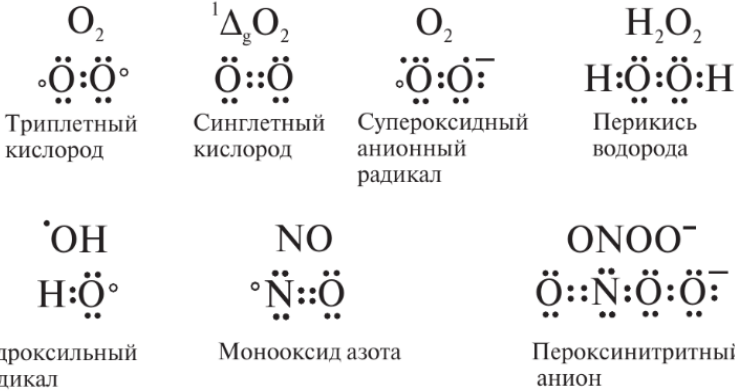
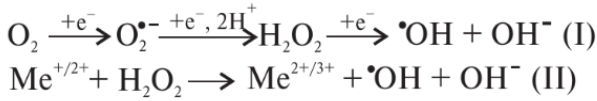


Рис. 69. Химизм образования свободных радикалов и активных форм кислорода в клетке

I – реакция активации триплетного кислорода под действием высокоэнергизированных электронов; II – реакция восстановления перекиси водорода до гидроксильного радикала ионом переходного металла (Me) (под чертой изображены формулы наиболее важных с физиологической точки зрения АФК; сверху приведены стандартные обозначения в биологии, снизу схемы Льюиса, демонстрирующие наличие свободных радикалов (точки без закраски))

73. Укажите причины ухудшения роста растений на промышленных отвалах.

74. Каково главное направление эволюции химизма фотосинтеза? Чем вызваны такие эволюционные изменения?

75. На рис. 70 представлена схема вариантов адаптаций растений к засухе. Приведите примеры растений из каждой группы. Поясните, какие метаболические перестройки есть у эуксерофитов.

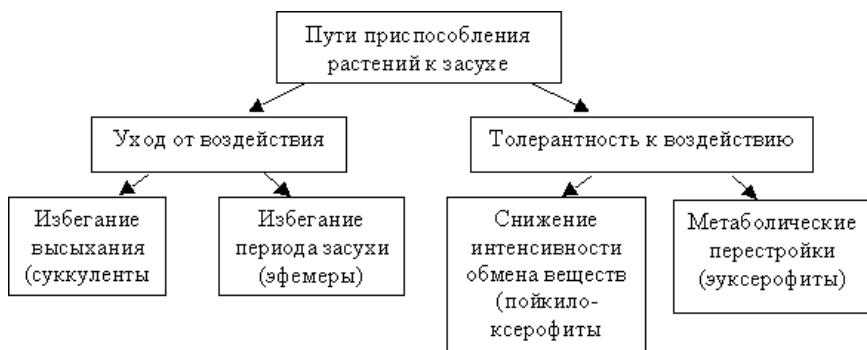


Рис. 70. Стратегии приспособления растений к дефициту воды

76. Почему гликофиты не могут произрастать на засоленных почвах?

77. Почему на солончаках и солонцах С-4 растения имеют преимущества перед С-3?

78. Какие физиологические особенности имеют эугалофиты в сравнении с криногалофитами?

79. Как адаптируется растение к засолению на физиологическом и биохимическом уровне?

80. На рис. 71 приведены варианты синтезируемых белков при водном дефиците. Для каких групп растений данные изменения актуальны? Какие растения не могут синтезировать данные белки? Поясните механизм действия приведенных белков.

81. Опишите процессы, отраженные на рис. 72. Поясните, к какому этапу они относятся в соответствии с теорией рефлекса, предложенной для объяснения адаптаций в экологической физиологии растений.

