

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ЧЕЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Биолого-химический факультет

Кафедра «Ботаника»

**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ:
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ**

Учебное пособие

Грозный 2015

**Печатается по решению Ученого Совета
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»
Протокол №7 от 06 июля 2015 г.**

Составители: Эржапова Разет Салмановна, к.б.н., зав кафедрой ботаники ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»

Эржапова Раиса Салмановна, д.б.н., профессор кафедры ботаники ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»

Рецензенты:

Магомадова Раиса Сайпудиевна, кандидат биологических наук, доцент, декан факультета Естествознания ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет»

Батхиев Асланбек Магомедович, кандидат биологических наук, доцент, зав кафедрой «Зоология и биоэкология» ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»

Эржапова Р.С., Эржапова Р.С. Физиология растений. Водный режим растений. Учебное пособие. Грозный: Издательство ЧГУ, 2015. – 128 с.

В настоящем учебном пособии изложены вопросы водного режима растений: функции и формы воды в растениях, значение воды для жизнедеятельности растений, поглощение, транспорт воды, транспирация. экология водного режима, механизмы передвижения воды по растению, теория сцепления, транспирация: ее формы и физиологическое значение, количественные показатели транспирации; особенности водного обмена у растений разных экологических групп, роль растений в круговороте воды в биосфере; биологическое значение воды, и ее поступление в растение. Приведены описания лабораторных работ и краткий терминологический словарь по рассматриваемому разделу.

Рассчитано на привитие студентам биологических специальностей навыков самостоятельной работы, способствующих закреплению теоретических знаний и формированию навыков научно–исследовательской работы.

© ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе своего развития физиологию растений как область научного знания по праву можно считать общебиологической и междисциплинарной. Этапы ее становления и развития охватывают 200-летний период, за который накоплен богатейший теоретический и практический материал, раскрывающий процессы и механизмы функционирования и жизнедеятельности растительного организма.

При составлении данного пособия преследовалась цель обобщения и систематизации классических и современных представлений о природе одного из основных физиологических процессов, протекающих в растительном организме, о месте его локализации, этапах, механизмах регуляции и закономерностях взаимодействия с внешней средой.

Нами использованы классические и современные научные и учебные издания, раскрывающие физиологические механизмы водного режима растений, а также энциклопедические и специальные словари и справочники.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ

Функции и формы воды в растениях. Значение воды для жизнедеятельности растений

Вода является одной из главных составных частей растений. Ее содержание неодинаково в разных органах растения (так, в листьях салата она составляет 95%, а в сухих семенах – не более 10% от массы ткани) и зависит от условий внешней среды, вида и возраста растения. Для своего нормального существования растение должно содержать определенное количество воды, в среднем 75–80% массы растительной ткани.

Вода – это:

- 1) среда, в которой протекают процессы обмена веществ;
- 2) субстрат и продукт биохимических процессов (реакции гидролиза, окислительно-восстановительные реакции);
- 3) источник кислорода, выделяемого при фотосинтезе, и водорода, используемого для восстановления углекислого газа;
- 4) основа конформации молекул белка;
- 5) основа устойчивости структур цитоплазмы и оболочки клеток в упругом состоянии;
- 6) основа «тургорных» движений частей растений;
- 7) основа терморегуляции растительного организма.

Свойства воды, обеспечивающие ее функции в растительной клетке:

- 1) молекула воды представляет собой диполь;
- 2) благодаря этому молекулы воды могут ассоциировать друг с другом, ионами и белковыми молекулами;
- 3) вода участвует в поглощении и транспорте веществ, так как является хорошим растворителем; гидратные оболочки, окружающие ионы, ограничивают их взаимодействие;
- 4) вода обладает высокой теплоемкостью, равной 1 кал/град, что позволяет растению воспринимать изменения температуры окружающей среды в смягченном виде, испарение воды растениями, т.е. транспирация, служит основным средством терморегуляции у растений.

Формы воды в клетке

В клетках и тканях различают две формы воды: прочно связанную (связанную) и рыхло связанную (свободную).

Осмотически связанная вода гидратирует растворенные вещества – ионы и молекулы; коллоидносвязанная вода гидратирует коллоиды (макромолекулы); капиллярносвязанная вода связана со структурами клеточных стенок и сосудов за счет сил адгезии.

Связанная вода выполняет структурную функцию, поддерживая структуру коллоидов и обеспечивая функционирование ферментов, органоидов и клетки в целом. Она малоподвижна, не участвует в растворении и транспорте веществ, отличается сниженной температурой замерзания и более высокой температурой кипения по сравнению со свободной водой.

Свободная вода обладает высокой подвижностью, является растворителем и основным транспортером веществ по растению.

Доля связанной воды в клетке составляет около 40%, доля свободной – около 60%. При недостатке влаги в первую очередь снижается доля свободной воды.

Корневая система как орган поглощения воды

Водный баланс растений складывается из поглощения, использования и потери воды. Корневая система является органом поглощения воды из почвы. Сформировавшаяся корневая система представляет собой сложный орган с хорошо дифференцированной структурой. Подсчитано, что общая поверхность корневой системы может превышать поверхность надземных органов более чем в 150 раз. Рост корневой системы и ее ветвление продолжаются в течение всей жизни растения.

Поглощение воды и питательных веществ осуществляется в основном корневыми волосками ризодермы. Ризодерма – это однослойная ткань, покрывающая корень снаружи. У одних видов растений каждая клетка ризодермы формирует корневой волосок, у других она состоит из двух типов клеток: трихобластов, образующих корневые волоски, и атрихобластов, не способных к образованию волосков.

Из ризодермы вода попадает в клетки коры. У травянистых растений кора корня обычно представляет собой несколько слоев живых паренхимных клеток. Между клетками имеются крупные межклетники, обеспечивающие аэрацию корня. Через клетки коры возможны два пути транспорта воды и растворов минеральных солей: по симпласту и апопласту. Более быстрый транспорт воды происходит по апопласту.

Симпласт состоит из объединенного множества протопластов (включая и протопласты ситовидных трубок флоэмы) и ограничен объединенной плазматической мембраной всех живых клеток; пространство, находящееся с внутренней стороны плазмалеммы (рис. 1).

Апопласт включает все клеточные стенки, а для многоклеточного организма и межклеточные пространства, а также полости мертвых трахеид и сосудов ксилемы; пространство, находящиеся снаружи плазмалеммы.



Рис. 1. Схематизированное изображение группы растительных клеток, соединенных плазмодесмами. Плазматическая мембрана, которая выстилает плазмодесмы, разделяет весь объем растения на два компартмента

Внеклеточный компартмент, или **апопласт** Внутриклеточный компартмент, или **симпласт**

Затем вода попадает в клетки эндодермы. Эндодерма – это внутренний слой клеток коры, граничащий с центральным цилиндром. Их клеточные стенки водонепроницаемы из-за отложения суберина и лигнина (пояски Каспари). Поэтому вода и соли проходят через клетки эндодермы по симпласту и транспорт воды в эндодерме замедляется. Это необходимо, так как диаметр стели (центрального цилиндра), куда попадает вода из эндодермы, меньше всасывающей поверхности корня.

Центральный цилиндр корня содержит перицикл, паренхимные клетки и две системы проводящих элементов: ксилему и флоэму. Клетки перицикла представляют собой одно– или многослойную обкладку проводящих сосудов. Его клетки регулируют транспорт веществ как из наружных слоев в ксилему, так и из флоэмы в кору.

Кроме того, клетки перицикла выполняют функцию образовательной ткани, способной продуцировать боковые корни. Клетки перицикла и паренхимные клетки активно транспортируют ионы в проводящие элементы ксилемы. Контакт осуществляется через поры во вторичных клеточных стенках сосудов и клеток. Между ними нет плазмодесм. Затем вода и растворенные вещества диффундируют в полость сосуда через первичную клеточную стенку. Для некоторых паренхимных клеток сосудистого пучка характерны выросты – лабиринты стенок, выстланные плазмалеммой, что значительно увеличивает ее площадь. Эти клетки активно участвуют в транспорте веществ в сосуды и обратно и называются передаточными, или переходными. Они могут граничить одновременно с сосудами ксилемы и ситовидными трубками флоэмы. По сосудам флоэмы транспортируются органические вещества из надземной части растения в корни.

Корневое давление: значение, механизм и методы определения.

Гуттация и плач растений

Вода пассивно диффундирует в сосуды ксилемы благодаря осмотическому механизму. Осмотически активными веществами в сосудах являются минеральные ионы и метаболиты, выделяемые насосами плазмалеммы паренхимных клеток, окружающих сосуды. Сосущая сила у сосудов выше, чем у окружающих клеток из-за повышающейся концентрации ксилемного сока и отсутствия значительного противодействия со стороны малоэластичных клеточных стенок. В результате поступления воды в сосудах ксилемы развивается гидростатическое давление, получившее название корневого давления. Оно участвует в поднятии ксилемного раствора по сосудам ксилемы из корня в надземную часть растения. Поднятие воды по растению вследствие развивающегося корневого давления называют нижним концевым двигателем.

Проявлением работы нижнего концевого двигателя (корневого давления) служат плач растений и гуттация. Весной у кустарников и деревьев с еще нераспустившимися листьями можно наблюдать интенсивный ксилемный ток снизу вверх через надрезы ствола и веток. У травянистых растений при отрезании стебля из пенька выделяется ксилемный сок, называемый пасокой.

Поступление воды через корневую систему сокращается с понижением температуры. Это происходит по следующим причинам: 1) повышается вязкость воды, и поэтому снижается ее подвижность; 2) уменьшается проницаемость протоплазмы для воды; 3) тормозится рост корней; 4) уменьшается скорость метаболических процессов. Поступление воды снижается при ухудшении аэрации почвы. Это можно наблюдать, когда после сильного дождя почва залита водой, но при ярком солнце из-за сильного испарения растения завядают. Большое значение имеет концентрация почвенного раствора.

Вода поступает в корень только тогда, когда водный потенциал корня меньше водного потенциала почвы. Если почвенный раствор имеет более отрицательный потенциал, вода будет не поступать в корень, а выходить из него.

Движущие силы восходящего тока воды

✓ Вода и минеральные элементы доставляются к каждой клетки надземной части растения благодаря восходящему току по ксилеме.

✓ Активные двигатели восходящего водного тока - нижний концевой (корневое давление) и верхний концевой (транспирация) двигатели.

✓ Активными двигателями начального восходящего водного тока (корневого давления) являются живые клетки, которые прилегают к нижнему концу проводящей системы растений – это клетки паренхимы корней. Они были названы нижним концевым двигателем водного тока.

✓ Активными двигателями водного тока, обусловленного транспирацией, являются живые клетки, которые прилегают к верхнему концу всей проводящей системы растения – клетки паренхимы листа. Они были названы верхним концевым двигателем водного тока.

Возникновение корневого давления – связано с поступлением воды в корень как в осмометр, а также с обменом веществ в клетках (рис. 2).

Корень подает воду в побеги, прежде всего, в стебель, а потеря молекул воды в верхней части водного столба в результате испарения заставляет ее подниматься по сосудам ксилемы для ликвидации этой потери.

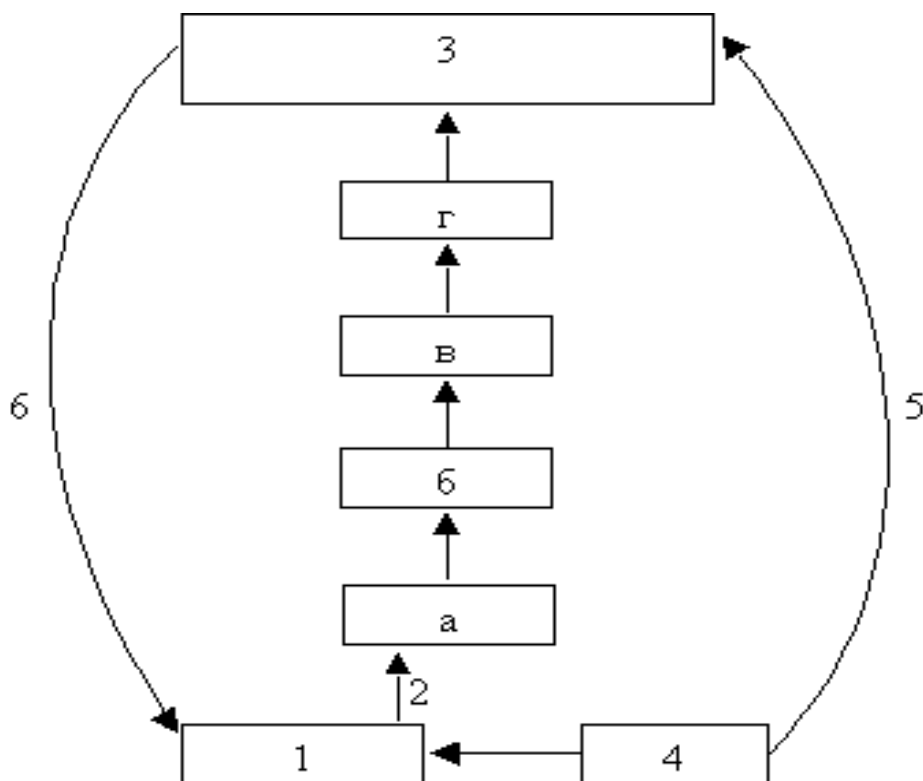


Рис. 2. Место и регуляторная роль корневого давления в общем водообмене растений:

1 – корневое давление; 2 – активное нагнетание воды; 3 – транспирация; 4 – осмотическое поступление воды в клетки корня; 5 – перемещение воды под влиянием транспирации; б – ток ассимилятов; а – натяжение воды в сосудах ксилемы; б – содержание воды в листе; в – водоудерживающая способность листьев; г – состояние устьиц

Механизм работы верхнего корневого давления:

- ✓ Уменьшение количества воды в паренхимной клетке листа вызывает снижение активности воды в ней и уменьшение водного потенциала.
- ✓ Вода из соседней клетки поступает в эту клетку, транспирирующую активнее.
- ✓ Водный дефицит постепенно от клетки к клетке доходит до корней, и активность воды в них снижается – вода поступает из почвы в корень.

Верхнее корневое давление представляет собой автоматически работающий механизм, который тем сильнее присасывает воду, чем быстрее ее расходует.

Процессы когезии и адгезии

✓ Работой верхнего и нижнего концевых двигателей без труда можно объяснить поднятие воды на несколько десятков сантиметров, несколько метров.

✓ Сосуды, по которым двигается вода на большей части своего пути, представляют собой мертвые трубки – не могут развивать силы для поднятия воды.

✓ На десятки метров (секвойя достигает высоты 140 метров) вода поднимается благодаря возникновению между ее молекулами сил сцепления. Теория сцепления предложена английским исследователем Г. Диксоном.

✓ В соответствие с этой теорией в сосудах образуются непрерывные (сплошные) водяные нити, проходящие от клеток паренхимы корня до испаряющих клеток паренхимы листа.

✓ Сила, которая заставляет молекулы воды идти друг за другом, была названа силой сцепления (когезия). Непрерывные водяные нити образуются за счет водородных связей.

✓ Водяные нити сцеплены и со стенками сосудов (адгезия) с силой 300–350 бар.

✓ Все это позволяет нижнему и верхнему концевым двигателям поднимать воду по стволу на высоту 140 м (рис. 3).

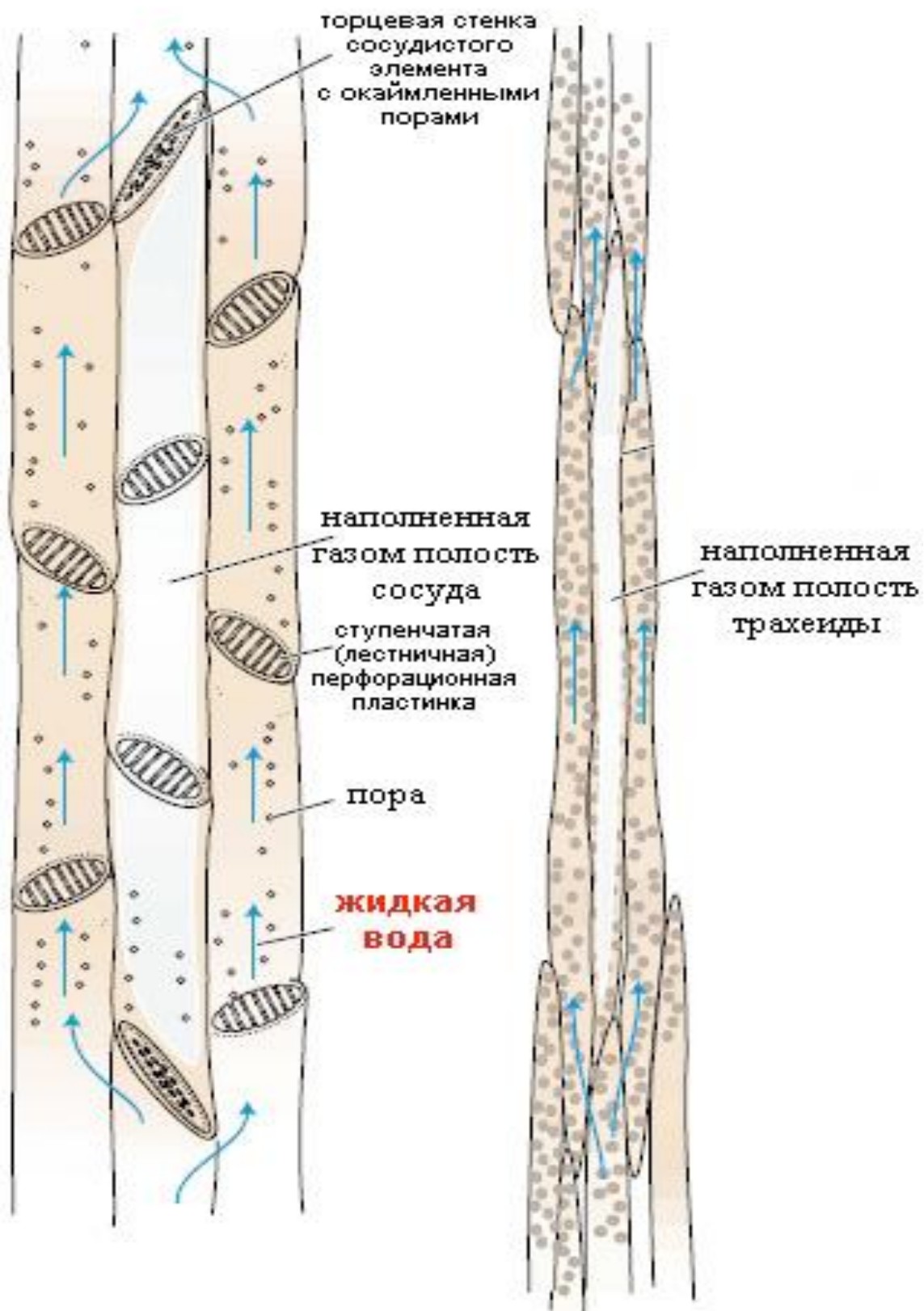


Рис. 3. Водопроводящая система стебля

Формы воды в почве. Водные характеристики почвы

По степени доступности для растения различают следующие формы почвенной влаги. *Гравитационная* вода заполняет промежутки между частицами почвы и хорошо доступна растениям. Однако она быстро испаряется и легко стекает в нижние горизонты почвы под влиянием силы тяжести, вследствие чего бывает в почве лишь после дождей. Капиллярная вода заполняет капилляры в почвенных частицах. Эта вода хорошо доступна для растений, она удерживается в капиллярах силами поверхностного натяжения и поэтому не только не стекает вниз, но и поднимается вверх от грунтовых вод. *Пленочная* вода окружает коллоидные частицы почвы. Вода из периферических слоев гидратационных оболочек может поглощаться корнями. *Гигроскопическая* вода адсорбируется сухой почвой при помещении ее в атмосферу с 95%-ной относительной влажностью. Этот тонкий слой молекул воды удерживается с такой силой, что их водный потенциал достигает 1000 баров и она недоступна для растений.

Способность почвы удерживать воду зависит от ее состава и свойств.

Для характеристики максимального запаса почвенной влаги используют понятие «полная полевая влагоемкость» (или «полевая влагоемкость»). Количественно этот параметр отражает количество воды (выраженное в процентах), которое способны поглотить и удержать 100 граммов почвы. Чем больше в почве минеральных (глинистых) и органических (гумуса) частиц, тем выше значение полевой влагоемкости. Так как для нормальной жизнедеятельности корневой системы необходимо некоторое количество кислорода почвенного воздуха, оптимальной для большинства растений считается влажность почвы, равная 60% от полной полевой влагоемкости.

Физиологическая засуха и ее причины. Коэффициент завядания

Количество почвенной воды в процентах, при котором растение впадает в устойчивое завядание, называют коэффициентом, или влажностью, завядания. Завядание растений разных видов может начинаться при одной и той же влажности, но промежуток времени от завядания растения до его гибели (интервал завядания) у растений может быть различным. Так, для растений бобов он составляет

несколько суток, а для растений проса – несколько недель. Завядание начинается позже у растений с более отрицательным осмотическим потенциалом и меньшей скоростью транспирации.

«Мертвый запас» влаги в почве – это количество воды, полностью недоступной растению. Он зависит от механического состава почвы. Чем больше глинистых частиц в почве, тем больше «мертвый запас» влаги. Количество доступной для растения воды представляет собой разность между полевой влагоемкостью (максимальное количество воды, удерживаемое почвой) и «мертвым запасом».

Поглощение. Транспорт воды.

Транспирация. Экология водного режима.

Механизмы передвижения воды по растению.

Теория сцепления

Восходящий поток воды в растении идет по сосудам ксилемы, лишенным цитоплазмы (рис. 4). Помимо работы нижнего концевой двигателя и присасывающего действия транспирации (верхний концевой двигатель) в передвижении воды по капиллярным сосудам ксилемы участвуют силы сцепления (когезии) молекул воды друг с другом и силы прилипания (адгезии) воды к стенкам сосудов. Обе силы препятствуют также образованию пузырьков воздуха, способных закупорить сосуд. Скорость передвижения воды по ксилеме равна 12–14 м/ч.

Большая часть воды, попавшей в листья, испаряется в атмосферу, а меньшая часть (около 0,2%) используется в метаболизме клеток на поддержание тургора и в транспорте органических соединений по сосудам флоэмы (рис. 5).

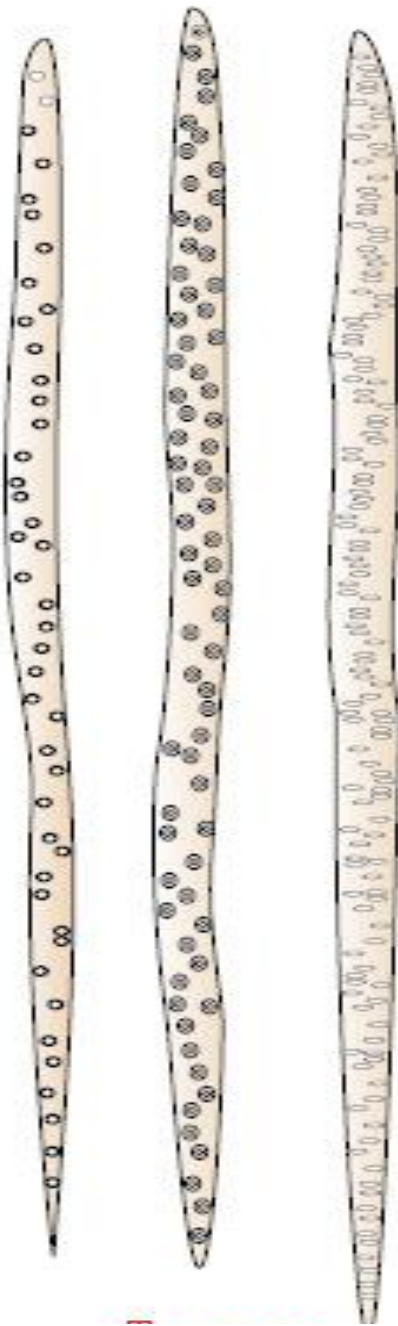


Рис. 4. Трахеиды

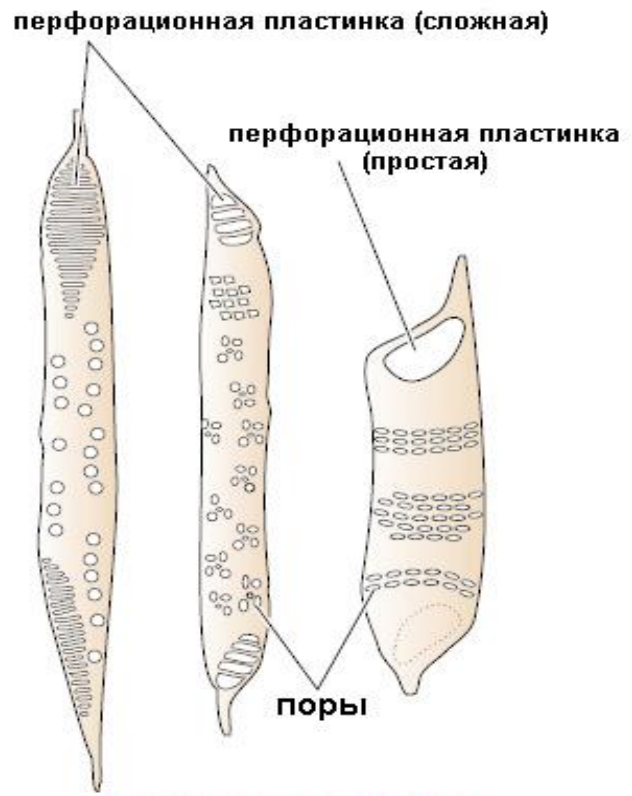


Рис. 5. Сосудистые элементы

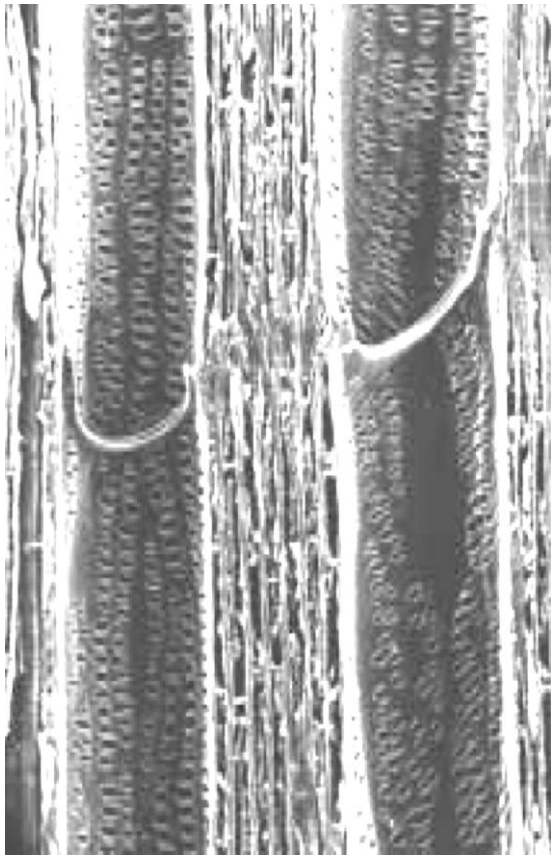


Рис. 6.
В зрелом состоянии элементы сосудов мертвые клетки, лишенные плазматической мембраны, стенки которых подверглись вторичному утолщению и сильной лигнификации; торцевые участки стенок в основном исчезают (в более молодых сосудах имеют небольшие отверстия) из последовательно расположенных элементов образуется очень длинная непрерывная трубка

Вода из клеток листа и непосредственно из сосудов ксилемы поступает во флоэмные окончания по осмотическому градиенту, возникающему вследствие накопления в клетках флоэмы сахаров и других органических соединений, которые образуются в клетках листьев и переносятся в клетки флоэмы в результате активной работы транспортных насосов. Нисходящий флоэмный ток доставляет органические соединения тканям корня, где они используются в метаболизме. В корне окончания проводящих пучков флоэмы, как и в листе, располагаются вблизи элементов ксилемы, и вода по осмотическому градиенту поступает в ксилему и движется вверх с восходящим током (рис. 6). Таким образом, происходит обмен воды в проводящей системе корня и листьев.

Транспирация: ее формы и физиологическое значение

Транспирация – это физиологический процесс испарения воды растением. Основным органом транспирации является лист. Вода испаряется с поверхности листьев через клеточные стенки эпидермальных клеток и покровные слои (кутикулярная транспирация) и через устьица (устьичная транспирация).

Эпидермис листьев растений – первичная поверхностная однослойная ткань – выполняет важную роль в осуществлении процессов водо- и газообмена. Клетки эпидермиса покрыты на поверхности кутикулой, часто восковым налетом, живыми или отмершими волосками (исполняют роль экрана, отражающего часть солнечных лучей). Эпидермис защищает внутренние ткани растений от иссушения, механических повреждений, проникновения инфекции, через систему устьиц регулирует газообмен и транспирацию растения.

В результате потери воды в ходе транспирации в клетках листьев возрастает сосущая сила. Это приводит к усилению поглощения клетками листа воды из сосудов ксилемы и передвижению воды по ксилеме из корней в листья. Таким образом, верхний концевой двигатель, участвующий в транспорте воды вверх по растению, обусловлен транспирацией листьев. Верхний концевой двигатель может работать при полном отключении нижнего концевого двигателя, причем для его работы используется не только метаболическая энергия, как в корне, но и энергия внешней среды (температура и движение воздуха).

Транспирация спасает растение от перегрева. Температура сильно транспирирующего листа может примерно на 7°C быть ниже температуры нетранспирирующего завядшего листа. Кроме того, транспирация участвует в создании непрерывного тока воды с растворенными минеральными и органическими соединениями из корневой системы к надземным органам растения.

Величина транспирации зависит от числа устьиц, их размещения, степени открытости, строения эпидермиса, степени развития проводящей системы, величины осмотического давления клеточного сока, насыщенности протоплазмы водой, а также от интенсивности освещения, температуры, влажности воздуха, силы ветра и от содержания в почве азота и др. элементов питания.

Количественные показатели транспирации

Интенсивность транспирации – это количество, г, воды, испаряемой растением в единицу времени (ч) с единицы поверхности (дм²). Эта величина колеблется от 0,15 до 1,5. Иногда расчёт ведут на 1 г сухой или сырой массы в 1 час. При определении абсолютной величины транспирации рассчитывают площадь листовой

поверхности растений на 1 м² площади, учитывая и площадь поверхности листа. Отношение количества воды, испаряемой с единицы поверхности, к единице свободной поверхности воды называется относительной транспирацией; в оптимальных условиях водоснабжения она равна 0,7–0,85. При определении продукционных характеристик рассчитывают количество воды, израсходованной растением за весь вегетационный период, и относят его к сухой массе всего растения.

Транспирационный коэффициент – это количество воды (г), расходуемой растением на образование 1 г сухого вещества. Этот параметр зависит от климатических и почвенных условий и от вида растений (например у просовидных злаков он относительно низок). Транспирационный коэффициент разных растений варьируется от 200 до 1000 и более. Зная его величину, можно приблизительно вычислять поливные нормы для орошаемых культур в разных почвенно-климатических условиях и рационализировать приёмы орошения. Транспирационный коэффициент уменьшается с улучшением условий питания, увлажнения, с повышением плодородия почвы и уровня агротехники. Величину, обратную транспирационному коэффициенту, называют продуктивностью транспирации.

Продуктивность транспирации – количество, г, сухого вещества, накопленного растением за период, когда оно испаряет 1 кг воды.

Относительная транспирация – это отношение воды, испаряемой листом, к воде, испаряемой со свободной водной поверхности той же площади за один и тот же период времени.

Экономичность транспирации – это количество (мг) испаряемой воды на 1 кг воды, содержащейся в растении.

У растений одного вида в сходных условиях количество испаряемой воды тем выше, чем больше листовая поверхность. Так, с 1 га посева пшеницы выделяется около 2 тыс. т воды, 3,2 тыс. т кукурузы, 8 тыс. т капусты.

Основными методами определения интенсивности транспирации отдельных листьев и небольших растений являются **весовой** и **потометрический**. Для определения транспирационных характеристик ценозов применяют методы локального определения количества испаряемой влаги участком кроны или посева и последующую экстраполяцию.

Кутикулярная транспирация. Снаружи листья имеют однослойный эпидермис, внешние стенки клеток которого покрыты кутикулой и воском, образующими эффективный барьер на пути движения воды. Кутикула состоит из кутина – бесструктурного образования, лишённого корпускулярных и фибриллярных элементов; устойчива к химическим воздействиям. Она отсутствует на погруженных в воду органах водных растений, слабо развита у растений, обитающих в тени и на сырой почве, а особенно хорошо – у растений, нуждающихся в ограничении транспирации. Гладкая и блестящая кутикула листьев тропических растений отражает часть солнечных лучей и служит защитой от чрезмерной инсоляции. У большинства ксерофитов в кутикулярном слое откладываются бледно-жёлтые пигменты, обеспечивающие непроницаемость клеточной стенки для ультрафиолетовых лучей (рис. 7).

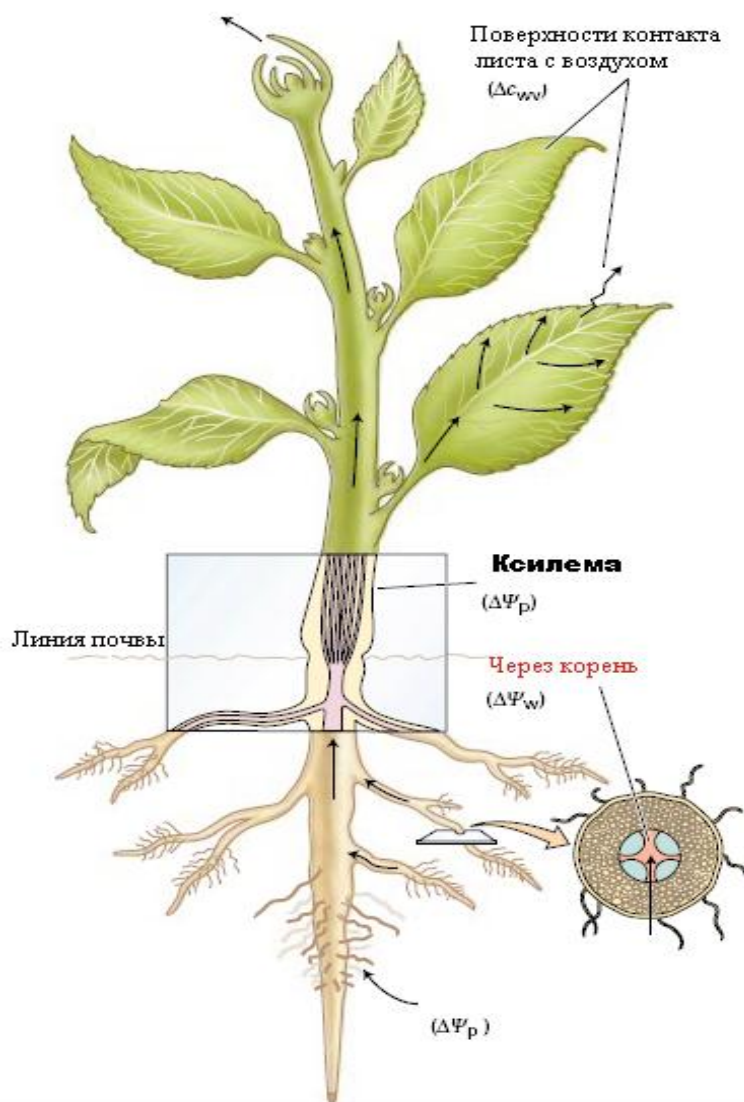


Рис. 7. Кутикулярная транспирация

Основные движущие силы водного потока от почвы через растение в атмосферу

- ✓ градиент концентрации водяных паров между листом и воздухом
- ✓ градиент давления вдоль ксилемы
- ✓ градиент водного потенциала поперек корня
- ✓ градиент давления в почве.

Интенсивность кутикулярной транспирации варьируется у разных видов растений. У молодых листьев с тонкой кутикулой она может составлять около половины всей транспирации. У зрелых листьев с более мощной кутикулой кутикулярная транспирация равна 1/10 общей транспирации. В стареющих листьях из-за повреждения кутикулы она может возрастать.

Таким образом, кутикулярная транспирация регулируется главным образом толщиной и целостностью кутикулы и других защитных покровных слоев на поверхности листьев.

Устьичная транспирация (рис. 8) и механизм ее регулирования.

Устьица представляют собой щель в подустьичную полость, окаймленную двумя замыкающими клетками серповидной формы. Стенки замыкающих клеток, обращенные к щели, образуют утолщения. Противоположные стенки тонкие. Устьичная щель ведёт в обширный межклетник – подустьичную полость. Устьице нередко бывает окружено двумя или несколькими прилегающими клетками, отличающимися по форме от основной массы клеток эпидермиса. В основе устьичных движений лежит обратимое изменение тургора замыкающих клеток. Тонкие участки их стенок с повышением тургора растягиваются и вытягиваются в направлении от устьичной щели. В этом же направлении выгибаются и стенки, обращенные к щели. Ширина щели увеличивается – и устьице открывается. С понижением тургора замыкающих клеток устьице закрывается. Устьица играют важную роль в газообмене между листом и атмосферой, так как являются основным путем для водяного пара, углекислого газа и кислорода. Устьица находятся на обеих сторонах листа. Есть виды растений, у которых устьица располагаются только на нижней стороне листа. В среднем число устьиц колеблется от 50 до 500 на 1 мм². Транспирация через устьица идет почти с такой же скоростью, как и с поверхности чистой воды. Это объясняется законом И. Стефана: через малые отверстия скорость диффузии газов пропорциональна не площади отверстия, а диаметру или длине окружности. Поэтому хотя площадь устьичных отверстий мала по сравнению с площадью всего листа (0,5–2%), испарение воды через устьица идет очень интенсивно.

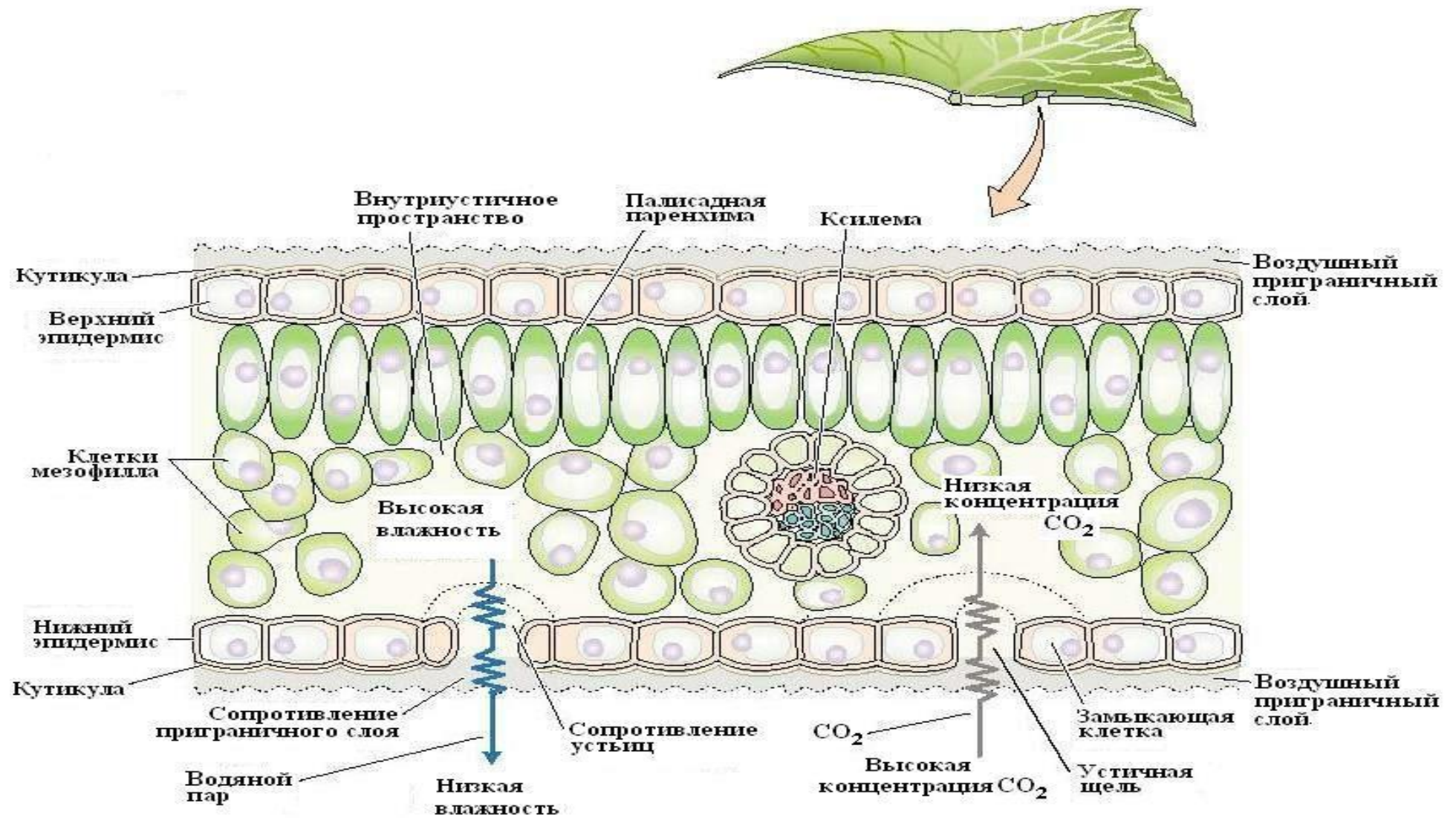


Рис. 8. Устьичная транспирация.