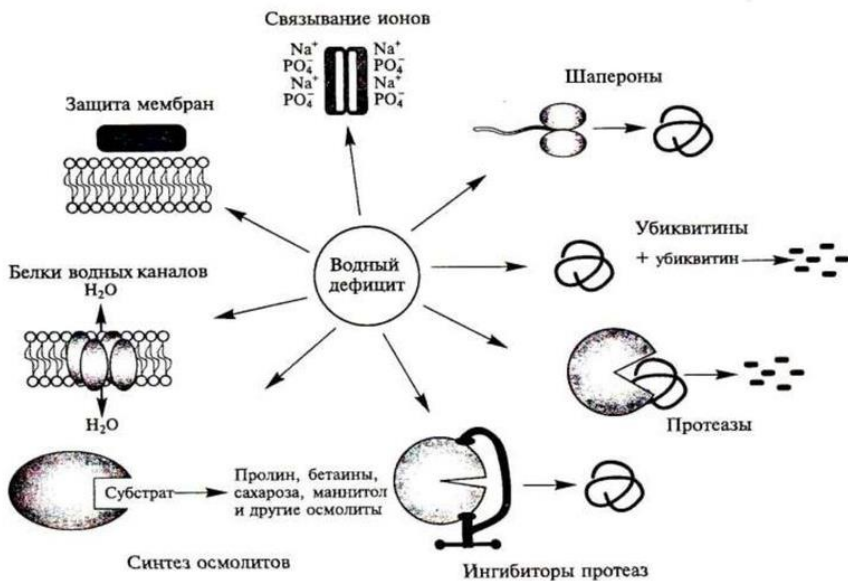


Рис. 71. Протекторная функция белков, индуцируемых водным дефицитом

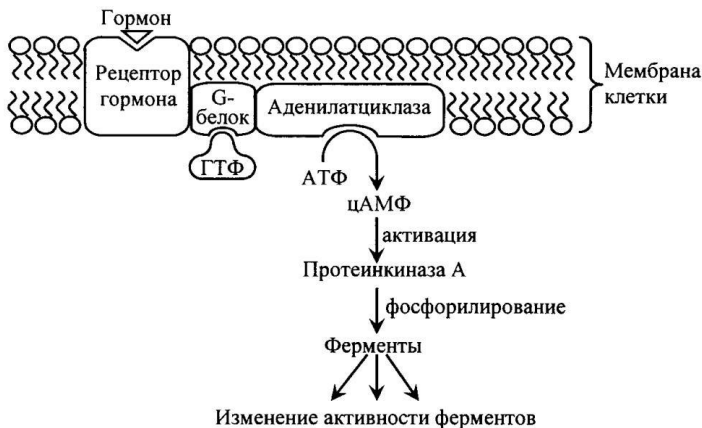


Рис. 72. Принцип работы аденилатциклазной системы

82. На территории сельскохозяйственного производителя широко распространены засоленные почвы с содержанием солей от 0,5 до 1 %. Используя список культур, приведенный в табл. 28, и данные табл. 38, подберите культуры, которые могут быть выращены на данных почвах.