Транспирация складывается из двух процессов: 1) передвижение воды в листе из сосудов ксилемы по симпласту и преимущественно по клеточным стенкам, так как в стенках транспорт воды встречает меньшее сопротивление; 2) испарение воды из клеточных стенок в межклетники и подустьичные полости с последующей диффузией в окружающую атмосферу через устьичные щели. Чем меньше относительная влажность атмосферного воздуха, тем ниже его водный потенциал. Если водный потенциал воздуха меньше водного потенциала подустьичных полостей, то молекулы воды испаряются наружу.

Основным фактором, влияющим на открывание и закрывание устьиц, является содержание воды в листе, в том числе и в замыкающих клетках устьиц. Высокая оводненность замыкающих клеток приводит к открыванию устьиц. При недостатке воды замыкающие клетки выпрямляются – и устьичная щель закрывается. Кроме того, по мере увеличения водного дефицита в тканях растения повышается концентрация ингибитора роста абсцизовой кислоты. Она подавляет деятельность H^+ – насосов в плазмалемме замыкающих клеток, которые участвуют в H^+/K^+ обмене, вследствие чего снижается их тургор и устьица закрываются. Абсцизовая кислота также ингибирует синтез фермента α -амилазы, что приводит к снижению гидролиза крахмала, поэтому сосущая сила замыкающих клеток уменьшается – и устьица закрываются.

Так как замыкающие клетки устьиц содержат хлоропласты, синтез углеводов в процессе фотосинтеза в замыкающих клетках увеличивает их сосущую силу и вызывает поглощение воды, способствуя этим открыванию устьиц. При снижении концентрации CO_2 в подустьичной полости ниже 0,03%, тургор замыкающих клеток увеличивается – и устьица открываются. Повышение концентрации CO_2 в воздухе вызывает закрытие устьиц. Это происходит в межклетниках листа ночью, когда в условиях отсутствия фотосинтеза и продолжающегося дыхания уровень углекислого газа в тканях повышается.

Становится ясно, почему ночью устьица закрыты и открываются с восходом солнца. Сдвиг pH в щелочную сторону вследствие уменьшения концентрации CO_2 увеличивает активность ферментов, участвующих в распаде крахмала, тогда как при кислом pH при повышении содержания CO_2 в межклетниках повышается активность ферментов, катализирующих синтез крахмала.

На свету замыкающие клетки устьиц содержат значительно больше калия, чем в темноте. При открывании устьиц содержание калия в замыкающих клетках увеличивается в 4 раза (при одновременном снижении его содержания в сопутствующих клетках). Установлено повышение содержания АТФ в замыкающих клетках устьиц в процессе их открывания. АТФ, образованная в процессе фотосинтетического фосфорилирования в замыкающих клетках, используется для усиления поступления калия. Усиленное поступление ионов калия повышает сосущую силу замыкающих клеток. В темноте ионы калия выделяются из замыкающих клеток, устьица закрываются.

Периодичность суточного хода транспирации наблюдается у многих растений, но у разных видов растений устьица функционируют неодинаково. У деревьев, теневыносливых растений, многих злаков и других гидростабильных видов с совершенной регуляцией устьичной транспирации испарение воды начинается на рассвете, достигает максимума в утренние часы.

В полдень транспирация снижается и вновь увеличивается в предвечерние часы при снижении температуры воздуха. Такой ход транспирации приводит к незначительным суточным изменениям осмотического давления и содержания воды в листьях. У видов растений, способных переносить резкие изменения содержания воды в клетках в течение дня, то есть у гидролабильных видов, наблюдается одновершинный суточный ход транспирации с максимумом в полуденные часы. В обоих случаях ночью транспирация минимальна или полностью прекращается.

Ночью у большинства растений устьица закрыты и газообмен и транспирация минимальны. В светлый период суток при благоприятных погодных условиях устьичные щели находятся в открытом состоянии. Через открытые устьица углекислый газ легко проникает во внутренние ткани растения, а кислород, образовавшийся в процессе фотосинтеза, а также пары воды выделяются в атмосферу.

Физиология устьичных движений

✓ устьица открываются, когда в замыкающие клетки поступает H_2O – приводит к увеличению тургорного давления в этих клетках и изменению их формы;

✓ когда H_2O из замыкающихся клеток уходит – тургорное давление в них уменьшается – форма клеток изменяется – и устьица закрываются;

Несколько механизмов:

- ✓ осмотический
- ✓ гидродинамический
- ✓ фотосинтетический.

Осмотический механизм устьичных движений – состояние устьиц на протяжении суток меняется (Рис. 9.):

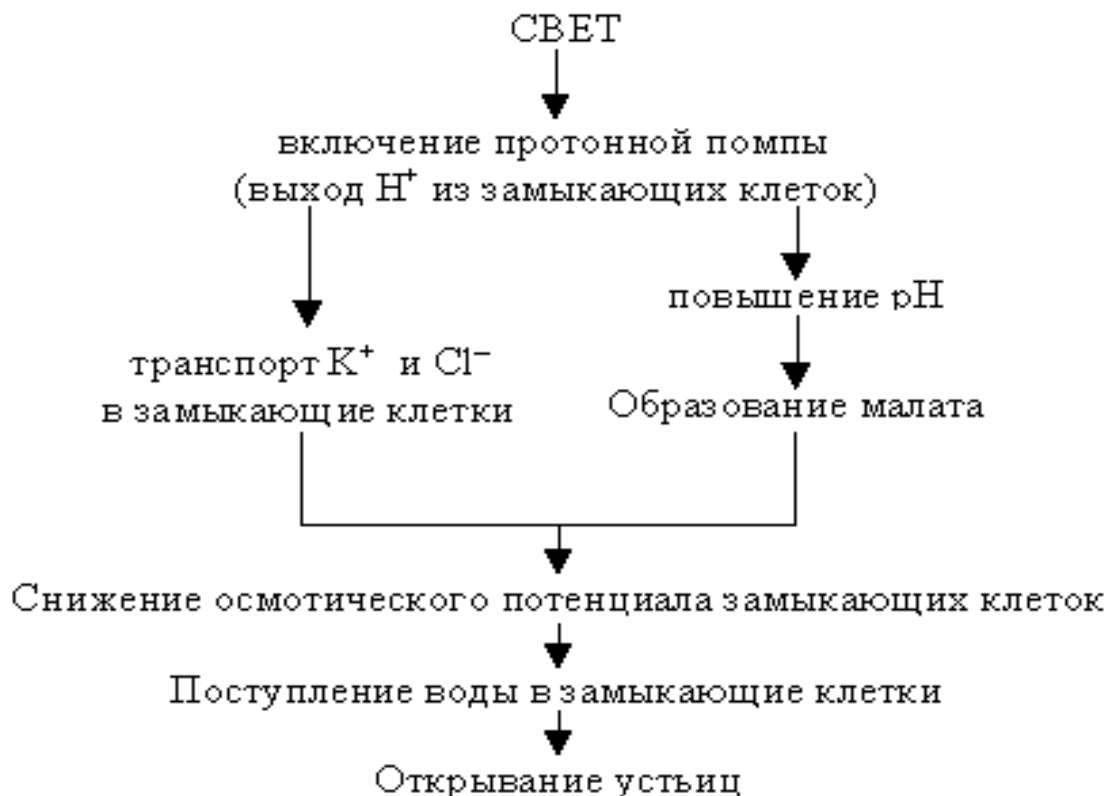


Рис. 9. Схема открывания устьиц с участием осмотического механизма

Больше всего тургор зависит от поступления K^+ .

При поступлении K^+ в замыкающие клетки в них уменьшается водный потенциал и H_2O поступает в клетки.

При выходе ионов K^+ происходит увеличение водного потенциала в замыкающих клетках, и H_2O выделяется в свободное пространство клетки.

Резервуаром K^+ служат примыкающие клетки эпидермы.

Для того чтобы при поступлении ионов K^+ в замыкающие клетки не изменялся мембранный потенциал, одновременно в эти клетки входят ионы Cl^- или выходят ионы H^+ .

Около 40% ионов K^+ входят в замыкающие клетки вместе с анионами Cl^- .

Источник H^+ – органические кислоты, находящиеся в вакуолярном соке.

Выход H^+ приводит к подщелачиванию среды в замыкающих клетках, что вызывает гидролиз крахмала:

Крахмал + H_2O глюкозо–1–фосфат

катализируется *крахмал-фосфоорилазой* (широко распространена в листьях, чувствительна к концентрации H^+). Поэтому поступление ионов K^+ в замыкающие клетки часто сопровождается распадом крахмала, а их выход – синтезом. Реакция обратима.

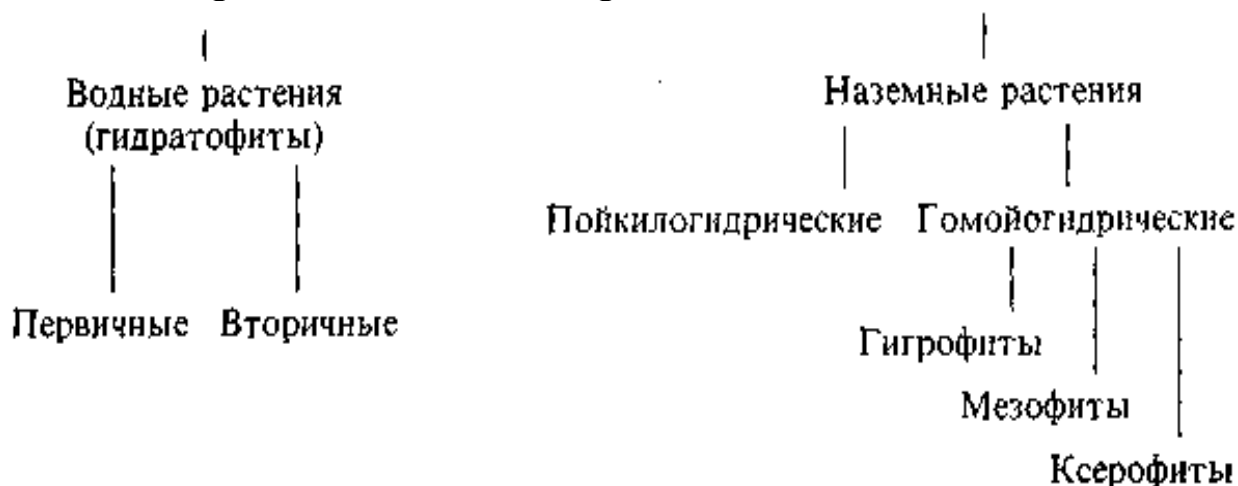
Когда образуется глюкозо–1–фосфат (осмотически активное вещество), водный потенциал уменьшается в замыкающих клетках и происходит поступление воды – устьица открываются.

Реакция превращения крахмала известна давно, а ее связь с движением устьиц получила название *осмотического механизма движения устьиц*.

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП

Гидрофиты (гидратофиты) – растения, обитающие в воде. Они погружены в воду полностью или частично, регулируют постоянство состава внутренней среды с помощью механизмов защиты от избыточного поступления воды. У монадных форм зеленых водорослей, заселяющих в основном пресные воды, клеточные стенки замкнуты не полностью (из-за наличия выростов цитоплазмы – жгутиков, с помощью которых они передвигаются). У всех монадных форм имеются пульсирующие вакуоли, посредством которых из клеток удаляются избыток воды и отходы жизнедеятельности. У гидрофитов с замкнутой клеточной стенкой ее противодействия достаточно для предотвращения поступления излишков воды в клетку. Первичными гидрофитами являются водоросли. Водные цветковые растения – это вторичные гидрофиты, происходящие от наземных форм.

По способности приспособлять водный обмен к колебаниям водоснабжения различают две группы наземных растений: *пойкилогидрические* и *гомойгидрические*.



Пойкилогидрические организмы (бактерии, синезеленые водоросли, низшие зеленые водоросли, грибы, лишайники и др.) приспособились переносить значительный недостаток воды без потери жизнеспособности. При этом у них снижается интенсивность обмена веществ, клетки равномерно сжимаются. Протопласт их клеток при сильном обезвоживании переходит в состояние геля. Увеличение количества воды в среде приводит к возобновлению активного метаболизма в клетках. По характеру изменения таких показателей водного режима, как интенсивность транспирации,

осмотическое давление, содержание воды, в течение суток они относятся к гидролабильным растениям, так как у них значительно изменяются содержание воды и испарение.

Гомойгидрические растения (наземные папоротникообразные, голосеменные, цветковые) составляют большинство обитателей суши. Они обладают механизмами регуляции устьичной транспирации, а также корневой системой, обеспечивающей доставку воды. Поэтому даже при значительных изменениях влажности среды у этих растений не наблюдается резких колебаний содержания воды в клетках, в которых, как правило, развита вакуолярная система. Их клетки не способны к обратимому высыханию. У этих растений – гидростабильный тип водного режима. Стабилизации водного режима у многих видов растений способствуют запасы воды в корнях, стеблях и запасующих органах. Гомойгидрические растения делятся на три экологические группы:

гигрофиты (тонколистные папоротники, некоторые фиалки и другие), произрастающие в условиях повышенной влажности и недостаточной освещенности. Теневыносливые гигрофиты с почти всегда открытыми устьицами имеют гидатоды, через которые выделяют избыток воды в капельножидком состоянии. Гигрофиты плохо переносят почвенную и воздушную засуху;

мезофиты (лиственные деревья, лесные и луговые травы, большинство культурных растений), которые обитают в среде со средним уровнем обеспеченности водой и не имеют ясно выраженных приспособлений к избытку или недостатку воды;

ксерофиты, живущие в местах с жарким и сухим климатом и приспособленные к атмосферной и почвенной засухе. Ксерофиты делят на четыре группы.

Первые – избегающие засухи (**эфемеры** и **эфемероиды**). Эти растения обладают коротким вегетационным периодом, приурочивая весь жизненный цикл к периоду дождей; засуху они переносят в форме семян. Эфемеры – это однолетники, срок жизни которых (от всходов до вызревания семян) сокращен до продолжительности влажного сезона в пустыне. Они очень быстро развиваются с началом дождей, быстро отцветают и завязывают плоды. С наступлением засухи они полностью отмирают, оставляя для воспроизводства жаростойкие семена. Некоторые виды эфемеров сократили продолжительность своего жизненного цикла до полутора месяцев. Среди эфемеров преобладают мезофиты.

Эфемероиды – многолетние растения. Подобно эфемерам, они развиваются только во влажный сезон года. Однако с наступлением сухого сезона они, в отличие от эфемеров, отмирают не полностью, а лишь сбрасывают фотосинтезирующие органы (листья или безлистные однолетние побеги).

Многолетние органы являются одновременно и запасующими органами эфемероидов, накапливающими воду и питательные вещества. Во внетропических пустынях с морозными зимами это, как правило, подземные органы: клубни, луковицы, корневища. В тропических пустынях многолетние органы могут быть и надземными, в том числе луковицы, каудексы и древесные стволы (например хоризии, баобабы и др.). Но во всех случаях отмирают ассимилирующие органы, листья или заменяющие их молодые зеленые побеги.

Вторая группа – растения, запасующие влагу (**ложные ксерофиты**).

К этой группе растений относятся суккуленты (кактусы и растения семейства толстянковых). Эти растения живут в районах, где засушливые периоды сменяются периодами дождей. Они имеют толстые и мясистые стебли. Листья часто редуцированы, вся поверхность растений покрыта толстым слоем кутикулы, что существенно снижает их транспирацию. Суккуленты обладают неглубокой, но широко распространяющейся корневой системой.

Клетки корня характеризуются сравнительно низкой концентрацией клеточного сока. Вода, запасаемая в мясистых органах, тратится очень медленно. Суккуленты обладают своеобразным обменом веществ. Днем их устьица закрыты, а ночью открываются, что обеспечивает снижение расходования воды в процессе транспирации. Для суккулентов характерен САМ-тип фотосинтеза. Углекислый газ поступает через устьица ночью и усваивается с образованием органических кислот. В дневные часы углекислый газ вновь освобождается и используется в процессе фотосинтеза. Поэтому эти растения фотосинтезируют при устьицах, закрытых днем. Растения этой группы не устойчивы к длительному водному стрессу.

Третья группа – **гемиксерофиты**, или **полуксерофиты**. Это растения, у которых сильно развиты приспособления к добыче воды. У них глубоко идущая, сильно разветвленная корневая система. Клетки корня обладают высокой концентрацией клеточного сока и

очень отрицательным водным потенциалом. Растения этой группы обладают хорошо развитой проводящей системой. Листья у них тонкие, с очень густой сетью жилок, что сокращает путь передвижения воды к клеткам листьев. Даже в очень жаркие дни они держат устьица открытыми. Благодаря высокой интенсивности транспирации температура листьев значительно понижается, что позволяет осуществлять фотосинтез при высокой температуре воздуха. Листья некоторых растений покрыты волосками, которые создают «экран», дополнительно защищающий листья от перегрева.

Четвертая группа – эуксерофиты, или настоящие ксерофиты. Это растения, обладающие способностью резко сокращать транспирацию в условиях недостатка воды. Они имеют приспособления к сокращению потерь воды (подземные органы). Иногда и стебли покрыты толстым слоем пробки, листья – толстым слоем кутикулы. Многие имеют волоски. Устьица расположены в углублениях, устьичные щели закупорены восковыми и смолистыми пробочками, листья свернуты в трубочку, где создается свой микроклимат и уменьшается контакт устьичных щелей с атмосферой. Для растений этой группы характерна способность переносить обезвоживание и состояние длительного завядания. Особенно хорошо переносят потерю воды растения с жесткими листьями (склерофиты), которые и в состоянии тургора имеют сравнительно мало воды. Эти растения характеризуются большим развитием механических тканей и распространяют свои корни в глубине почвы, там, где в течение всего года сохраняется хотя бы минимальное количество доступной им влаги.

РОЛЬ РАСТЕНИЙ В КРУГОВОРОТЕ ВОДЫ В БИОСФЕРЕ

Воды планеты, нагреваемые солнцем, испаряются. Выпадающая живительным дождем влага возвращается обратно в океан в качестве речных вод или очищенных фильтрацией грунтовых вод, перенося огромное количество неорганических и органических соединений. Живые организмы активно участвуют в круговороте воды, являющемся необходимым компонентом процессов метаболизма. На суше большая часть воды испаряется растениями, уменьшая водосток и препятствуя эрозии почвы. Поэтому при вырубке лесов поверхностный сток увеличивается сразу в несколько раз и вызывает интенсивный размыв почвенного покрова. Лес замедляет таяние снега – и талая вода, постепенно стекая, хорошо увлажняет поля. Уровень грунтовых вод повышается, а весенние наводнения редко бывают разрушительными.

Влажные тропические леса смягчают жаркий экваториальный климат, задерживая и постепенно испаряя воду (это явление называют транспирацией). Вырубка тропических лесов вызывает в близлежащих районах катастрофические засухи. Хищническое уничтожение лесов способно превратить в пустыни целые страны, как это уже случилось в Северной Африке. Круговорот воды, регулируемый растительностью, – важнейшее условие поддержания жизни на Земле.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ, И ЕЕ ПОСТУПЛЕНИЕ В РАСТЕНИЕ

1. Структура, свойства и роль воды в жизнедеятельности растений.

2. Термодинамические основы водообмена растений: активность воды, химический потенциал воды, водный потенциал, матричный потенциал, осмотический потенциал, гидростатический (потенциал давления).

Структура воды (рис. 11)

✓ атом **О** обладает сильной электроотрицательностью и стремится оттянуть электроны от атомов **Н**: на атоме **О** – частично отрицательный заряд (-), 2 атома **Н** приобретают частично положительный заряд (+);

✓ несущие положительный заряд атомы **Н** испытывают электростатическое притяжение со стороны отрицательно заряженных атомов **О** соседних молекул **H₂O**;

1. малые размеры молекул;

2. полярность молекул – неравномерное распределение зарядов в молекуле: один конец молекулы несет небольшой положительный заряд, а другой – отрицательный: молекула **H₂O** – диполь (полярная молекула) (рис. 11);

3. способность молекул соединяться друг с другом водородными связями (энергия около 4,8 ккал/моль) (рис. 12);

4. большая упорядоченность молекул в водных растворах.

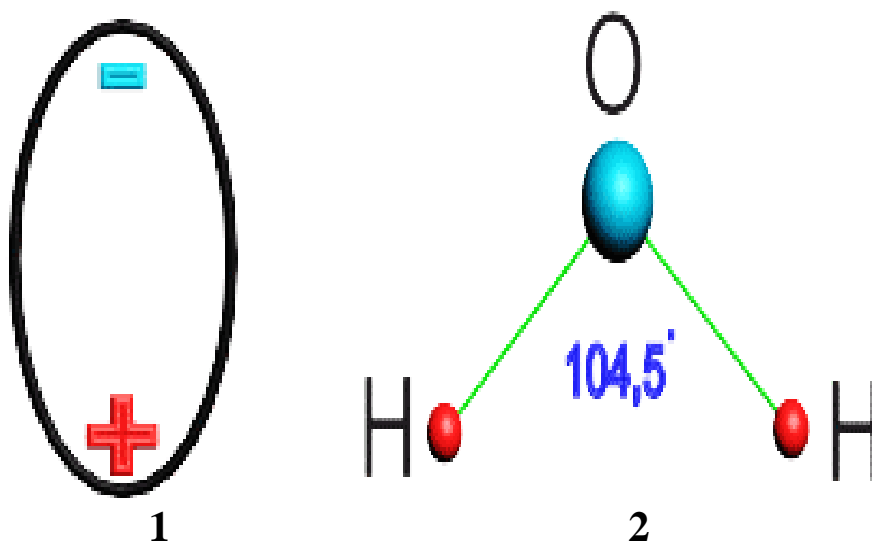


Рис. 11. Структура воды: 1 – диполь

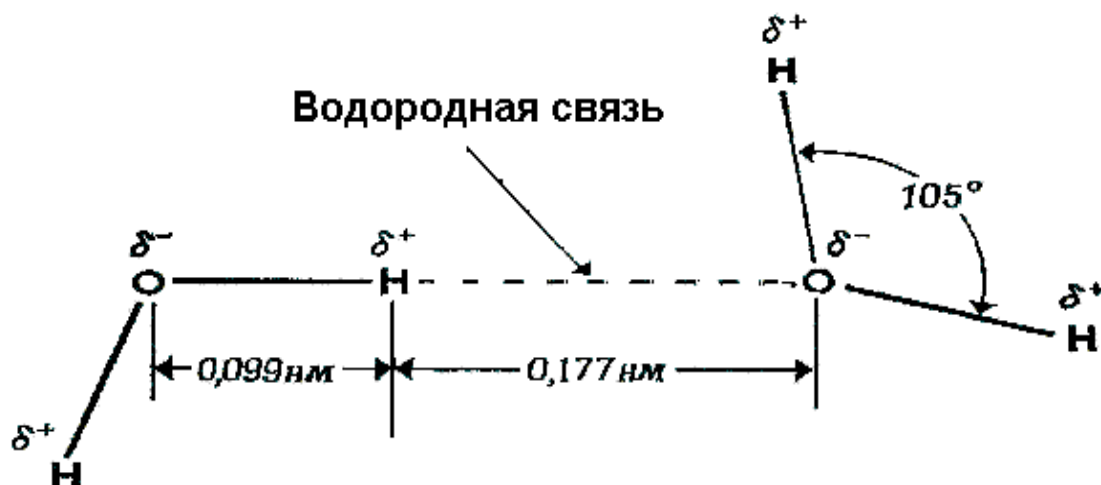


Рис. 12. Водородная связь
между двумя полярными молекулами воды:
 $\delta+$ – частично положительный заряд;
 $\delta-$ – частично отрицательный заряд

Физико-химические свойства воды:

1. Большая теплоемкость

Удельная теплоемкость H_2O – количество теплоты, необходимое для того, чтобы поднять температуру 1 кг воды на 1°C .

Большая теплоемкость H_2O – существенное увеличение тепловой энергии вызывает сравнительно небольшое повышение ее температуры (значительная часть энергии расходуется на разрыв водородных связей, ограничивающих подвижность молекул воды);

сводит к минимуму происходящие в H_2O температурные изменения;

биохимические процессы протекают в меньшем интервале температур, с более постоянной скоростью и опасность нарушения этих процессов от резких отклонений температур не столь сильна;

важно, поскольку H_2O для многих клеток и организмов – среда обитания (необходимо сохранение постоянства условий произрастания).

2. Способность к испарению

Испарение требует довольно *значительных количеств энергии* (объясняется наличием водородных связей) – $t_{\text{кип.}} \text{H}_2\text{O}$ – вещества со столь малыми молекулами – необычайно высока.

Энергия, необходимая молекулам воды для испарения черпается из их окружения - испарение сопровождается охлаждением. Потери

тепла при испарении воды – один из основных приемов регуляции температуры у наземных растений;

при 0°C и ниже H_2O переходит в твердое состояние – образуется лед (выделяется значительное количество энергии). Это уменьшает вероятность замерзания содержащей клетками жидкости. С другой стороны, для плавления (таяния) льда необходимо сравнительно большое количество энергии.

Кристаллики льда весьма пагубны для живых систем, если они образуются внутри клетки.

3. Плотность

от $+4$ до 0°C снижается – лед легче воды и в воде не тонет.

Вода – единственное вещество, обладающее в жидком состоянии большей плотностью, чем в твердом;

лед плавает в воде – образуется сначала на поверхности H_2O и лишь под конец в придонных слоях. **Если бы замерзание шло в обратном порядке, то жизнь в пресноводных водоемах вообще не могла бы существовать.**

4. Диэлектрическая проницаемость (Д) необычайно высокая – является следствием молекулярной структуры;

Высокая Д воды делает электрические силы между растворенными в ней заряженными веществами относительно слабыми.

$D_{\text{H}_2\text{O}} = 80,2$ (20°C) и $78,4$ (25°C).

Для неполярной жидкости – гексана – $D = 1,87$.

Электрическое притяжение для таких ионов, как Na^+ и Cl^- , в гексане больше ($80,2/1,7$) в 43 раза, чем в H_2O .

Значительно более сильное притяжение в гексане, чем в H_2O , уменьшает степень ионизации NaCl по сравнению с диссоциацией этой соли в водном растворе, т. е. **вода является хорошим растворителем для заряженных частиц.**

5. Поверхностное натяжение – результат действующих между молекулами сил на поверхности раздела фаз. Из всех жидкостей у H_2O – самое большое поверхностное натяжение.

Когезия – притяжение между молекулами воды, наблюдаемое в жидкой фазе.

Адгезия – притяжение между жидкой водой и твердой фазой (стенками тонкой трубочки или капилляра).

Когда **взаимодействие вода – стенка** оказывается **значительным**, говорят, что **стенки смачиваются**.

Межмолекулярные когезионные силы внутри жидкости значительно **больше**, чем **адгезия** между жидкостью и материалом стенки – **верхний уровень жидкости** в капилляре оказывается **ниже уровня поверхности** свободного раствора (такое понижение уровня характерно для **жидкой ртути** в стеклянном капилляре).

В случае H_2O в стеклянных капиллярах или **в сосудах ксилемы притяжение между молекулами воды и стенками велико** и поэтому **жидкость поднимается**.

Физиологическое значение свободной и связанной H_2O :

✓ **интенсивность физиологических процессов** зависит в первую очередь от содержания **свободной воды**;

✓ наблюдается **положительная корреляция** между содержанием **связанной воды** и **устойчивостью клеток к неблагоприятным факторам**.

Термодинамические основы водообмена растений:

✓ **активность воды**

✓ **химический потенциал воды**

✓ **водный потенциал**

✓ **матричный потенциал**

✓ **осмотический потенциал**

✓ **гидростатический (потенциал давления)**.

Механизмы поступления H_2O в растительную клетку:

1. **Осмотический механизм** – поступление за счет осмоса, где главную роль играет вакуоль

2. **Коллоидно-химический механизм (набухание)** – поглощение воды биокolloидами протоплазмы и структурными элементами клеточной оболочки

3. **Электроосмотический механизм** – поступление за счет электроосмоса, обусловленного РП на мембране.

Осмотический механизм

Осмотическая система – система, которая содержит растворы разных концентраций (или раствор и растворенное вещество), разделенные мембраной.

Осмотическая ячейка – пространство, окруженное избирательно проницаемой мембраной и заполненное каким-либо водным раствором.

Клетка представляет собой **осмотическую систему**:

более концентрированный раствор – клеточный (вакуолярный) сок, менее концентрированный – раствор в свободном пространстве клеточной стенки, роль полупроницаемой мембраны, разделяющей эти пространства, играют плазмалемма, тонопласт и расположенная между ними цитоплазма.

Любая органелла цитоплазмы, окруженная мембраной, – **осмотическая ячейка**

Осмоз – односторонняя диффузия молекул воды или другого растворителя через избирательно проницаемую мембрану;

концентрация растворенных веществ в вакуоли служит мерой максимальной способности клетки поглощать воду.

Диффузия воды через избирательно проницаемую мембрану называется осмосом; концентрация растворенных веществ в вакуоли служит мерой максимальной способности клетки поглощать воду.

Изучение растительной клетки как осмотически регулируемой системы началось давно. Около 180 лет назад (1826 г.) французский ботаник **Р. Дютроше** изучал осмос в клетке с помощью очень простого устройства: к кончику стеклянной трубки он прикрепил мешочек из пергамента, заполнил его раствором соли или сахара, и опустил в стакан с водой; при этом наблюдалось движение воды внутрь мешочка и небольшое ее поднятие по трубке. Эта простейшая модель клетки была названа осмометром **Дютроше**. Но выход сахара из мешочка не позволял определить осмотическое давление.

В 1877 г. немецкий ботаник **В. Пфедфер** создал более совершенную модель растительной клетки (рис. 13).

Пористый фарфоровый сосуд -
 роль клеточной стенки
 $\text{CuSO}_4 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] = \text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ – ферроцианид меди –
 роль полупроницаемой мембраны

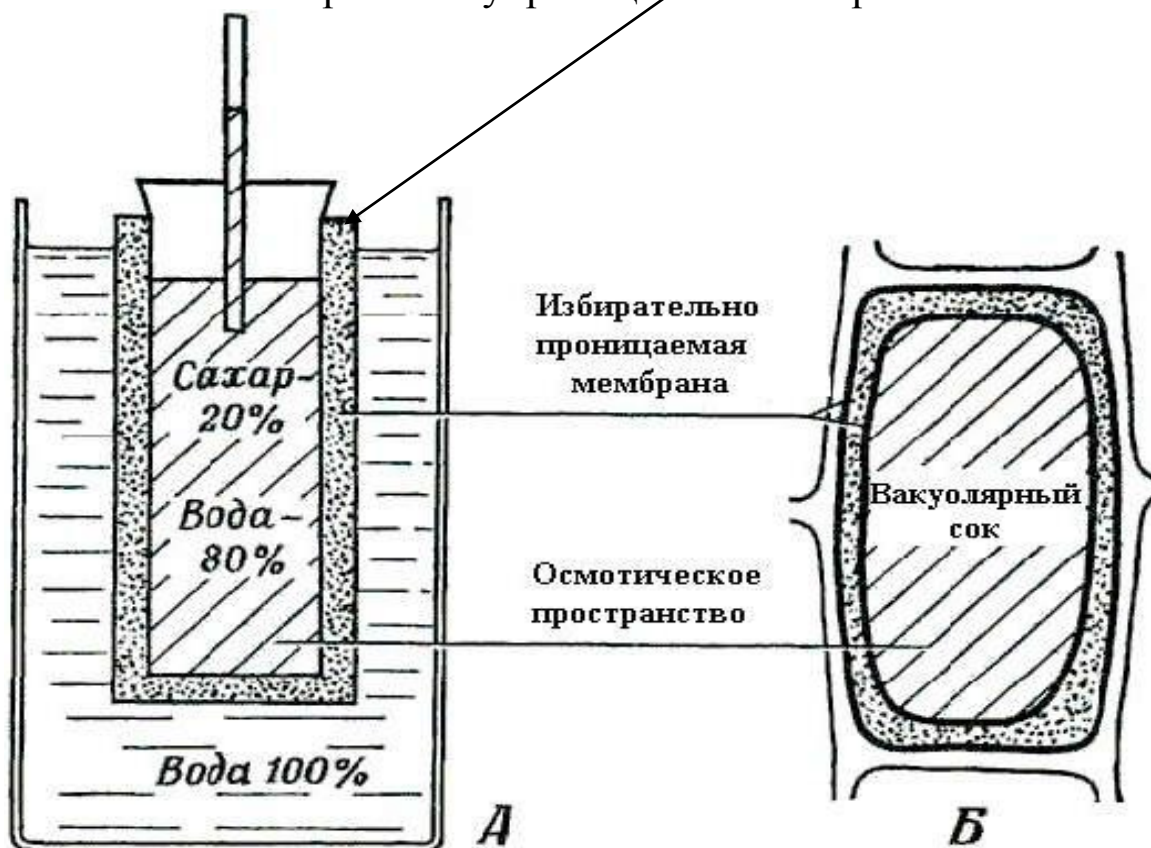


Рис. 13. Осмотическая ячейка: А – осмометр Пфеффера;
 Б – растительная клетка

Для расчета осмотического давления используют формулу, предложенную Я. Вант-Гоффом:

$$\pi = iCRT$$

С – концентрация раствора в молях;

Т – абсолютная температура;

R – газовая постоянная;

i – изотонический коэффициент, равный $1 + (n - 1) \alpha$ – степень ионизации,

n – количество ионов, на которое диссоциирует молекула электролита.

Выражение справедливо для разбавленных растворов и означает, что осмотическое давление при постоянной температуре определяется концентрацией частиц (молекул, ионов) растворимого вещества (количеством в единице объема раствора).

Потенциальное осмотическое давление отражает максимально возможное давление, которое имеет раствор данной концентрации, или **максимальную способность раствора в ячейке поглощать воду**.

Работы В. Пфелфера:

поступление воды в клетку начали объяснять **разностью осмотических давлений** клеточного (вакуолярного) сока и наружного раствора.

Клетка находится в **гипотоническом растворе** или в **H₂O** (раствор, имеющий большее осмотическое давление) – **H₂O** входит в клетку (**эндоосмос**).

Клетка находится в **гипертоническом растворе** (раствор, имеющий меньшее осмотическое давление) – **H₂O** выходит из клетки (**экзоосмос**);

протопласт вслед за сжимающейся вакуолью отстает от клеточной оболочки- наблюдается **плазмолиз** при одинаковых осмотических давлениях растворов в клетке и снаружи (**изотонический = изоосмотический = раствор**) количество **H₂O** в клетке не меняется (между ними осмос не наблюдается).

А. Уршпрунг и Г. Блюм: поступление воды в клетку зависит от сосущей силы (S):

сила, с которой вода поступает в вакуоль $S = \pi - T$,

основное выражение при определении величины поступления **H₂O** в клетку за счет осмотических сил;

в клетку может поступать вода только в том случае, если осмотическое давление превышает тургорное;

при погружении клеток в чистую H₂O, в состоянии насыщения клетка полностью насыщена водой – тургорное давление достигает максимального значения (тургесцентна): $T = \pi$, $S = 0$;

при длительном недостатке влаги, в состоянии завядания или плазмолиза большинство клеток теряет тургор: $T=0$, $S = \pi$;

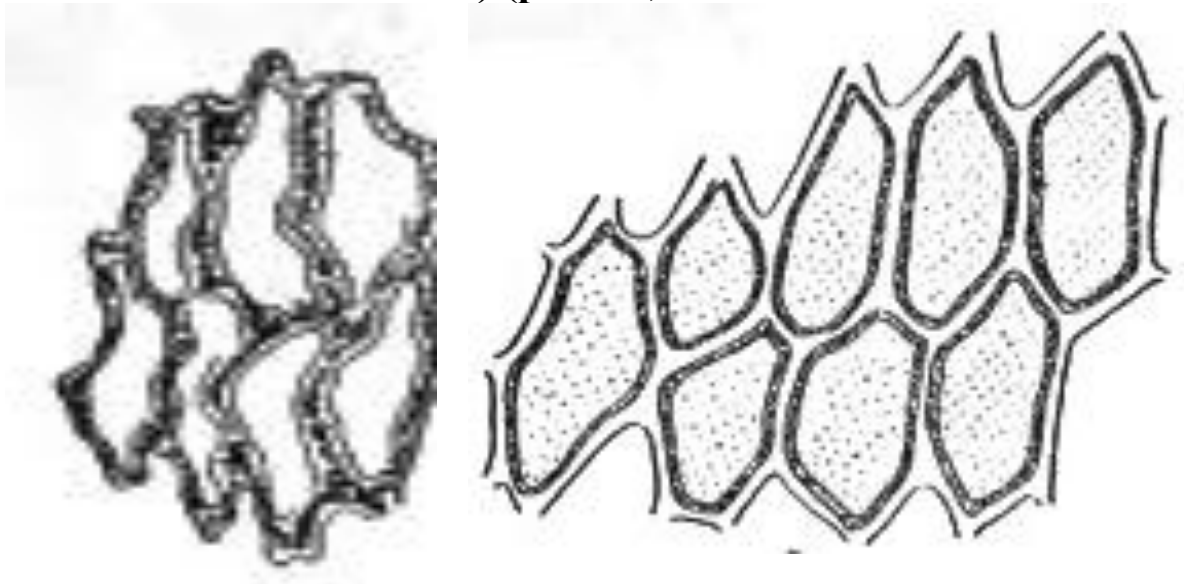
клетки наземных растений, как правило, не насыщены **H₂O**: $T < \pi$, $S > 0$;

в условиях сильного обезвоживания величина тургорного давления с положительной становится отрицательной:

$$S = \pi - (-T) = \pi + T$$

– **сосущая сила клетки может быть больше, чем осмотическое давление** – состояние циторриза (благодаря большим

силам сцепления между молекулами воды протопласт, сокращаясь в объеме, не отстает от клеточной стенки, а тащит ее за собой. Клеточная оболочка, двигаясь за сокращающимся протопластом, выгибается и не только не надавливает на него, а наоборот, старается его растянуть (рис. 14: 1, 2). Это означает, что в **условиях сильного обезвоживания сосущая сила клетки может быть больше, чем осмотический потенциал**) (рис. 15).



1

2

**Рис. 14 (1, 2). Деформация оболочек клеток при потере ими воды:
1 – клетки, потерявшие большое количество воды; 2 –
тургесцентные клетки**

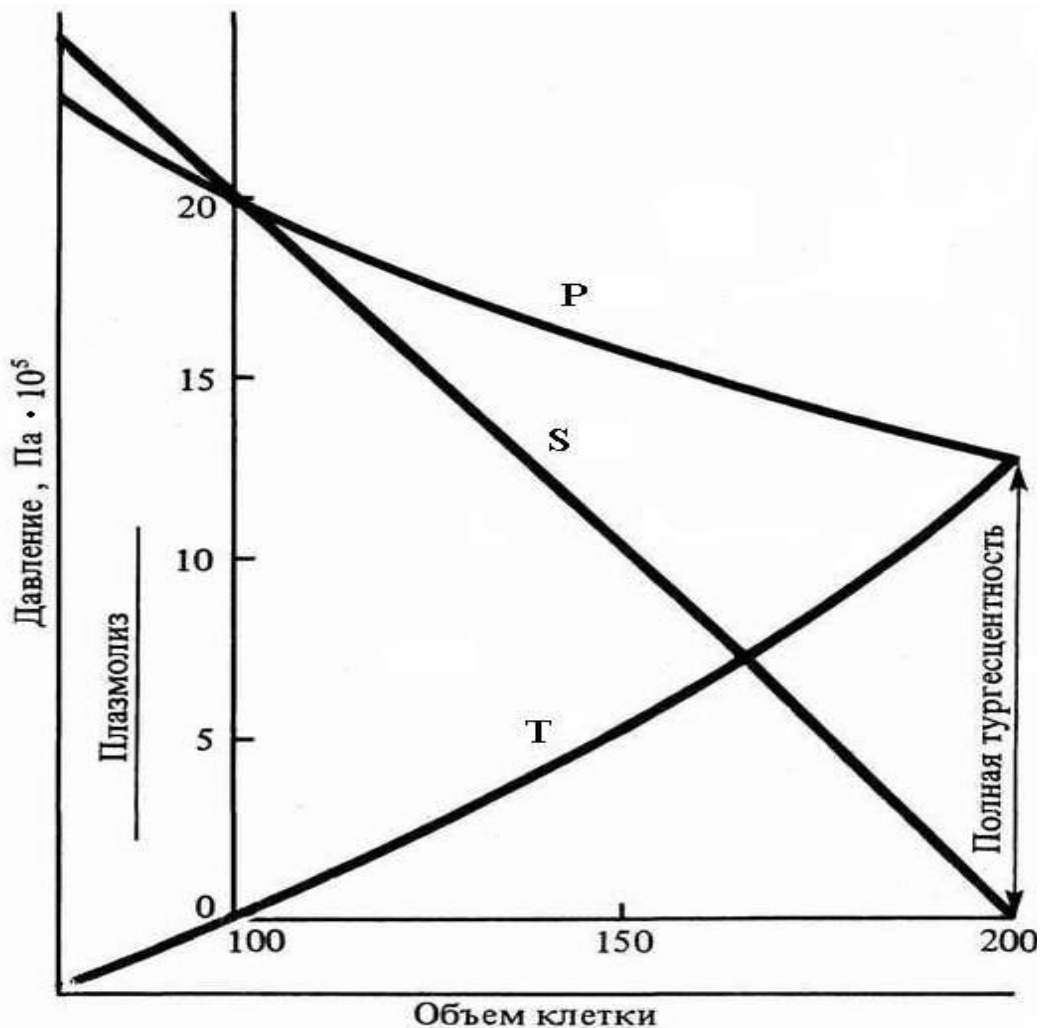


Рис. 15. Зависимость между тургорным давлением (Т), осмотическим давлением (Р) и сосущей силой (S)
Водный потенциал
 замена термина «сосущая сила» на «водный потенциал»

Водный потенциал – разность между свободной энергией H_2O внутри и вне клетки при той же температуре и атмосферном давлении разность химического потенциала H_2O в клетке (μ_w) и химического потенциала чистой H_2O (μ_w^0), отнесенная к парциальному молярному объему H_2O в клетке (V_w)

$$\Psi_w = \frac{(\mu_w - \mu_w^0)}{V_w}$$

V_w - парциальный молярный объем воды - объем 1 моля воды (18,0 см³/моль), характеризует способность H_2O поглощаться, диффундировать или испаряться.