Таблица 38

Список растений, растущих при разном засолении почв

Засоление	Содержание солей, % от сухого веса почвы	Растения, произрастающие при данной степени засоления
Незначительное	0,1	Возможны все культуры, в том числе и кукуруза. Сказывается лишь на некоторых плодовых и овощных
Слабое	0,1–0,4	Все зерновые, кроме несолеустойчивой кукурузы, сорговые, просо, полевой горох, козские бобы, люцерна, вика
Среднее	0,4–0,6	Хлопчатник, ячмень, рожь, спаржа, полевица белая, тимофеевка, ежа сборная, донник, пшеница, овес на сено
Средне-сильное	0,6–0,8	Кормовая брюква, кормовая капуста, овсяница луговая, итальянский райграс, пырей нежный, сорговые, ячмень на сено
Сильное	0,8–1,0	Сахарная свекла, пырей западный, костер безостый, французский райграс
Очень сильное	1,0–1,5	
Чрезвычайно сильное	1,5	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова, Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Андрианова, И. А. Тарчевский. – Москва : Наука, 2000. – 135 с.
2. Водный обмен растительных клеток. Сост. Т. А. Лушников. – Курган, 2010. – 41 с.
3. Горышина, Т. К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды / Т. К. Горышина. – Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1989. – 204 с.
4. Карначук, Р. А. Рост растений и содержание гормонов в зависимости от спектрального состава света / Р. А. Карначук, Н. Н. Протасова, И. Ф. Головацкая // Рост и устойчивость растений. – Новосибирск : Наука, 1988. – С. 71–81.
5. Кахнович, Л. В. Фотосинтетический аппарат и световой режим / Л. В. Кахнович. – Минск : Изд-во БГУ, 1980. – 144 с.
6. Кефели, В. И. Фотоморфогенез, фотосинтез и рост как основа продуктивности растений / В.И. Кефели. – Пушкино, 1991. – 133 с.
7. Кузнецов, В. В. Физиология растений: учеб. для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – Москва : Высш. шк., 2005. – С. 615–713.
8. Культиасов, И. М. Экология растений / И. М. Культиасов. – Москва : Изд-во МГУ, 1982. – 384 с.
9. Курсанов, А. Л. Транспорт ассимилятов в растении / А. Л. Курсанов. – Москва : Наука, 1976. – 647 с.
10. Литвин, Ф. Ф. Адаптация фотосинтеза к факторам внешней среды / Ф. Ф. Литвин, В. И. Звалинский // Физиология растений. 1991. – Т. 38, вып. 2. С. 318–326.
11. Максимов, Н. А. Краткий курс физиологии растений / Н. А. Максимов. 9-е изд., перераб. Москва : Сельхозгиз, 1958. – 559 с.

12. Маракаев, О. А. Экологическая физиология растений : фотосинтез и свет : текст лекций / О. А. Маракаев ; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль : ЯрГУ, 2005. – 95 с.

13. Минеральное питание, физиология стресса и адаптации растений : учеб. - метод. пособие / В. М. Юрин [и др.]. – Минск : БГУ, 2014. – 103 с.

14. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко. – Москва : Изд-во МГУ, 1992. – 320 с.

15. Новиков, М. Н. Система биологизации земледелия в Нечерноземной зоне (Научно-практические рекомендации на примере Владимирской области) / М. Н. Новиков. – Москва : Росинформагротех, 2007. – 296 с.

16. Экология / Ю. П. Одум ; перевод с англ. Ю. М. Фролова ; под ред. В. Е. Соколова. – Москва : Мир, 1986. – Т. 1, 2. – 376 с.

17. Полевой, В. В. Физиология растений / В. В. Полевой. – Москва : Высшая школа, 1989. – 464 с.

18. Полевой, В. В. Физиология роста и развития растений / В. В. Полевой, Т. С. Саламатова. – Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1991. – 240 с.

19. Протасова, Н. Н. Свет как фактор регуляции фотосинтеза и роста растений / Н. Н. Протасова // Рост растений и дифференцировка. – Москва : Наука, 1981. – С. 245–253.

20. Репин, Е. Н. Рост двух интродуцированных видов сосны в условиях Южной части Приморского края / Е. Н. Репин, А. В. Полещук // МНИЖ. – 2016. № 10-4 (52). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rost-dvuh-introdutsirovannyh-vidov-sosny-v-usloviyah-yuzhnoy-chasti-primorskogo-kraya> (дата обращения: 16.01.2026).

21. Рубин, Б. А. Биохимия и физиология фотосинтеза / Б. А. Рубин, В. Ф. Гавриленко. – Москва, 1977. – 328 с.

22. Самсонова, Н. Е. Основы минерального питания растений и технологий применения удобрений: учебное пособие / Н. Е. Самсонова. – Смоленск : ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021. – 256 с. – URL:

[https://sgsha.ru/sgsha/biblioteka/ Самсонова%20Н.Е.%20УП%20Основы%20минер.%20питания%20растений%20Самсонова%20Н.Е..pdf](https://sgsha.ru/sgsha/biblioteka/Самсонова%20Н.Е.%20УП%20Основы%20минер.%20питания%20растений%20Самсонова%20Н.Е..pdf) (дата обращения: 16.01.2026).

23. Титова, Э. В. Почва, растение, удобрение / Э. В. Титова. – Томск, 2000. – 172 с.

24. Усманов, И. Ю. Экологическая физиология растений : учебник / И. Ю. Усманов, З. Ф. Рахманкулова, А. Ю. Кулагин. – Москва : Логос, 2001. – 223 с.

25. Федоров, А. В. Устойчивость цветочно-декоративных растений к кратковременным отрицательным температурам (заморозкам) в условиях города Ижевска / А. В. Федоров, Н. М. Кузьмина, О. А. Ардашева // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 5. – С. 90–94.

26. Федулов, Ю. П. Фотосинтез и дыхание растений: учеб. пособие / Ю. П. Федулов, Ю. В. Подушин. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 101 с.

27. Физиология растений : учеб.-метод. пособие / [И. С. Киселева, М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, А. С. Тугбаева ; под общ. ред. И. С. Киселевой] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 120 с.

28. Фоторегуляция метаболизма и морфогенеза растений / под ред. А. Л. Курсанова, Н. П. Воскресенской. – Москва : Наука, 1975. – 254 с.

29. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т.В. Чиркова. – Санкт-Петербург : Изд-во С-Пб. ун-та, 2002. – 244 с.

30. Яковец, О. Г. Физиология растений: контрольные работы для студентов биол. фак. заоч. отд. / О. Г. Яковец, Г. Г. Филиппова, В. М. Юрин. – Минск : БГУ, 2011 . – 32 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Справочные материалы



Рис. 1. Схема метаболических процессов клеток

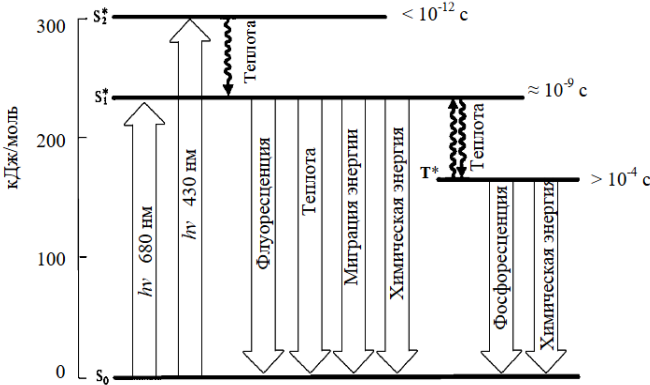


Рис. 2. Энергетические состояния молекулы хлорофилла и различные пути использования энергии электронного возбуждения (по Полевому)