Водный потенциал клетки, ткани или органа, целого растения – величина интегральная:
 состоит из компонентов

- ✓ осмотического $\Psi\pi$,
- ✓ тургорного Ψ_T ,
- ✓ матричного Ψ_m ,
- ✓ гравитационного Ψ_g потенциалов:

$$\Psi_w = \Psi\pi + \Psi_T + \Psi_m + \Psi_g.$$

Если рядом расположены две клетки с разными Ψ_w , H_2O через клеточную стенку будет проходить из клетки с более высоким водным потенциалом (*менее отрицательным*) в клетку с более низким (более отрицательным).

Когда влажность почвы достаточная, а испарение не очень интенсивное, клеточная оболочка насыщена H_2O .

Ψ_w клеточной оболочки выше, чем в вакуоли, H_2O – в клетку, в вакуоль.

При недостатке воды в почве в клеточной стенке возникает водный дефицит, Ψ_w становится ниже, чем в вакуоли, H_2O – из вакуоли в клеточной стенке.

Правильнее – вода не поглощается клеткой, а поступает в клетку за счет разницы водных потенциалов.

В соответствии со II законом термодинамики процессы переноса веществ и энергии самопроизвольно происходят от более высокого уровня химического потенциала к более низкому, т. е. по градиенту потенциала (рис. 16).

Вода движется в соответствии со II законом термодинамики из области высокого потенциала в область низкого, т.е. направление потока воды определяется падением градиента энергии.

**1 атм=1,013 бара=105Па;
103 Па=1кПа, 106 Па=1МПа**

Водный потенциал растений

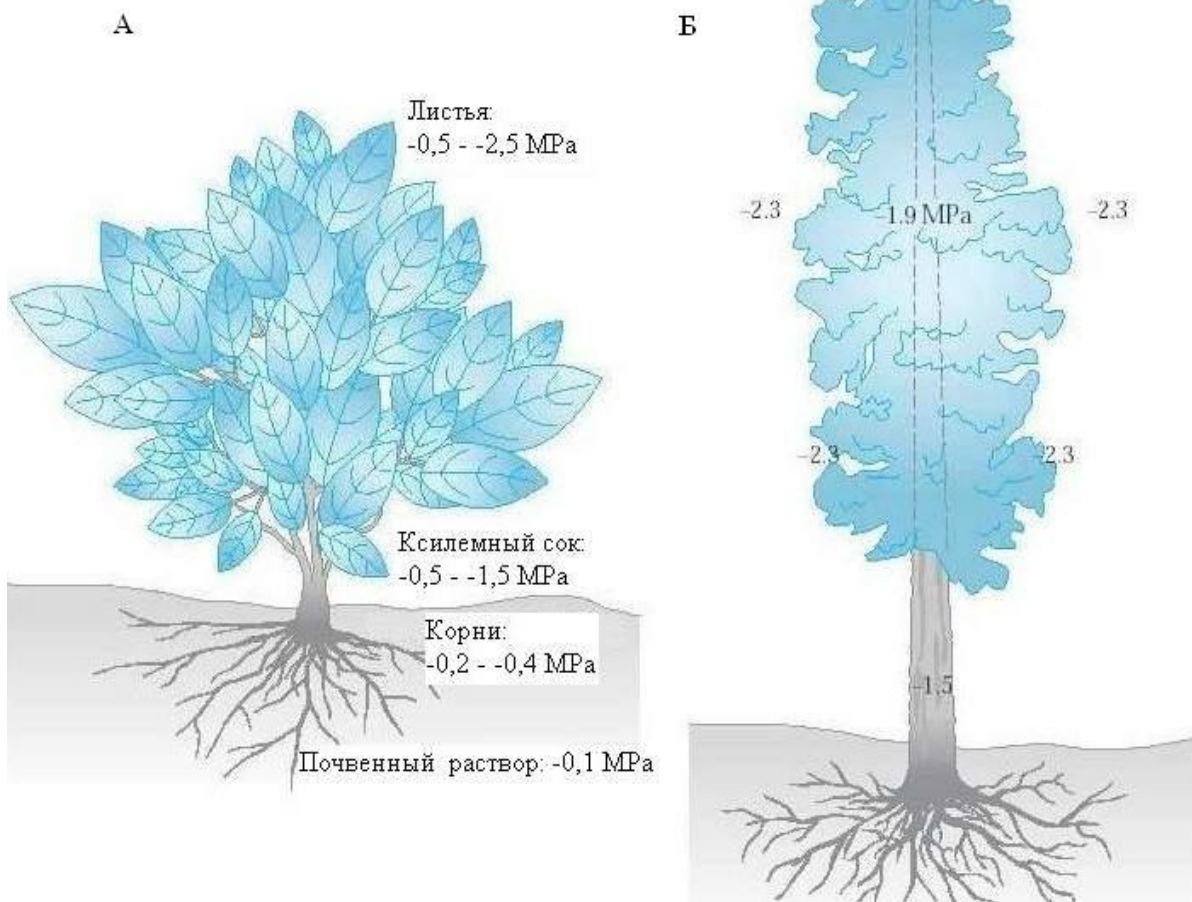


Рис. 16. Из клетки с более высоким водным потенциалом (менее отрицательным) в клетку с более низким (более отрицательным)

Коллоидно-химический механизм (набухание)

Набухание — поглощение жидкости или пара высокомолекулярным веществом (набухающим телом), сопровождаемое увеличением объема.

Явление набухания обусловлено **коллоидными и капиллярными эффектами**.

В протоплазме наблюдается набухание на коллоидной основе (гидратация протоплазматических коллоидов).

В клеточной стенке за счет капиллярного (накопление воды между микрофибриллами и в межмицеллярных пространствах) и коллоидного (гидратация полисахаридов, особенно гемицеллюлоз) эффектов.

В вакуоли, как правило, набухающих тел нет.

Состояние набухания протоплазмы имеет решающее значение для интенсивности всего обмена веществ.

H₂O в протоплазме является важнейшей средой для биохимических реакций и диффузии, а **гидратация протоплазматических белков** необходима для поддержания ультраструктуры и функциональной активности органоидов.

Электроосмотический механизм

Понятие **электроосмос** ввел **Т. Беннет-Кларк** с сотрудниками (1946 г.). **Электроосмос** – это перемещение диполей воды, вызванное электрическим потенциалом, возникающим на мембране.

Разность потенциалов (РП) на мембране возникает в результате ассиметричного распределения ионов по двум ее сторонам, что обусловлено избирательной проницаемостью мембраны.

В настоящее время клетку не рассматривают только как осмотическую систему:

- ✓ открытие аквапоринов
- ✓ в водном обмене большую роль играет и протоплазма
- ✓ затрата энергии при выталкивании **H₂O** из клетки.

Транспортная активность аквапоринов регулируется их фосфорилированием/дефосфорилированием (рис. 17).

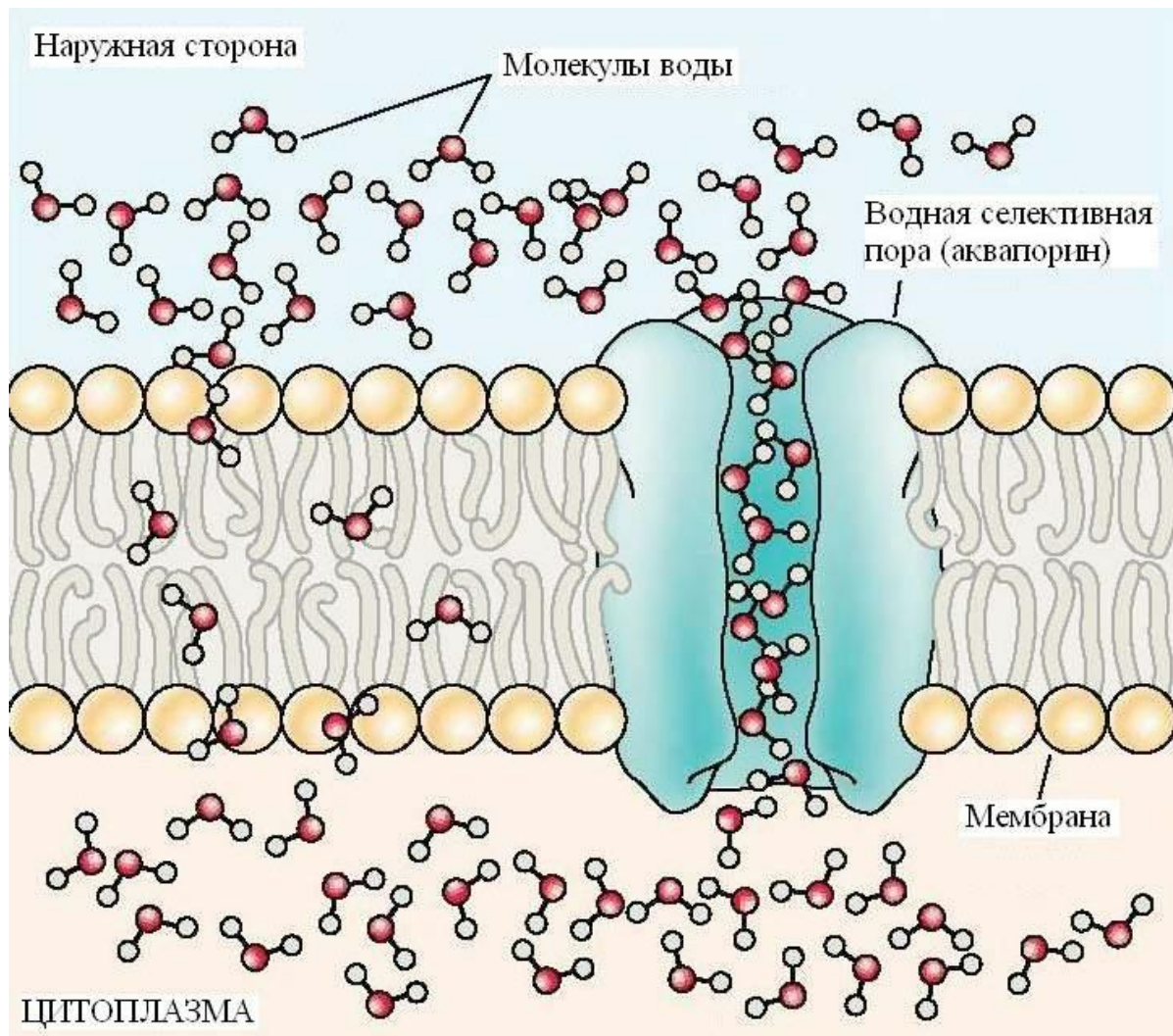


Рис. 17. Аквапорины – специальные белки, которые, встраиваясь в мембраны, образуют в липидном бислое водные каналы, или поры

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ по теме: «ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ»

РАСТИТЕЛЬНАЯ КЛЕТКА КАК ОСМОТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Вода растительными клетками поглощается по законам осмоса. Перемещение молекул воды из внешней среды в клетку, а также от клетки к клетке происходит по градиенту уровня свободной энергии молекул воды, который определяется их *химическим потенциалом* (M_w). Точкой отсчета уровня свободной энергии молекул воды берется ее уровень у молекул чистой воды в стандартных условиях (M_w^0). Химический потенциал воды в водных растворах и клетках меньше, чем у чистой воды. Эта разница, называемая *водным потенциалом* (Ψ), отражает способность воды в данной системе совершать работу в сравнении с работой, которую при тех же условиях совершала бы чистая вода. Водный потенциал рассчитывается по уравнению:

$$\Psi = \frac{M_w - M_w^0}{V_w}$$

где V_w – парциальный мольный объем воды.

Водный потенциал определяет способность молекул воды диффундировать, испаряться или поглощаться. Он имеет размерность энергии, деленной на объем, что совпадает с размерностью давления (атмосферы, бары, паскалы).

Молекулы растворенных в воде веществ снижают уровень свободной энергии молекул воды. Это снижение измеряется осмотическим потенциалом ($\Psi_{осм}$). *Осмотический потенциал* – компонент водного потенциала раствора, который определяется присутствием растворенных веществ, снижающих химический потенциал воды. Поэтому $\Psi_{осм}$ всегда величина отрицательная. Если два раствора с разными концентрациями разделить полупроницаемой мембраной, пропускающей только молекулы воды, но не пропускающей молекулы растворенных в ней веществ, то молекулы воды будут перемещаться по градиенту Ψ – из раствора с меньшей концентрацией, в котором $\Psi_{осм}$ выше (т.е. менее отрицательная величина), в раствор с большей концентрацией, в котором $\Psi_{осм}$ ниже (т.е. более отрицательная величина).

У молекул воды, находящихся под давлением, уровень

свободной энергии повышается. Поэтому величина водного потенциала раствора или клетки увеличивается при повышении в них гидростатического (тургорного) давления. Водный потенциал, зависимый от гидростатического давления (величина всегда положительная), называется *потенциалом давления* ($\Psi_{\text{давл}}$).

Общий водный потенциал клетки ($\Psi_{\text{кл}}$) зависит от осмотического потенциала ($\Psi_{\text{осм}}$) и потенциала давления ($\Psi_{\text{давл}}$)

$$\Psi_{\text{кл}} = \Psi_{\text{осм}} + \Psi_{\text{давл}}$$

При помещении клетки в чистую воду последняя будет входить в клетку до тех пор, пока $\Psi_{\text{осм}}$ в клетке не будет уравновешено увеличивающимся $\Psi_{\text{давл}}$. Увеличение $\Psi_{\text{давл}}$ происходит из-за сопротивления клеточной стенки возрастанию объема протопласта при поступлении в него воды.

Если клетку поместить в водный раствор, $\Psi_{\text{осм}}$ которого будет более отрицательным, чем $\Psi_{\text{кл}}$ то вода будет выходить из клетки в этот наружный раствор. При этом $\Psi_{\text{кл}}$ будет уменьшаться из-за уменьшения в клетке как $\Psi_{\text{осм}}$ так и $\Psi_{\text{давл}}$. Выход воды из клетки будет происходить до тех пор, пока у клетки и у наружного раствора не сравняются.

Лабораторная работа № I.–1.

Работа № I.–1–1.

Определение сосущей силы клеток по изменению концентрации растворов

Материалы и оборудование: 1) свежие листья растений; 2) раствор метиленовой синей; 3) 1 М раствор сахарозы; 4) пинцет; 5) штатив с пробирками (7 шт.); 6) микроскоп; 7) предметное и покровное стекла; 8) полоски фильтровальной бумаги; 9) дистиллированная вода; 10) стеклянная палочка; 11) пипетки; 12) карандаш по стеклу.

Сила, с которой клетка способна сосать воду, называется *сосущей силой клетки*. В отличие от любого раствора, сосущая сила которого численно равна его осмотическому давлению, *сосущая сила растительной клетки (S)*, целлюлозная стенка которой препятствует поступлению воды, *равна разности между осмотическим давлением клеточного сока (P) и тургорным давлением (T):*

$$S_{\text{клетки}} = P - T$$

При погружении клетки в какой–либо раствор водообмен между ними определяется соотношением их сосущих сил: вода передвигается в ту сторону, где больше сосущая сила. Для определения сосущей силы клеток куски исследуемой ткани погружают в ряд растворов известной концентрации и подбирают такой раствор, сосущая сила которого равна сосущей силе клеток. В отличие от плазмолитического метода определения осмотического давления клеточного сока, где критерием служит начало плазмолиза, при определении сосущей силы клеток критерием является неизменность содержания воды в клетках. *Наиболее точные методы определения сосущей силы клеток основаны на измерении концентрации окружающих клетки растворов.* Если погрузить растительную ткань в раствор, сосущая сила которого больше сосущей силы клеток, то раствор будет отсасывать воду из клеток, вследствие чего его концентрация уменьшится. Наоборот, если сосущая сила клеток больше сосущей силы раствора, то клетки всасывают воду из раствора, который становится при этом более концентрированным. При равенстве сосущих сил клеток и раствора не происходит ни всасывания, ни отнятия воды, в результате чего концентрация раствора остается без изменения.

Изменение концентрации можно установить путем определения показателя преломления (рефрактометрический метод) или плотности растворов (*метод струек*).

Ход работы.

Тщательно вымыть пробирки (7 обычных и 7 маленьких), сполоснуть их дистиллированной водой, высушить в сушильном шкафу и снабдить надписями карандашом по стеклу. Смешивая соответствующие количества молярного раствора сахарозы и дистиллированной воды, приготовить по 10 мл растворов следующих концентраций (моль/л): 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1. Для приготовления растворов использовать большие пробирки. После тщательного перемешивания отлить в маленькие пробирки по 0,5 – 1 мл приготовленных растворов и закрыть пробирки пробками.

Вырезать при помощи острого пробочного сверла диски из листьев недалеко от средней жилки, не захватывая по возможности крупных жилок (для этого повернуть листья нижней стороной вверх и подложить под листья пробку). Разложить по три диска в маленькие пробирки, закрыть их пробками. Выдержать диски в растворах 30 – 40 мин, время от времени встряхивая пробирки и следя за тем, чтобы диски были все время погружены в растворы.

По истечении указанного времени вынуть пробы из растворов препаровальной иглой и закрыть пробирки пробками. Определить изменение концентрации растворов после пребывания в них дисков из листьев.

Метод струек (по В.С. Шардакову). Данный метод основан на изменении плотности растворов после пребывания в них изучаемых объектов.

Раствор, в котором находились кусочки исследуемых листьев, вносят пипеткой в пробирку с раствором исходной концентрации. Если *струйка пойдет вниз*, это будет свидетельствовать об увеличении концентрации раствора. *Движете струйки вверх* указывает, что концентрация раствора уменьшилась. Если *струйка останется на месте*, то плотность раствора не изменилась и, следовательно, сосущая сила клеток равна сосущей силе этого раствора.

Перед определением подкрасить растворы, для чего внести в маленькие пробирки раствор метиленовой синей. Много краски добавлять нельзя, так как это может вызвать увеличение концентрации раствора. Встряхнув содержимое пробирки, набрать

окрашенную жидкость в пипетку с оттянутым в капилляр концом и опустить в соответствующую пробирку с исходным раствором так, чтобы нижний конец пипетки был погружен в раствор на 2–3 см. Медленно выпуская раствор, проследить за направлением движения струйки окрашенной жидкости. Каждый раствор следует брать чистой сухой пипеткой. Полученные результаты записать в форме таблицы.

Сделать выводы о причинах изменения концентрации растворов и записать значения сосущей силы клеток перед их погружением в растворы.

Работа № I.–1–2.

Тургор растительной клетки.

Поглощение воды и ее выход из клеток корнеплода моркови

Материалы и оборудование: 2 стакана, насыщенный раствор NaCl, вода, нож, корнеплод моркови.

Поступление воды в растительную клетку, помещенную в чистую воду, ограничено клеточной стенкой, растяжение которой не бесконечно. В клетке повышается гидростатическое (тургорное) давление. Это увеличивает свободную энергию молекул воды до уровня свободной энергии молекул чистой воды, и водный потенциал клетки ($\Psi_{кл}$) становится равным нулю. Это полностью насыщенные водой клетки. Если клетки поместить не в воду, а в раствор какого-либо осмотика (поваренная соль, сахароза и др.), то вода выходит из клеток и они теряют тургор.

Сравнение клеток тургоресцентных и потерявших тургор удобно провести в опыте с корнеплодом моркови.

Ход работы.

Из середины корнеплода моркови вырезают, начиная с кончика корня, продольную полосу ткани шириной 8 – 12 мм и удаляют ее. Две части корня остаются соединенными на протяжении примерно 1/5 всей его длины (рис. 18). Обе части корнеплода помещают в два стакана, стоящие рядом, в одном – насыщенный водный раствор хлорида натрия, в другом – вода.

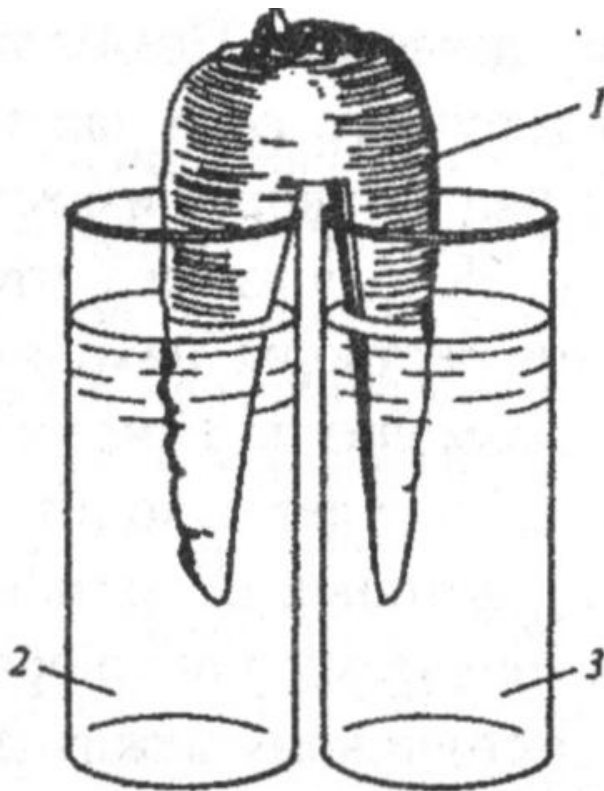


Рис. 18.
Поглощение и
выход воды из
клеток корнеплода
моркови:

1 – корнеплод
моркови; 2 – стакан
с водой; 3 – стакан с
раствором
поваренной соли

Через 1,5 – 2 ч корень извлекают из стаканов, сравнивают размер и тургор тканей в его половинах и делают вывод о том, в каком из стаканов произошел выход воды из тканей корня, приведший к потере ими тургора.

Задание: сформулировать вывод о состоянии обеих его частей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Лабораторная работа № I.–2.

Работа № I.–2–1.

Определение осмотического давления клеточного сока плазмолитическим методом (по де–Фризу)

Материалы и оборудование: 1) луковица синего лука или листья традесканции; 2) 1 М раствор NaCl или сахарозы; 3) дистиллированная вода; 4) бюретки с воронками (2 шт.); 5) часовое стекло; 6) баночки или тигельки для растворов (7 шт.); 7) крышки или кусочки стекла для укрывания баночек (7 шт.); 8) микроскоп; 9) предметные и покровные стекла; 10) скальпель; 11) лезвие бритвы; 12) препаровальная игла; 13) кисточка; 14) стеклянная палочка; 15) стакан с кипяченой водой; 16) кусочки фильтровальной бумаги; 17) карандаш, по стеклу; 18) термометр комнатный.

Концентрацию клеточного сока, представляющего собой раствор большого количества разнообразных органических и минеральных веществ, чаще всего определяют по его осмотическому давлению. Плазмолитический метод определения осмотического давления клеточного сока заключается в том, что срезы исследуемой ткани погружают в ряд растворов известной концентрации, а затем рассматривают в микроскоп. Исходя из того, что плазмолиз способны вырывать только гипертонические растворы, находят такой, в котором наблюдается начальный (уголковый) плазмолиз не менее чем у 50% клеток исследуемой ткани. Изотонический раствор будет находиться между этим раствором и следующим (более слабым), который не вызывает плазмолиза. Отсюда следует, что концентрация изотонического раствора равна (с известной долей погрешности) среднему арифметическому между концентрациями указанных соседних растворов.

Установив концентрацию изотонического раствора, вычисляют осмотическое давление по уравнению Вант–Гоффа

$$P = RTCi$$

где:

P – осмотическое давление, МПа (МПа = 10^6 Па = 9,87 атм.);

R – универсальная газовая постоянная ($R = 0,00831$ кДж/град · моль);

C – концентрация раствора, моль/л;

i – изотонический коэффициент, показывающий отношение числа частиц (молекул и ионов) в растворе к исходному количеству молекул растворенного вещества.

Для неэлектролитов, например для сахарозы, $i = 1$. Для растворов электролитов i зависит от числа ионов, на которые распадается молекула, и от степени диссоциации. Значения i для растворов

Изотонический коэффициент для растворов **NaCl** даны в таблице 1:

Таблица 1.

Изотонический коэффициент для растворов NaCl

Концентрация NaCl, моль/л	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
Изотонический коэффициент	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,73	1,75	1,78	1,83	1,93

Ход работы: Приготовить по 5 мл растворов **NaCl** или сахарозы концентрацией от 0,1 до 0,7 моль/л, наливая из бюреток в баночки, снабженные соответствующими надписями, 1 М раствор и дистиллированную воду. Предварительно целесообразно составить таблицу разведения (табл. 2):

Таблица 2.

Таблица разведения раствора

Концентрация опытного раствора, моль/л	На 5 мл раствора	
	1 М раствора, мл	воды, мл
0,1	0,5	4,5

Тщательно перемешав растворы, закрыть баночки крышками или кусочками стекла для защиты от испарения.

Приготовить при помощи бритвы 14 срезов исследуемой ткани и поместить их в воду на часовое стекло (вода должна быть кипяченой, чтобы не было пузырьков воздуха). При погружении в воду удаляется сок, вытекающий из поврежденных клеток, и достигается одинаковое состояние всех срезов. Через несколько минут извлечь срезы

кисточкой из воды, обсушить фильтровальной бумагой и погрузить по 2 среза в каждый раствор, начиная с самого концентрированного. При этом необходимо следить за тем, чтобы срезы не плавали на поверхности, а были погружены в растворы (если срез всплывает, его следует «утопить» при помощи препаровальной иглы).

Через 20–30 мин рассмотреть срезы в микроскоп в капле соответствующего раствора в той же последовательности. Стекланную палочку, которой наносилась капля раствора, кисточку, стекла после каждого раствора необходимо ополаскивать водой и вытирать салфеткой или фильтровальной бумагой.

Результаты опыта занести в таблицу. Во второй строке указать, в каком состоянии находится большинство клеток среза (сильный плазмолиз, когда протопласт сокращается более чем на $1/3$ слабый плазмолиз – цитоплазма немного отстает от клеточной стенки, уголковый плазмолиз или плазмолиза нет). В третьей строке схематически зарисовать одну клетку, характерную для данного среза.

Найти изотоническую концентрацию и вычислить осмотическое давление клеточного сока по уравнению Вант–Гоффа.

Сделать вывод о зависимости степени плазмолиза клеток от концентрации наружного раствора (с соответствующим объяснением).

ИЗУЧЕНИЕ УСТЬИЧНОГО АППАРАТА

Лабораторная работа № I.–3.

Работа № I.–3–1.

Наблюдение за движением устьиц

Материалы и оборудование: 1) свежие листья растений; 2) растворы глицерина (5%–и 20%–ный); 3) 1 М раствор сахарозы; 4) пинцет; 5) микроскоп; предметное и покровное стекла; 7) полоски фильтровальной бумаги.

У замыкающих клеток устьиц стенки, прилегающие к устьичной щели, утолщены, а наружные стенки тоньше. Неодинаковая толщина стенок замыкающих клеток приводит к тому, что при изменении тургора замыкающие клетки способны менять форму, открывая или закрывая при этом устьичную щель. Следовательно, степень насыщения клеток водой оказывает очень большое влияние на движение устьиц. Различают **три типа устьичных движений**: гидропассивные, гидроактивные, фотоактивные.

Гидропассивные движения закрывания связаны с насыщением водой клеток, которые окружают устьица.

Гидроактивное закрывание устьиц связано с увеличением в самих клетках устьиц водного дефицита и с повышением в них содержания абсцизовой кислоты, которая подавляет работу H^+ –насосов на мембранах замыкающих клеток. Это приводит к снижению тургора замыкающих клеток и, следовательно, к закрыванию устьиц.

Фотоактивное открывание устьиц состоит в увеличении ширины устьичной щели при повышении интенсивности освещения (главная роль при этом отводится синему свету). Механизм фотоактивных движений еще пока не совсем ясен.

Ход работы.

Приготовьте несколько срезов нижней эпидермы листа. Поместите срезы на предметное стекло в каплю воды и рассмотрите при большом увеличении микроскопа.

Зарисовать одно устьице отметив утолщение клеточных стенок замыкающих клеток и указать основные части устьичного аппарата.

Нанести рядом с покровным стеклом 2–3 капли 1 М раствора сахарозы, приложив с другой стороны кусочек фильтровальной бумаги, и сразу приступить к наблюдению за изменением ширины

устыичной щели.

Снова заменить раствор сахарозы водой.

Сделать рисунки открытого и закрытого устьица, указать время закрывания и открывания.

Приготовьте несколько срезов нижней эпидермы листа. Поместите срезы на предметное стекло в каплю воды и рассмотрите при большом увеличении микроскопа. Сделать рисунок.

Нанести рядом с покровным стеклом 2–3 капли 5% глицерина, приложив с другой стороны кусочек фильтровальной бумаги, и сразу приступить к наблюдению за изменением ширины устьичной щели, отмечают состояние клеток и зарисовывают их. Глицерин проникает в вакуоли замыкающих клеток, понижает их водный потенциал и, следовательно, повышает их способность насасывать воду.

Затем заменяют глицерин на воду, оттягивая его из-под стекла фильтровальной бумагой. При этом наблюдается открывание устьичных щелей. Засечь время и зарисовать препарат.

После этого воду заменяют сильным осмотиком – 20%-ым раствором глицерина. Засечь время. Наблюдать закрывание устьиц. Сделать рисунок.

Задание: зарисовать устьица в воде и в растворах 1 М раствора сахарозы, 5%- и 20%-ного глицерина. Объяснить причину устьичных движений.

Работа № I.–3–2.

Влияние внешних условий на состояние устьиц (по Молишу)

Материалы и оборудование: 1) разные комнатные растения (за час до начала работы полить растения и поместить некоторые экземпляры в темноту); 2) петролейный эфир, ксилол и этиловый спирт в пузырьках, закрытых пробками, в которые вставлены петли из тонкой проволоки.

Межклетники листа обычно заполнены воздухом, благодаря чему при рассматривании на свет лист кажется матовым. Если произойдет инфильтрация, т.е. заполнение межклетников какой-либо жидкостью, то соответствующие участки листа становятся прозрачными.

Определение состояния устьиц методом инфильтрации основано на способности жидкостей, смачивающих клеточные стенки,

проникать в силу капиллярности через открытые устьичные щели в ближайšie межклетники, вытесняя из них воздух, в чем легко убедиться по появлению на листе прозрачных пятен. Жидкости проникают в устьичные щели в зависимости от их ширины: петролейный эфир – через слабо открытые устья, ксилол – через средне открытые, а этиловый спирт – только через широко открытые.

Ход работы.

На нижнюю поверхность листа нанести отдельно маленькие капли петролейного эфира, ксилола и этилового спирта. Держать лист в горизонтальном положении до полного исчезновения капель, которые могут либо испариться, либо проникнуть внутрь листа, и рассмотреть лист на свет.

Исследовать листья, выдержанные в разных условиях (свежие и подвявшие, освещенные и затемненные и т.п.). Каждый раз исследовать 2–3 листа.

Результаты записать в таблицу 10, отмечая проникновение жидкости знаком «+» а отсутствие проникновения знаком «–».

Работа № I.–3–3.

Определение состояния устьиц методом отпечатков

Материалы и оборудование: 1) комнатные растения (некоторые растения или отдельные листья за 2–3 ч до занятия поместить в темноту); 2) коллодий (аптечный), разведенный смесью спирта с эфиром (1:7) до сиропообразной консистенции, в склянке с притертой пробкой (или бесцветный маникюрный лак); 3) тонкая стеклянная палочка; 4) пинцет; 5) микроскоп; 6) окулярный микрометр; 7) объективный микрометр; 8) предметные стекла.

Основные типы устьичного аппарата приведены ниже (рис. 19). На поверхность листа наносят тонкий мазок раствора коллодия (лака). После испарения растворителя образуется пленка, на которой отпечатывается эпидермис с устьицами. Рассматривая полученные отпечатки в микроскоп, можно определять количество и размер устьиц, а также измерить ширину устьичных щелей. Данный метод можно использовать не только для лабораторных, но и для полевых исследований (в последнем случае отпечатки хранят до определения в пробирках с водой). Для исследования листьев, устьица которых расположены в углублениях эпидермиса (например, у олеандра), этот метод неприменим, так как у таких листьев отпечатки не получаются.

Ход работы.

На поверхность листа наносят тонкий мазок раствора коллодия (лака). После полного высыхания снять пленку пинцетом, поместить на предметное стекло и рассмотреть при большом увеличении без покровного стекла. Вставить в микроскоп окулярный микрометр и измерить ширину и длину устьичной щели не менее чем у десяти устьиц, вычислить средние величины.

Определить цену деления *окулярного микрометра*. Каждое деление которого равно 0,01 мм, т.е. 10 мкм. Поворачивая окуляр, совместить обе шкалы так, чтобы нуль окулярного микрометра совпал с какой-либо линией объективного микрометра. На другом конце поля зрения также найти совпадающие линии и определить, сколько делений окулярного микрометра (*A*) соответствует делениям объективного микрометра (*B*), находящимся между совмещенными точками. Цена деления окулярного микрометра определяется, по формуле ***$B \cdot 10 / A$ мкм.***

Умножив длину и ширину устьичных отверстий, выраженных в делениях окулярного микрометра, на цену одного деления, найти абсолютные размеры устьичных щелей. Вычислить площадь устьичной щели, с некоторым приближением принимая ее форму за ромб, по формуле:

$$S=0,7 \cdot a \cdot b,$$

где *a* – ширина, *b* – длина щели.

Исследовать листья разных ярусов одного и того же растения, а также хорошо освещенные и затемненные листья. Результаты записать в таблицу.

Сделать вывод о влиянии ярусности и условий освещенности на размеры устьичных отверстий.

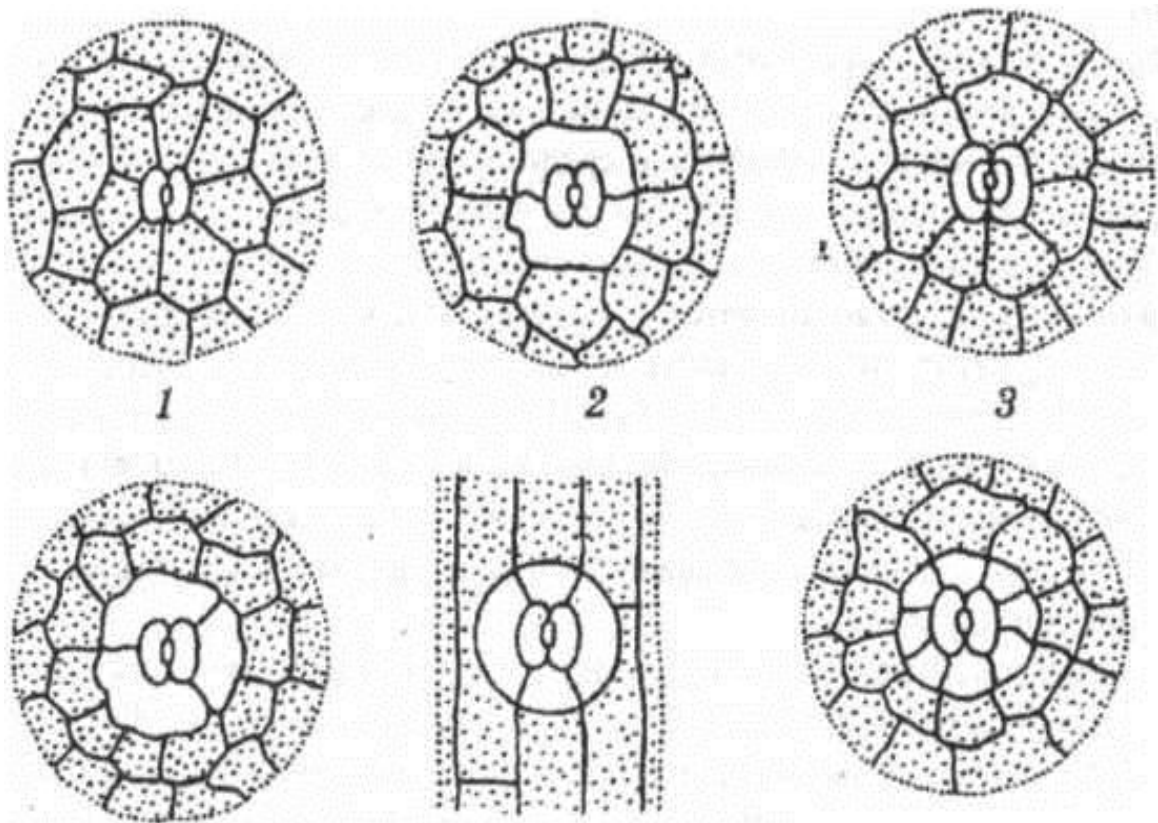


Рис. 19. Основные типы устьичного аппарата:

1 – аномоцитный (у всех высших растений, кроме хвощей); 2 – диацитный (у папоротников и цветковых); 3 – парацитный (у папоротников, хвощей, цветковых и гнетовых); 4 – анизоцитный (только у цветковых); 5 – тетрацитный (главным образом у однодольных); 6 – энциклоцитный (у папоротников, голосемянных и цветковых)

ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЫ РАСТЕНИЕМ*

* — приведенные ниже работы должны быть заложены на занятиях, но наблюдения и получения результатов проводятся за рамками аудиторных занятий

Лабораторная работа № I.–4–1.

Зависимость набухания семян от характера запасных веществ

Материалы и оборудование: 1) семена пшеницы, гороха и других растений; 2) технические весы с разновесами; 3) химические стаканы на 100–200 мл (2 шт.); 4) марлевые салфетки 12x12 см; 5) фильтровальная бумага.

Задача работы – сравнение процесса набухания семян, отличающихся разным содержанием основных запасных веществ – крахмала и белка (и семенах пшеницы содержится в среднем около 16% белка и 70% крахмала, в семенах гороха – до 34% белка и 48% крахмала).

При соприкосновении с влажным субстратом сухие семена быстро поглощают воду и увеличиваются в объеме благодаря набуханию белков, крахмала и других гидрофильных коллоидов, причем у некоторых семян возникает большое давление (до 100 МПа). В основе набухания лежит гидратация коллоидов – взаимодействие веществ с водой, приводящее к уменьшению ее подвижности. Главную роль в процессе набухания семян играют белки – наиболее гидрофильные вещества. Гидратация, белков включает три процесса:

1) электронейтральную гидратацию путем образования водородных связей между атомами **O** и **N** полярных групп (карбоксильной, спиртовой, аминной, амидной и др.) и водородом воды (наиболее важный процесс, приводящий к значительному увеличению объема и повышению температуры);

2) ионную гидратацию – притяжение диполей воды ионизированными группами белка **-COO** и **-NH₃⁺**;

3) иммобилизацию молекул воды, попадающих в замкнутые полости белковых глобул. Набухание белков имеет большое значение для биохимической активности клетки.

Ход работы.

Навески (2–5 г) семян пшеницы, гороха или других растений

завернуть в марлевые салфетки и погрузить в водопроводную воду, налитую в стаканчики. Через 3 ч (или через сутки) извлечь семена из марлевых мешочков, быстро обсушить фильтровальной бумагой и взвесить. Увеличение массы семян выразить в процентах от исходной.

Результаты записать в таблицу.

Работа № I.–4–2.

Влияние концентрации раствора на прорастание семян

Материалы и оборудование: 1) семена пшеницы или других растений; 2) 1,0, 0,1 и 0,01 М растворы **NaCl**; 3) бюретки с воронками (4 шт.); 4) весы технические с разновесами; 5) разборная доска; 6) пинцет; 7) чашки Петри (4 шт.); 8) чистый сухой песок; 9) бумага; 10) клей; 11) пинцет; 12) миллиметровая линейка.

Первый этап поступления воды в сухие семена обусловлен набуханием гидрофильных коллоидов, особенно белков, притягивающих воду с силой до 100 МПа. По мере увеличения количества воды в клетках эта сила быстро уменьшается и у вполне насыщенных водой семян падает почти до нуля. Дальнейшее поступление воды в семена происходит осмотически. На прорастание семян и рост проростков большое влияние оказывает концентрация растворимых солей в почве, точнее, разность между осмотическим давлением клеточного содержимого и почвенного раствора: чем больше эта разность, тем легче поступает вода в клетки. Для понимания результатов данного опыта нужно иметь в виду, что осмотическое давление клеточного сока у молодых проростков обычно не превышает 1 МПа.

Ход работы.