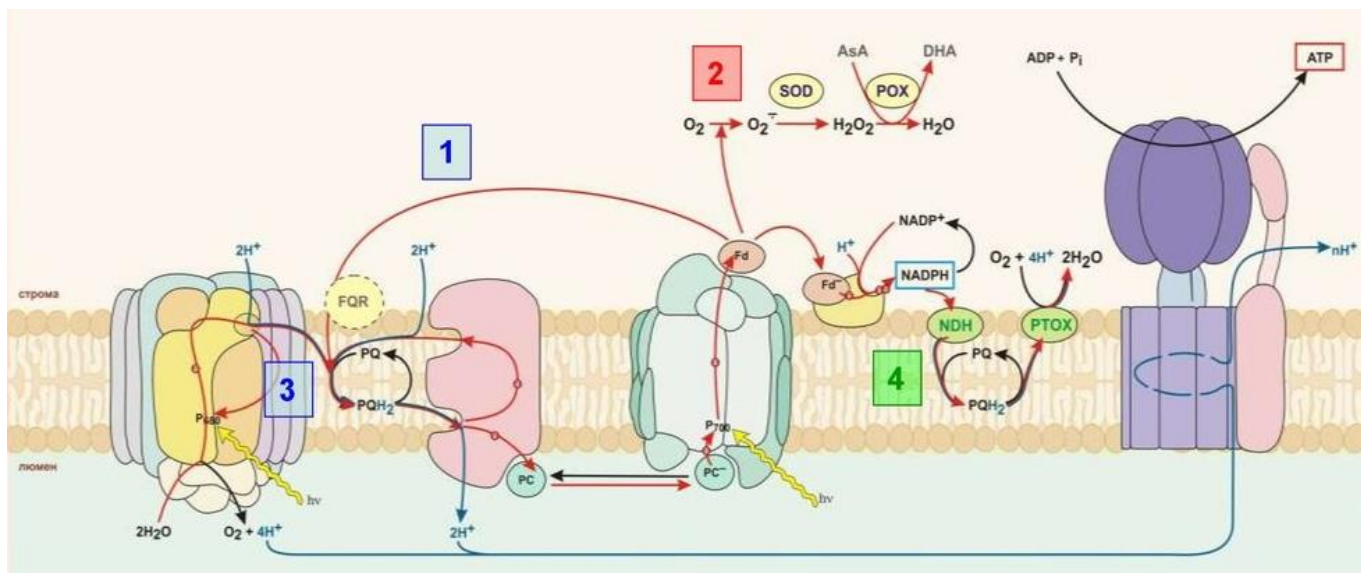


Рис. 3. Варианты электронного транспорта в хлоропластах

0 – Нециклический транспорт e^- (основной путь)	ATP, NADPH
1 – Циклический транспорт e^- у фотосистемы I	ATP
2 – Псевдоциклический транспорт электронов (р-ция Мелера – сброс e^- на O_2)	ATP
3 – Циклический транспорт e^- у фотосистемы II	—
4 – Хлоропластное дыхание (= хлородыхание)	ATP