Насыпать в четыре чашки Петри по 50 г песка, снабдить чашки этикетками и смочить песок в 1–й чашке 10 мл 1 М раствора **NaCl**, во 2–й – 10 мл 0,1 М раствора **NaCl**, в 3–й – 10 мл 0,01 М раствора **NaCl**, в 4–й – 10 мл воды. Отобрать на разборной доске 4 порции по 20 шт. неповрежденных и по возможности одинаковых семян. Поместить семена в чашки, разложив их равномерно по поверхности песка, закрыть чашки крышками и поставить в темное место.

Держать чашки закрытыми 2–3 дня, затем открыть крышки и ежедневно поливать соответствующими растворами. Через неделю определить размеры проростков, для чего взять из каждой чашки 10

проростков (подряд, не выбирая), измерить длину надземных частей и корешков (если у одного проростка несколько корешков, измерить один самый длинный) и найти среднее арифметическое из всех 10 измерений.

Вычислить осмотическое давление растворов по формуле $\pi = RTCi$ (изотонические коэффициенты – 1 М раствора $\text{NaCl} = 1,62$; 0,1 М раствора $\text{NaCl} = 1,83$; 0,01 М раствора $\text{NaCl} = 1,93$). Результаты записать в таблицу.

Сделать выводы о причинах неодинакового прорастания семян в растворах разной концентрации.

Работа № I.–4–3. Потометрический метод определения скорости поглощения воды растением

Поглощение и движение воды по растению осуществляется благодаря работе корневой системы, присасывающему действию транспирирующих органов, а также явлениям когезии и адгезии. Целью данной работы является установление влияния транспирации на поглощение и движение воды по растению.

Работа основана на определении сосущей силы транспирирующих органов по разности поглощения воды целым растением, погруженным в воду и в раствор известного осмотического давления. При этом скорость поглощения воды учитывают по передвижению мениска в капилляре потометра (рис. 3).

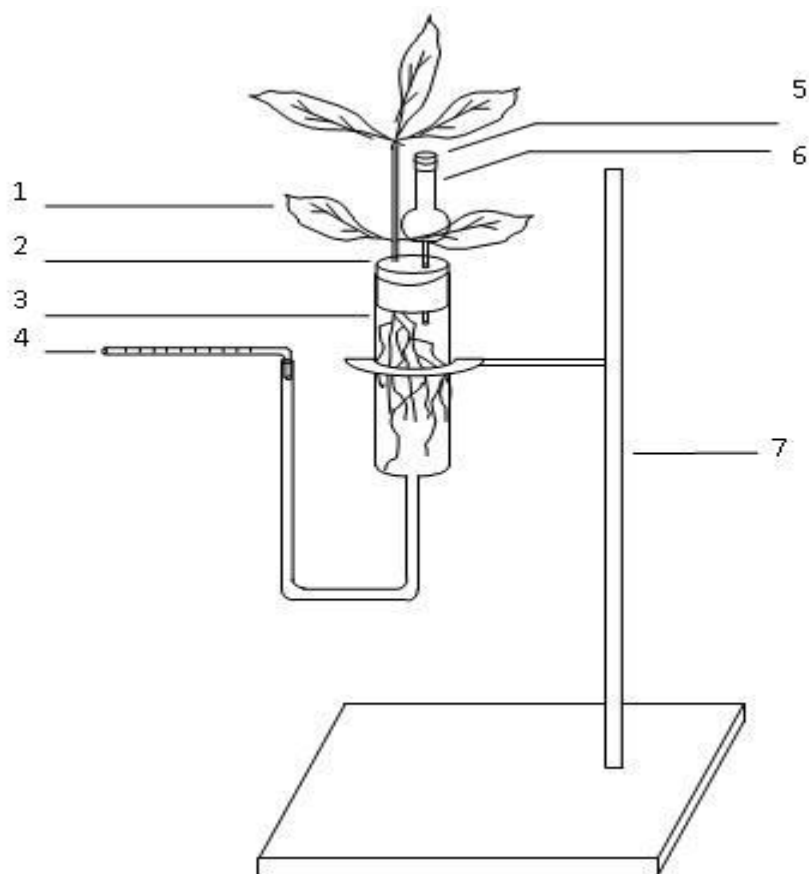


Рис. 20. Потометр готовый к работе: 1- опытное растение, 2 – пробка потометра с двумя отверстиями, 3 – потометр, 4 - градуированный капилляр, 5 – пробка воронки, 6 – воронка, 7 – штатив для потометра.

Материалы и оборудование: 1) проростки кукурузы, фасоли или других растений, укорененные в воде черенки фуксии или традесканции; 2) потометр; 3) штатив; 4) кипяченая охлажденная вода; 5) вата; 6) пластилин; 7) песочные часы на 3 мин; 8) вентилятор или фен; 9) кристаллизатор; 10) скальпель.

Измерить количество воды, поглощенной растением, можно с помощью потометра – простейшего прибора, состоящего из заполненного водой сосуда, соединенного с горизонтальной градуированной трубкой и воронкой для подливания воды по мере потребления ее растением. Воду следует брать кипяченую, чтобы не было пузырьков воздуха. Исследуемое растение вставляют в сосуд, добиваясь герметизации установки, и измеряют скорость передвижения мениска воды в градуированной трубке. В связи с тем, что главный двигатель восходящего тока – сосущая сила испаряющих клеток листа, изменяя условия транспирации, можно выяснить влияние этого процесса на поглощение воды растением.

Срезая надземные органы, изучают активное поглощение воды корневой системой, обусловленное корневым давлением.

Ход работы.

Вставить в отверстие пробки потометра исследуемое растение, обернув стебель ватой и замазав сверху и снизу пластилином (для более плотного закрепления стебля целесообразно, разрезать пробку на две части и зажать стебель между этими частями). Налить доверху в резервуар потометра кипяченую воду и, держа прибор над кристаллизатором, плотно вставить пробку (при этом часть воды выльется через трубку). Проследить за тем, чтобы в сосуде не осталось ни одного пузырька воздуха.

Проверить герметичность установки, наклоняя потометр трубкой вниз: при этом мениск в трубке не должен передвигаться.

Поставить потометр вертикально (закрепить в штативе) и измерить скорость передвижения мениска в трубке за два трехминутных интервала (в зависимости от интенсивности поглощения воды растением интервалы между отсчетами можно увеличить или уменьшить). Затем сделать измерения, обдувая листья вентилятором или феном (холодный воздух!). При отсутствии вентилятора движение воздуха создают, энергично взмахивая куском картона около растения. После этого срезать надземную часть растения и сделать еще два отчета. Результаты занести в таблицу.

Работа № I.–4–4.

Водообмен ветки сосны

Материалы и оборудование: 1) ветки сосны (срезанные ветки могут храниться до опыта в холодном и защищенном от солнца месте в течение 3–4 суток,); 2) раствор эозина 30 мг/л; 3) весы технические большие или весы Беранже (магазинные, двухчашечные); 4) разновес от 0,1 г до 1 кг; 5) стеклянные банки на 500–1000 мл с пробками (2 шт.); 6) бритва; 7) скальпель; 8) пробочные сверла; 9) кристаллизатор большой; 10) вода кипяченая; 11) парафин; 12) электроплитка; 13) вата; 14) бумага; 15) клей; 16) цветные карандаши.

Количественный учет и изучение особенностей трех основных процессов, из которых складывается водообмен растения: *поступления воды в растение, передвижения воды по проводящим тканям и транспирации.* Растение помещают в банку с определенным количеством воды, принимают меры против

испарения воды непосредственно из банки и взвешивают всю установку. Через несколько дней вторично взвешивают установку, учитывают количество оставшейся в банке воды и на основе полученных данных вычисляют количество поглощенной растением воды (по убыли ее в банке) и количество транспирированной воды (по уменьшению массы всей установки). Для получения ответа на вопрос, по какой части стебля идет восходящий ток, к воде добавляют небольшое количество краски, а также ставят второй опыт с окольцованным стеблем.

Ход работы.

Налить в банку примерно на $3/4$ воду, подкрашенную эозином, наклеить этикетку и взвесить банку с водой. Взять двухлетнюю ветку сосны, очистить нижнюю часть стебля (до мутовки побегов) от хвои и вставить стебель в отверстие пробки. Если имеется резиновая пробка, то можно очень плотно зажать в ней ветку, для чего нужно просверлить в пробке отверстие немного меньше толщины стебля, вставить в отверстие с нижней стороны более крупное сверло, опустить в сверло с верхней стороны пробки стебель и, придерживая пробку и стебель пальцами, вытащить сверло из пробки. Если пробка корковая, то приходится делать отверстие немного больше толщины ветки, а затем закрыть ватой щели между веткой и пробкой. Вставив ветку в пробку, следует обновить срез стебля под водой: погрузить нижний конец стебля в кристаллизатор с кипяченой водой: отрезать наискось острой бритвой кусок стебля длиной 3–5 см. Продержав свежесрезанный конец стебля под водой не менее $1/2$ мин, вставить пробку с веткой в банку так, чтобы нижний конец стебля не доходил до дна банки на 1–2 см. Залить пробку парафином (если пробка резиновая и плотно закрывает банку, то этого можно не делать) и взвесить всю установку с точностью до 0,1 г.

Поставить таким же способом опыт с другой веткой, у которой после закрепления ее в отверстии пробки окольцевать стебель. Для этого ниже пробки, но выше уровня жидкости, сделать два круговых надреза коры на расстоянии 1 см один от другого и снять кольцо коры до белой древесины (рис. 21).

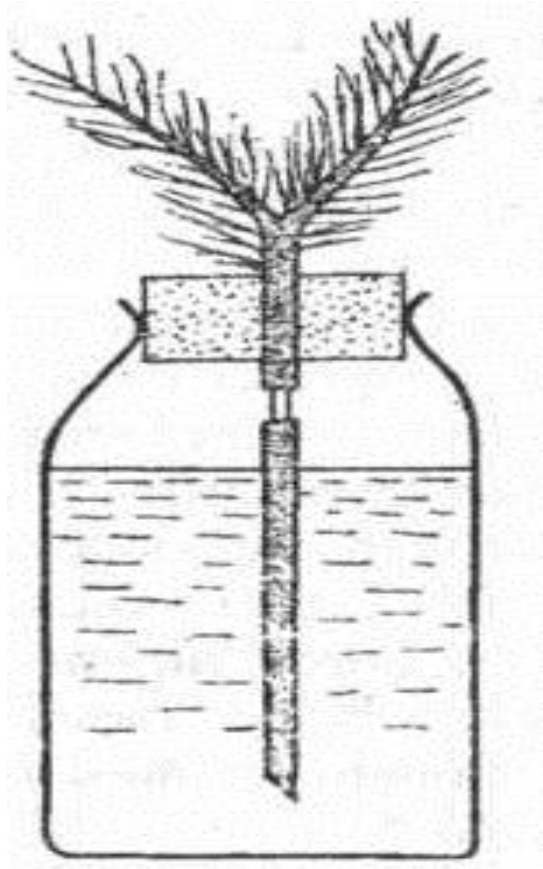


Рис. 21. Опыт по водообмену окольцованной ветки

Оставить банки на свету в условиях, одинаковых для обоих вариантов опыта.

Через 1–2 недели взвесить всю установку, вынуть пробку с веткой и взвесить банку с оставшейся в ней водой (если пробку заливали парафином, то перед взвешиванием необходимо тщательно удалить весь оставшийся на банке парафин). Оборвать всю хвою и взвесить ее.

Записать результаты в таблицу. Испаряющую поверхность вычислить исходя из того, что 1 г сырой хвои сосны обыкновенной соответствует поверхность 33 см^2 (поверхностью стебля пренебрегают). Интенсивность транспирации вычислить, разделив количество испаренной воды на площадь поверхности хвои и продолжительность опыта (в ч):

Сделать бритвой или острым скальпелем поперечные и продольные разрезы стеблей (включая зону кольцевания второй ветки) и зарисовать, обозначив красным карандашом части, окрашенные эозином.

Сделать вывод.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

–А–

Апопласт – это единая система клеточных стенок в растительной ткани. Наличие апопласта облегчает передвижение воды и растворенных в ней веществ по растительным тканям, поскольку движение идет путем свободной диффузии. Анатомически апопласт представлен межфибриллярными полостями клеточных стенок и межклетниками, а также сосудами ксилемы. Объем свободного пространства, например, корня, составляет 5–10% от всего объема корневой системы. Свободное пространство является внешним по отношению к протопластам клеток и внутренним по отношению к внешней среде.

Аквапорины – специальные каналы тонопласта через которые происходит перемещение воды. Они сформированы специфическими для тонопласта белками – TIPs (от англ. *Tonoplast intrinsic proteins*).

Аквапорины (от лат. *aqua* – вода и *poros* – отверстие) – это специальные белки, которые, встраиваясь в мембраны, образуют в липидном бислое *водные каналы*, или поры. Молекула такого белка состоит из 6 субъединиц, пересекающих липидный бислой. Ее внутренняя поверхность гидрофильна, что позволяет молекулам воды легко «проскакивать» через мембрану. Эти белки найдены практически в клетках всех растений. Удивительной особенностью аквапоринов является их фантастическое разнообразие. Так, например, в растениях хрустальной травки было обнаружено более 30 генов, кодирующих белки водных каналов. Все аквапорины в зависимости от их локализации в клетке могут быть разделены на две большие группы: аквапорины плазмалеммы и аквапорины тонопласта.

Растительные аквапорины обнаружены еще в конце 80–х годов прошлого столетия, но лишь спустя много лет было установлено, что они могут функционировать как очень эффективные водные каналы, ускоряющие диффузию молекул воды. Помимо трансмембранного переноса молекул воды они транспортируют через мембраны маленькие молекулы органических веществ (осмолитов), обеспечивающих осморегуляцию цитоплазмы.

Ацитоз клеточный – это падение величины pH цитоплазмы.

Аэропоника – метод выращивания растений без почвы, при котором корни находятся во влажном воздухе и периодически опрыскиваются мелкими каплями питательного раствора.

Аэренхима – это основная ткань, содержащая очень крупные межклетники. Встречается у водных и болотных растений, и назначение её двоякое. Прежде всего – этоместилище запасов воздуха для потребностей газового обмена. У растений, целиком погружённых в воду, условия газового обмена гораздо менее удобны, чем у наземных растений. Тогда как последние окружены со всех сторон воздухом, водные растения в лучшем случае находят в окружающей среде очень небольшие его запасы; эти запасы поглощаются уже поверхностными клетками, а в глубину толстых органов уже не доходят. Обеспечить себе нормальный газовый обмен растение может при этих условиях двумя путями: либо увеличивая поверхность своих органов при соответствующем уменьшении их массивности, либо собирая внутри своих тканей запасы воздуха. Оба эти способа и наблюдаются в действительности.

Отличие болотных растений и не вполне погружённых водных растений от вполне погружённых состоит в том, что обновление газов внутри аэренхимы происходит не только благодаря жизнедеятельности тканей, а и при помощи диффузии (и термодиффузии); в наземных органах система межклетников открывается наружу массой мельчайших отверстий – устьиц, сквозь которые путем диффузии и уравнивается по составу воздух межклетников с окружающим воздухом. Однако при очень крупных размерах растения такой путь обновления воздуха в аэренхиме корней был бы недостаточно быстр. Соответственно этому, например, у мангровых деревьев, растущих по морским берегам с илистым дном, некоторые разветвления корней растут из ила вверх и выносят в воздух, над поверхностью воды, свои верхушки, поверхность которых пронизана многочисленными отверстиями. Такие «дыхательные корни» имеют целью более быстрое обновление воздуха в аэренхиме питающих корней, разветвленных в бескислородном иле морского дна.

Второй задачей аэренхимы является уменьшение удельного веса растения. Тело растения тяжелее воды; аэренхима играет для растения роль плавательного пузыря; благодаря её присутствию даже тонкие, бедные механическими элементами органы держатся прямо в воде, а не падают в беспорядке на дно. Поддержание органов, главным

образом листьев, в положении, благоприятном для жизненных отправлений растения, достигаемое у наземных растений дорогой ценой образования массы механических элементов, достигается здесь у водяных растений просто переполнением аэренхимы воздухом.

Особенно ясно выражена эта вторая задача аэренхимы у плавающих листьев, где запросы дыхания могли бы быть удовлетворены и без помощи аэренхимы. Благодаря обилию межклетных воздухоносных ходов, лист не только плавает на поверхности воды, но и способен выдержать некоторую тяжесть. Особенно славятся этим свойством гигантские листья *Victoria regia*. Аэренхима, выполняющая роль плавательных пузырей, нередко и образует, в самом деле, на растении пузырьвидные вздутия. Такие пузыри встречаются как у цветковых растений (*Eichhornia crassipes*, *Trianea bogotensis*), так и у высших водорослей: *Sargassum bacciferum*, *Fucus vesiculosus* и другие виды снабжены прекрасно развитыми плавательными пузырями.

–В–

Вода – это вещество, которое по своей химической природе молекула воды является *диполем*: один ее полюс заряжен положительно, а другой – отрицательно. Это влияет на состояние воды в клетке, так как в ней, во-первых, содержится много ионов и, во-вторых, положительно и отрицательно заряженные группы атомов входят в состав биополимеров. Благодаря этому в клетках есть *связанная* и *свободная* вода.

Вода гомеостатическая – это то минимальное количество воды, при котором растение способно поддерживать постоянство своей внутренней среды. Для большинства растений это 45–60%.

Водный обмен растения – состоит из взаимосвязанных процессов поступления, транспорта и выделения.

Водный баланс – это соотношение между процессами поступления и расходом воды. В естественных условиях обитания возможны три варианта: поступление больше расхода, равно ему или меньше. В умеренно влажные и не слишком жаркие дни транспирация хорошо согласована с поступлением воды, оводненность тканей довольно постоянна. В жаркие летние дни расход воды на транспирацию превышает ее поступление, возникает водный дефицит.

Водный дефицит – это разница между содержанием воды в период максимального насыщения ею тканей и ее содержанием в растении в данное время; он выражается в процентах от максимального содержания воды в растении. Полуденный водный дефицит является нормальным явлением и не причиняет растению особого вреда. Одним из условий нормального функционирования наземных растений является отсутствие длительного и сильного дефицита влаги.

Водный потенциал клетки ($\psi_{\text{кл}}$) – это разность между свободной энергией воды внутри и вне клетки при той же температуре и атмосферном давлении.

Водный потенциал клетки – это мера энергии, с которой вода устремляется в клетку.

Величина водного потенциала клетки определяется степенью ее насыщенности водой: чем больше клетка насыщена водой, тем менее отрицателен ее водный потенциал. Чем выше концентрация растворенных веществ в вакуоли или в другой осмотической ячейке, тем сильнее связывается вода, тем меньше энергии расходуется на движение, тем ниже водный потенциал в этой ячейке, тем больше разность потенциалов и тем быстрее поступает вода. Водный потенциал клетки – это мера энергии, с которой вода устремляется в клетку.

Таким образом, водный потенциал клетки показывает, насколько энергия воды в клетке меньше энергии чистой воды, и характеризует способность воды диффундировать, испаряться или поглощаться.

Водный потенциал клетки – это химический потенциал воды. Причем, чем ниже энергия молекул воды, тем ниже ее водный потенциал. Добавление к воде растворимых веществ уменьшает ее химический потенциал, так как ионы связывают воду. Следовательно, химический потенциал чистой воды наибольший; условно при стандартной температуре и стандартном давлении он принят равным нулю. Поэтому химический потенциал любого раствора – *отрицательная величина* и с увеличением концентрации растворенных веществ становится все более отрицательным.

Восходящий ток – характеризует особенности движения воды по растению, причем основная масса воды двигается именно вверх по растению: из корней в листья. Осуществляется по сосудам (90%) и ситовидным трубкам. Объем воды, передвигающийся от листьев вниз к корням очень небольшой.

Гидатоды – это водяные устьица.

Гидротропизм – это изгибание растущих частей растения под влиянием неравномерного распределения воды. Характерен, прежде всего, для корней.

Гипобиоз (греч. *huro* – плод, вниз и *bios* – жизнь) – это состояние, в которое растения переходят в условиях глубокого обезвоживания (5–15% воды от их массы). Это состояние, характеризуется наличием в клетках только связанной воды, образующей оболочки вокруг полярных групп веществ. Связанная вода не растворяет вещества, что является одной из причин практического прекращения биохимических процессов при сильной дегидратации.

Гипоксия (от греч. *huro* – под – приставка, указывающая на понижение против нормы; *oxis* – кислород) – это процесс связан со снижением уровня кислорода в окружающей среде.

Гликофиты (от греч. *glykys* – сладкий, *phyton* – растение) – это растения, «пресных» местообитаний, т.е. обладающие весьма ограниченными способностями приспосабливаться в процессе онтогенеза к высокому содержанию солей в почве.

Глиоксисома – микротела растительной клетки, возникают при прорастании семян масличных растений и содержат ферменты глиоксилатного цикла.

Гидатоды – специальные водяные устьица, которые могут открываться и закрываться. Располагаются по краю и на верхушке листовой пластинки. Полость гидатоды выстлана эпителием – мелкоклеточной бесхлорофилльной паренхимой.