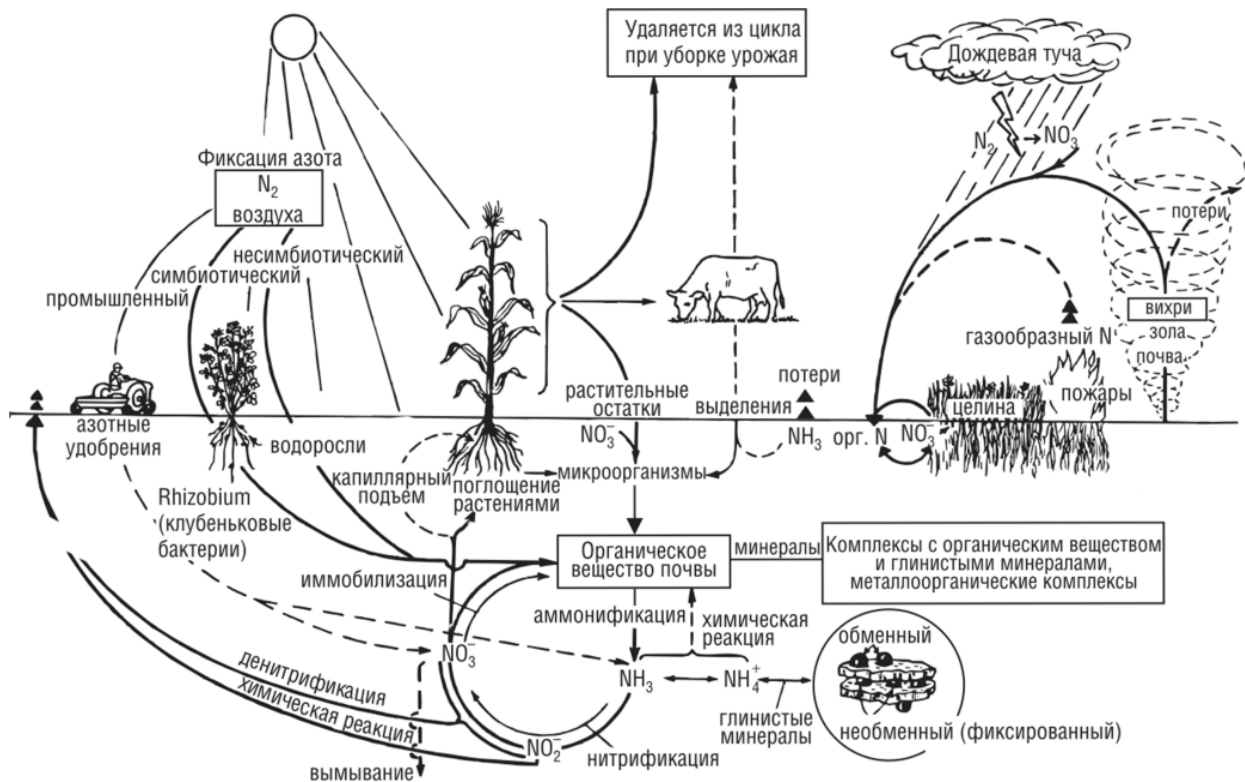


Рис. 4. Круговорот азота в природе



Рис. 5. Схема строения катионного канала мембран растений, проницаемого для ионов калия

	МАКРОЭЛЕМЕНТЫ					МЕЗОЭЛЕМЕНТЫ					МИКРОЭЛЕМЕНТЫ									
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn	Mo					
N	С	С	С	С	С															
P	С			Б			Б					Б		Б						
K	С			А	А		Б			А										
Ca	С	Б	А		А		А			А	Б	Б	Б	Б						
Mg	С	Б	А	А						А										
S									А											
Fe		Б	Б	А								А	А	А						
Si						А														
Cl																				
Na			А	А	А															
B				Б																
Mn		Б		Б			А							А						
Cu				Б			А								А					
Zn		Б		Б			А					А								
Mo	С													А						

С Синергисты (помогают друг другу)	А Антагонисты (избыток одного приводит к дефициту другого)	Б Блокируют друг друга (нельзя вносить вместе)
---	---	---

Рис. 6. Особенности взаимодействия элементов минерального питания растений

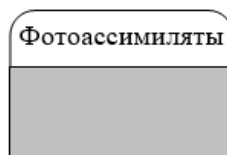
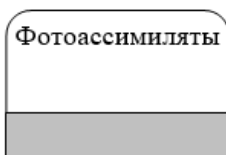
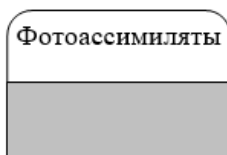
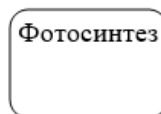
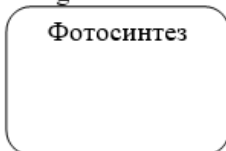
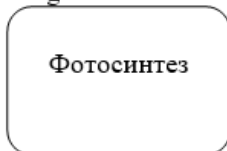
Оптимальные
внешние условия

Неблагоприятные внешние условия

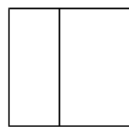
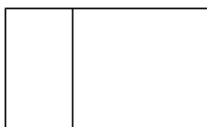
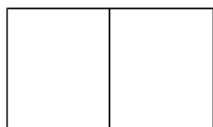
Норма
 $R/Pg = 40 - 50 \%$

1 этап стресса
 $R/Pg = 60 - 80 \%$

2 этап стресса
 $R/Pg = 85 - 90 \%$



Пул ассимилятов: белым – резервные ассимиляты,
а серым – метаболические ассимиляты



Изменение в процессах роста и дыхания: справа – рост, слева –
дыхание.

Рис. 7. Распределение пластических и энергетических ресурсов в донорных фотосинтезирующих тканях в норме и при стрессе (по Усманову и др)

Приложение 2

Составы питательных растворов для растений

Рецепт № 1: раствор Ф. Кнопа. Указана масса в г на 1 л воды. *Может быть добавлен 1 мл раствора микроэлементов Хогланда.*

Кальциевая селитра (нитрат кальция) – 1 г;
Фосфат калия однозамещенный – 0,25 г;
Сульфат магния – 0,25 г;
Хлорид калия (калийная соль) – 0,125 г;
Хлорид железа – 0,0125 г.

Рецепт № 2 (по Герикке). Указана масса в г на 1 л воды.

Монокалийфосфат – 0,140 г;
Калийная селитра – 0,550 г;
Кальциевая селитра – 0,100 г;
Сульфат магния (кристаллический) – 0,140 г;
Сульфат железа (двухвалентный) – 0,020 г;
Сульфат марганца – 0,002 г;
Бура – 0,002 г;
Сульфат цинка – 0,001 г;
Сульфат меди – 0,001 г.

Рецепт № 3 (по Эллису). Указана масса в г на 1 л воды.

Нитрат кальция – 1,000 г;
Сульфат магния – 0,500 г;
Монокалийфосфат – 0,300 г;
Сульфат аммония – 0,100 г;
Цитрат железа – 0,050 г;

Сульфат марганца – 0,002 г;

Бура – 0,002 г;

Сульфат цинка – 0,001 г;

Сульфат меди – 0,001 г.

Рецепт № 4. Количества указаны в граммах на 500 л воды, рН готового раствора доводят серной кислотой до 5,3–5,7.

Нитрат кальция – 434,00 г;

Нитрат калия – 213,00 г;

Сульфат магния – 189,00 г;

Монокалийфосфат – 142,00 г;

Сульфат железа – 10,00 г;

Сульфат аммония – 5,00 г;

Бура – 5,00 г;

Сульфат марганца – 2,50 г;

Сульфат цинка – 0,02 г;

Сульфат меди – 0,02 г.

Рецепт № 5. Количества указаны в граммах на 500 л воды, рН готового раствора доводят серной кислотой до значения 5,3–5,7. На каждый литр готового раствора необходимо добавить 1 мл раствора микроэлементов Хогланда.

А. Зимний раствор:

Кальциевая селитра – 238 г;

Калийная селитра – 166 г;

Суперфосфат – 274 г;

Сульфат калия и магния – 314 г;

Хлористое железо – 8 г.

Б. Летний раствор:

Кальциевая селитра – 300 г;

Калийная селитра – 150 г;
 Сульфат аммония – 30 г;
 Суперфосфат – 340 г;
 Сульфат калия и магния – 170 г;
 Хлористое железо – 10 г.

Раствор микроэлементов по Хогланду. Количество указано в граммах в расчете на 18 литров воды.

хлористый литий – 0,5 г;	йодистый калий – 0,5 г;
сульфат меди – 1,0 г;	бромистый калий – 0,5 г;
борная кислота - 11,0 г;	сульфат алюминия – 1,0 г;
сульфат цинка – 1,0 г;	сульфат никеля – 1,0 г;
хлористый марганец	нитрат кобальта – 1,0 г;
двухвалентный – 7,0 г;	диоксид титана – 1,0 г.

Таблица 1

**Универсальные питательные растворы
 на основе удобрений для выращивания в гидропонике
 овощных и цветочных культур**

Химическое соединение	Концентрация г /1000 л воды:	
	Рецепт № 6: по Чеснокову–Базыриной	Рецепт № 7: по Абеле
Удобрения с макроэлементами		
Аммиачная селитра	200	240
Суперфосфат	550	500
Калийная селитра	500	560
Сернокислый магний	300	320
Микроэлементы		
Железо (III) сернокислое	-	6,5

Железо лимонно – аммиачное - $\text{Fe}(\text{NH}_4)_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$	8,7	-
Марганец сернокислый	1,9	0,5
Борная кислота H_3BO_3	2,9	0,8
Молибденовокислый аммоний - $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	-	0,1
Кобальт азотнокислый	-	0,1
Цинк сернокислый	0,2	0,1
Медь сернокислая	0,2	0,1
Серная кислота	0,9	-

Таблица 2

Содержание элементов питания в разных видах удобрений (%)

Содержание элементов питания, %								
в простых минеральных удобрениях			в комплексных минеральных удобрениях					
Азотные удобрения			Удобрение	Процент			Марка	Соотношение
Название	Условное обозначение	N, %		N	P2O5	K2O		
Аммиачная селитра	Наа	34	Диаммофос	18	46-47	0		
Мочевина (карбамид)	Nм	46	Аммофос	12	50-52	0	А	1:4-4,5
Сульфат аммония	На	20		10-11	42-44	0	Б	1:4,5
Натриевая селитра	Nс	13		12	39	0	Удобрительный	1:3,3
Жидкий безводный аммиак	Nба	82	Нитрофос	22	22	0	Уравновешенный	1:1
Фосфорные удобрения				23	17	0	А	1,4:1
Название	Условное обозначение	P ₂ O ₅ , %		24	14	0	Б	1,7:1
Суперфосфат простой	Рс	19	Нитрофоска	11	10	11		1:1:1
Суперфосфат двойной	Рсд	44-49	Нитроаммофос	23	23	0	А	1:1
Фосфоритная мука	Рф	20-29		16	24	0	Б	1:1,5
Калийные удобрения				25	20	0	В	1,3:1
Название	Условное обозначение	K ₂ O, %	Нитроаммофоска	17	17	17	А	1:1
Калий хлористый	Кх	57-60		18	18	18	А	1:1
				13-14	19-20	19-20	Б	1:1,5:1,5
Калий серноокислый	Кс	48-50	Диаммофоска	10-11	26-27	26-27		1:2,6:2,6
			Нитродиамофос	10-11	30-31	30-31		1:3:3
Калийная соль	Кк	30-40	Нитродиамофос	23-24	30-31	0		1:1,3
			Азофоска	16	16	16		1:1:1
			Калийная селитра	13	0	46		1:3

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	5
РАЗДЕЛ 2. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ	10
РАЗДЕЛ 3. ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЯ	19
РАЗДЕЛ 4. ФОТОСИНТЕЗ	32
РАЗДЕЛ 5. ДЫХАНИЕ	48
РАЗДЕЛ 6. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ	57
РАЗДЕЛ 7. РОСТ И РАЗВИТИЕ	77
РАЗДЕЛ 8. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	110
ПРИЛОЖЕНИЯ	114
Справочные материалы	114
Составы питательных растворов для растений	119

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ИЗДАНИЯ:

Интерфейс электронного издания (в формате pdf) можно условно разделить на 2 части.

Левая навигационная часть (закладки) включает в себя содержание книги с возможностью перехода к тексту соответствующей главы по левому щелчку компьютерной мыши.

Центральная часть отображает содержание текущего раздела. В тексте могут использоваться ссылки, позволяющие более подробно раскрыть содержание некоторых понятий.

МИНИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ:

Celeron 1600 Mhz; 128 Мб RAM; Windows XP/7/8 и выше; 8x DVD-ROM; разрешение экрана 1024×768 или выше; программа для просмотра pdf.

СВЕДЕНИЯ О ЛИЦАХ, ОСУЩЕСТВЛЯВШИХ ТЕХНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ И ПОДГОТОВКУ МАТЕРИАЛОВ:

Оформление электронного издания : Издательский центр «Удмуртский университет».

Компьютерная верстка: Т.В. Опарина

Подписано к использованию 28.05.2026

Объем электронного издания 5,2 Мб

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, д. 4Б, каб. 021
Тел. : +7(3412)263-751 E-mail: editorial@udsu.ru