Гидротропизм положительный – это важное свойство корня как органа поглощения воды. Т.е. при недостатке воды растущие части корня изгибаются и растут в сторону влажных участков почвы.

Гликолиз – катаболический путь исключительной важности. Он обеспечивает энергией клеточные реакции, в том числе и синтез белка. Промежуточные продукты гликолиза используются при синтезе жиров. Пируват также может быть использован для синтеза аланина, аспартата и других соединений. Благодаря гликолизу производительность митохондрий и доступность кислорода не ограничивают мощность мышц при кратковременных предельных нагрузках.

Гомойогидрические растения (от греч. *homoios* – сходный, одинаковый и *hydor* – вода) это группа растений, выделяемая по способности регулировать свой водный обмен, представители которой осуществляют его регуляцию самостоятельно. Гомойогидрическими являются покрытосеменные растения.

Градиент концентрации – это векторная физическая величина, характеризующая величину и направление наибольшего изменения концентрации какого-либо вещества в среде. Например, если рассмотреть две области с различной концентрацией какого-либо вещества, разделенные полупроницаемой мембраной, то градиент концентрации будет направлен из области меньшей концентрации вещества в область с большей его концентрацией.

Гуттация (от лат. *gutta* – «капля») – процесс появления капельножидкой воды на поверхности листа, при насыщении воздуха водяными парами. Происходит через гидатоды – специальные водяные устьица. Слабая освещённость, высокая влажность способствуют гуттации. Гуттация весьма обычна у многих растений влажных тропических лесов и часто наблюдается на кончиках листьев молодых проростков.

–Д–

Диффузия – движение молекул или ионов из области с высокой концентрацией в область с более низкой концентрацией, иными словами, это движение по градиенту концентрации.

Диффузия – самопроизвольный процесс переноса вещества, приводящий к выравниванию концентраций в системе в результате беспорядочного теплового движения атомов, ионов, молекул в газах, жидкостях и твердых телах. Скорость диффузии зависит от плотности и вязкости среды.

Диффузия – это процесс, ведущий к равномерному распределению молекул растворенного вещества и растворителя.

Диффузия облегченная – это транспорт растворенных веществ через мембрану по градиенту электрохимического потенциала с помощью переносчика.

Дегидрирование – это реакция отщепления водорода от молекулы органического соединения. Является обратимой. Обратная реакция – гидрирование. Смещению равновесия в сторону дегидрирования способствует повышение температуры и понижение

давления, в том числе разбавление реакционной смеси. Катализаторами реакции гидрирование – дегидрирование являются металлы: никель, платина, палладий, медь, серебро и полупроводниковые оксиды, например, Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , ZnO , MoO_3 .

–З–

Засуха – неблагоприятное сочетание метеорологических условий, при которых растение испытывает водный дефицит. Различают атмосферную и почвенную засуху.

Засуха физиологическая – это состояние, при котором растение испытывает водный дефицит, несмотря на достаточное количество воды в окружающей среде. Наблюдается не только на холодных, но и на плохо аэрируемых, плохо дренированных, затопляемых водой почвах.

Засухоустойчивость – это способность растений в течение онтогенеза переносить засуху и осуществлять в этих условиях рост и развитие благодаря наличию ряда приспособительных свойств.

Зимостойкость – это устойчивость растений не только к холоду, но и к целому комплексу неблагоприятных условий, связанных с перезимовкой.

–К–

Компартменты – это определенные отсеки эукариотической клетки, которые окружены мембранами и образуют органеллы. У эукариотической клетки таких отсеков несколько.

Коэффициент диффузии – определяет количество вещества, продиффундировавшего через квадратный сантиметр поверхности за единицу времени при градиенте концентрации, равном единице.

–Н–

Набухание – это способность высокомолекулярного вещества поглощать жидкость или пар, сопровождаемое увеличением объема данного вещества. Набухание может рассматриваться как особый вид диффузии, так как движение воды идет по градиенту концентрации. Присутствие органических веществ, связывающих воду, понижает водный потенциал.

Нисходящий ток – характеризует особенности движения воды по растению. Осуществляется только по ситовидным трубкам. Объем воды, передвигающийся от листьев вниз к корням очень небольшой.

–О–

Осмоз – (от греч. *osmos*– давление, толчок) диффузия веществ через мембрану, разделяющую раствор и чистый растворитель или два раствора различной концентрации.

Осмоз (от греч. *osmos* – давление, толчок) – односторонняя диффузия молекул воды или другого растворителя через полупроницаемую мембрану. Причиной осмоса является разность концентраций растворов по обе стороны полупроницаемой мембраны. В 1748 г. **А. Ноллет** впервые наблюдал, как растворитель проходит через мембрану из разбавленного раствора в более концентрированный.

Осмоз играет важную роль во многих биологических процессах. Мембрана, окружающая нормальную клетку крови, проницаема лишь для молекул воды, кислорода, некоторых из растворенных в крови питательных веществ и продуктов клеточной жизнедеятельности; для больших белковых молекул, находящихся в растворенном состоянии внутри клетки, она непроницаема. Поэтому белки, столь важные для биологических процессов, остаются внутри клетки.

Осмоз участвует в переносе питательных веществ в стволах высоких деревьев, где капиллярный перенос не способен выполнить эту функцию.

Осмоз широко используют в лабораторной технике: при определении молярных характеристик полимеров, концентрировании растворов, исследовании разнообразных биологических структур. Осмотические явления иногда используются в промышленности, например при получении некоторых полимерных материалов, очистке высокоминерализованной воды методом «обратного» осмоса жидкостей.

Клетки растений используют осмос также для увеличения объёма вакуоли, чтобы она распирала стенки клетки (тургорное давление). Клетки растений делают это путём запасания сахарозы. Увеличивая или уменьшая концентрацию сахарозы в цитоплазме, клетки могут регулировать осмос. За счёт этого повышается упругость растения в целом. С изменениями тургорного давления связаны многие движения

растений (например, движения усов гороха и других лазающих растений). Пресноводные простейшие также имеют вакуоль, но задача вакуолей простейших заключается лишь в откачивании лишней воды из цитоплазмы для поддержания постоянной концентрации растворённых в ней веществ.

Осмоз также играет большую роль в экологии водоёмов. Если концентрация соли и других веществ в воде поднимется или упадёт, то обитатели этих вод погибнут из-за пагубного воздействия осмоса.

Осмометр Дютроше – прибор, сделанный в 1826 г. французский ботаник **Г. Дютроше**. Он имел очень простое строение: к кончику стеклянной трубки привязывался мешочек из пергамента, заполненный раствором соли или сахара, и опускался в стакан с водой. При этом вода поступала в мешочек, и раствор немного поднимался по трубке. Это была простейшая модель клетки

Осмометр Пфеллера – это модель растительной клетки, созданная в 1877 г. немецким ботаником **В. Пфеллером**. Роль клеточной стенки играл пористый фарфоровый сосуд. Полупроницаемую мембрану получили, налив внутрь фарфорового сосуда раствор медного купороса и погрузив этот сосуд в другой, – с раствором ферроцианида калия. В результате в порах фарфорового сосуда, где оба раствора соприкасались, возникла полупроницаемая мембрана из ферроцианида меди – $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Затем фарфоровый сосуд наполнили раствором сахара, играющим роль клеточного сока, и поместили в цилиндр с водой. Вода стала поступать в фарфоровый сосуд. То же самое наблюдается и в клетке: если поместить ее в воду, вода поступает в вакуоль.

Осмотическая система – это система, в которой можно наблюдать осмос. Она состоит из растворов разных концентраций или из раствора и растворителя, разделенных полупроницаемой мембраной.

Осмотическая ячейка – пространство, окруженное такой мембраной и заполненное каким-нибудь раствором.

Осмотическая ячейка – это система, в которой можно наблюдать осмос. Она состоит из растворов разных концентраций или из раствора и растворителя, разделенных полупроницаемой мембраной. Таким образом, любая органелла цитоплазмы, окруженная мембраной, представляет собой осмотическую ячейку. В результате осмотическое передвижение воды происходит также между отдельной органеллой и цитозолем.

Осмотическое давление (π) – это то дополнительное давление, которое необходимо приложить к раствору, чтобы помешать одностороннему току растворителя (воды) в раствор через полупроницаемую мембрану. Давление столба жидкости в трубке служит мерой осмотического давления раствора.

Осмотическое давление (π) – это сила, с которой молекулы воды преодолевают мембрану, двигаясь по градиенту водного потенциала.

Или это избыточное гидростатическое давление на раствор, отделённый от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается диффузия растворителя через мембрану. Это давление стремится уравнивать концентрации обоих растворов вследствие встречной диффузии молекул растворённого вещества и растворителя.

Осмотики – см. осмотически активные вещества.

– II –

Пойкилотермные (греч. *poikilos* – разный, *therme* – жар) – это организмы, у которых температура тела меняется в зависимости от температуры окружающей среды. Однако в действительности растения являются ограниченными пойкилотермами, поскольку способны частично регулировать температуру своих тканей за счет транспирации.

Пойкилогидрические растения (от греч. *poikilos* – различный, разнообразный и *hydor* – вода) – это группа растений, выделяемая по способности регулировать свой водный обмен, представители которой не могут самостоятельно его осуществлять. К этой группе относятся почвенные водоросли, лишайники, мхи, папоротники и некоторые покрытосеменные.

Показатели транспирации – см. интенсивность, продуктивность, транспирационный коэффициент.

Проводящие ткани – это ткани, основным назначением которых является передвижение воды и органических веществ в теле растения. В растительном организме образуют непрерывную разветвленную систему, соединяющие все органы. Различают два типа – ксилему и флоэму, причем каждая из них является комплексной.

Плач растения – это процесс выделения пасоки из разрезанного стебля растения. Явление «плача» является доказательством того, что через корневую систему идет односторонний ток воды.

–Р–

Раствор изотонический (изоосмотический) – растворы с одинаковым осмотическим давлением.

Раствор гипертонический – раствор, который имеет большее осмотическое давление. Если клетка находится в гипертоническом растворе, то вода выходит из клетки (*экзосмос*). В данных условиях вакуоль сжимается, объем протопласта уменьшается, и протопласт отделяется от клеточной стенки. Происходит плазмолиз.

Раствор гипотонический – раствор, который имеет меньшее осмотическое давление. Если клетка находится в гипотоническом растворе или в воде, вода входит в нее (*эндосмос*).

–С–

Симпласт– состоит из протопластов клеток, соединенных плазмодесмами, его внешней границей служат плазматические мембраны. В силу особенностей растительной клетки он имеет и вторую внутриклеточную границу – тонопласт, отделяющий цитозоль от вакуоли.

–Т–

Трансвакуолярный путь движения воды – это особый путь движения воды, выделяемый в ближнем транспорте, и характеризующийся тем, что во время движения воды по симпласту она (вода) может из цитозоля поступать в вакуоль.

Транспирационный коэффициент – это количество граммов воды, израсходованной растением при накоплении 1 г сухого вещества. Чтобы рассчитать его величину, нужно определить интенсивность транспирации и увеличение сухой массы растения и первую величину разделить на вторую. Если у проса транспирационный коэффициент равен 300, то это значит, что растение должно испарить 300 г воды, чтобы его сухая масса увеличилась на 1 г. Средняя величина транспирационного коэффициента варьирует у разных растений от 100

до 1000 г воды/г сухого вещества; чаще она равна 300–500. Средняя величина транспирационного коэффициента у C_3 -растений – 600, у C_4 – растений – 300, а у растений САМ-типа она колеблется от 33 до 240 г воды/г сухого вещества.

Агрономы часто рассчитывают величину, обратную транспирационному коэффициенту и называемую продуктивностью транспирации.

Транспорт активный – это перенос веществ через мембраны против градиента химического и электрохимического потенциала, сопряженный с затратой энергии и обеспечивающий накопление в клетке веществ в концентрациях, намного превышающих их содержимое во внешней среде носит название.

Транспорт пассивный – процесс транспорта веществ в растительную клетку, осуществляющийся по градиенту химического и электрохимического потенциала без затрат энергии.

Транспорт ближний – передвижение воды и веществ по растению в пределах тканей одного органа. Осуществляется по неспециализированным тканям.

Транспорт дальний – передвижение воды и веществ по растению между разными органами. Для его осуществления имеются специализированные структуры, называемые проводящими тканями.

Транспирация – сложный физиологический процесс испарения воды надземными органами растительного организма. Это процесс, регулируемый самим растением. Термин «транспирация», введен для того, чтобы показать отличие этого физиологического процесса от физического процесса испарения воды.

Транспирация относительная – это отношение интенсивности транспирации к скорости испарения с водной поверхности такой же площади, как и площадь листьев. Величина относительной транспирации колеблется от 0,01 до 1,0.

Транспирация устьичная – это процесс испарения воды через устьица. Несмотря на то, что длина устьичной щели 20–30, а ширина 4–6 мкм. Однако скорость диффузии водяного пара через устьица довольно большая, так как, согласно закону И.Стефана, испарение с малых поверхностей (площади устьичной щели) пропорционально не их площади, а диаметру. Поэтому хотя устьица занимают 1–2% площади листа, транспирация достигает 50–70% испарения с равной по величине водной поверхности и даже больше.

Транспирация кутикулярная – это процесс испарения воды через всю поверхность листовой пластинки. У молодых листьев кутикулярная транспирация составляет 30–50% общей интенсивности транспирации, у взрослых – она в 10 раз слабее. У кактусов, кутикулярная транспирация практически отсутствует. У сахарного тростника ее интенсивность обычно равна устьичной, так как некоторые из клеток верхней эпидермы имеют очень тонкие стенки.

Транспорт ионов пассивный – передвижение ионов по градиенту электрохимического потенциал.

Тургор – это переход клетки в «напряженное» состояние клетки, которое возникает при растяжении клеточной стенки из-за поступления воды в клетку.

Тургорное давление – это давление протопласта на клеточную стенку. Если бы клеточная стенка могла растягиваться неограниченно, то поступление воды в вакуоль шло бы до тех пор, пока концентрация растворов снаружи и внутри клетки не сравнялась. Но так как клеточная стенка имеет небольшую эластичность, она начинает давить на протопласт в противоположном направлении.

Тургорное натяжение – это давление клеточной стенки на протопласт.

–У–

Увядание – это физиологический процесс, возникающий при водном дефиците. При увядании происходит потеря клетками тургора, в результате быстро расходуящие воду листья и молодые верхушки стеблей повисают, устьица закрываются, и транспирация уменьшается. Именно в этом и заключается приспособительное значение увядания. Однако остальные части растения содержат еще много воды. Различают два типа увядания: временное и длительное.

Устьица – анатомические структуры эпидермальных тканей растений, которые являются основными «воротами» для поступления CO_2 .

ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Требования к помещению лаборатории и технике безопасности

В каждой лаборатории должны быть средства пожаротушения и индивидуальной защиты – огнетушители, емкости с песком, асбестовое одеяло, резиновые сапоги и фартук, защитные очки, респираторы, резиновые перчатки, деревянный шест с крючком.

В лаборатории необходимы емкости (15–20 л) из полиэтилена или других антикоррозионных материалов для слива ненужных, отработанных реактивов. Эти емкости по мере наполнения вывозят в специальные хранилища.

На видном месте должна находиться аптечка с набором медикаментов и препаратов, таких как мазь от ожогов, 3%–ный раствор гидрокарбоната натрия (против кислотных ожогов), 1%–ный раствор уксусной кислоты (от щелочных ожогов), этиловый спирт, настойка йода, жгут, пластырь, перевязочные средства, вода, мензурка для капель, нашатырь, сердечные средства.

В лаборатории недопустимо скопление большого числа работающих.

Перед началом цикла работ в лаборатории студентам необходимо ознакомиться с общими для всех лабораторий правилами техники безопасности и расписаться в книге инструктажа.

Общие правила работы

1. Работать тщательно, аккуратно, без спешки; соблюдать тишину.

2. Не загромождать рабочее место портфелями, свертками, сумками и т.п. - для них отведены специальные места.

3. Курение, прием пищи (и ее хранение), употребление напитков в лаборатории **запрещены**.

4. Желательно работать на одном и том же месте, иметь халаты, резиновые перчатки, очки и другие средства защиты.

5. Прежде чем приступить к работе по данной теме, необходимо тщательно ознакомиться с ее описанием.

6. Без указания и разрешения преподавателя не производить никаких дополнительных опытов.

7. Перед работой с прибором и установками студент обязан прочно усвоить принципы действия прибора и основные правила обращения с ним.

8. Не брать приборы, аппараты, реактивы общего пользования на свое рабочее место.

9. Расходовать реактивы следует экономно. Если препарата приуготовлено больше, чем необходимо, то его излишки надо сливать в определенную емкость, но не возвращать в склянку.

10. Пользоваться можно только маркированными реактивами.

11. Работы с вредными веществами проводить только под тягой. Концентрированные кислоты и щелочи наливать осторожно под вытяжным шкафом; не брать их на свои рабочие места.

12. Если случайно пролита кислота или щелочь, то необходимо быстро смыть раствор интенсивной струей воды из водопроводного крана, а потом обратиться к лаборанту и по его указанию привести в надлежащий порядок свое рабочее место.

13. Не выливать в раковину отработанные концентрированные кислоты и щелочи, а пользоваться для этого банками, установленными под тягой.

14. Никакие вещества в лаборатории нельзя пробовать на вкус. Если необходимо определить запах газа или паров жидкости, хранящейся в банке или сосуде, нельзя подносить их близко к лицу, следует легкими движениями руки направить воздух от горлышка или отверстия сосуда к носу.

15. В процессе каких-либо реакций на воздухе или при нагревании нельзя держать сосуд отверстием к себе или другим работающим.

16. Горячие приборы и посуду ставить только на специальные подставки, а не на открытый стол.

17. Нельзя пользоваться при проведении опытов грязной посудой.

18. Нельзя использовать стеклянную посуду, если на ней имеются трещины, сколы, щербинки. При обработке стекла напильником следует смочить его водой, чтобы стеклянная пыль не попала в глаза. Перед тем как вставлять стеклянную трубку в резиновый шланг или пробку, их нужно смочить водой или глицерином, а руку обмотать полотенцем. Это предохранит от тяжелых травм.

19. При работе с вакуумными приборами всегда имеется

опасность взрыва. Прибор следует поместить в проволочную сетку или хотя бы обернуть полотенцем.

20. Внимательно следить, чтобы не было утечки газа, в противном случае немедленно сообщать об этом лаборанту или преподавателю.

21. После окончания работы нужно вымыть использованную посуду, выключить воду, газ, электричество и приведенное в порядок место сдать лаборанту.

22. Тщательно вымыть руки теплой водой с мылом и щеткой.

ХИМИЧЕСКАЯ ПОСУДА

По назначению посуду можно разделить на посуду общего назначения, специального и мерную.

Посуда общего назначения необходима для большинства работ и всегда есть в лаборатории. Это пробирки, воронки простые и делительные, колбы плоскодонные, стаканы, кристаллизаторы, конические колбы (Эрленмейера), колбы Бунзена, холодильники, реторты.

Специальная посуда применяется только для какой-то определенной цели, например, аппарат Киппа, аппарат Сокслета, приборы для определения плотности, молекулярного веса и др.

К **мерной посуде** относят мерные цилиндры и мензурки, пробирки пипетки, бюретки и мерные колбы.

При проведении качественных опытов применяют пробирки вместимостью 5–6 мл, чаще конические. Их помещают в пластмассовые или деревянные штативы. Совершенно недопустимо прислонять пробирки с веществами к каким-либо предметам.

Объем реагентов в пробирке не должен превышать $1/4$ объема. Сыпучие вещества вносят в пробирку с помощью шпателя или совочка из кальки или бумаги шириной, немного меньшей диаметра пробирки, а длиной, соответствующей длине пробирки. Реактивы, налитые в пробирку, перемешивают в левой руке, ударяя по низу пробирки указательным пальцем правой руки. Если пробирка заполнена жидкостью больше чем наполовину, ее содержимое перемешивают стеклянной палочкой. Нельзя закрывать пробирку пальцем и встряхивать ее содержимое.

Нагревать вещества до 100°C (температура кипения воды) можно и в конических колбах, и в химических стаканах на

электроплитке или газовой горелке с асбестированной сеткой. Реакции при более высокой температуре проводят в круглодонных колбах.

Различные сорта стекол обладают разными термическими свойствами. Обычное химическое стекло из-за высокого температурного коэффициента расширения термически малоустойчиво. Тонкостенную посуду и изделия из обычного химического стекла можно нагревать только до температуры кипения воды на асбестовой сетке, избегая резких изменений температуры. Нельзя нагревать кристаллизаторы – плоскодонные стеклянные толстостенные чашки. Стекло «пирекс» жароустойчиво и химически устойчиво. Высокой механической прочностью и термоустойчивостью характеризуется и «молибденовое» стекло, однако оно химически менее устойчиво. Наиболее термостойко кварцевое стекло.

Для хранения и переливания небольших количеств жидкостей используют капельницы, пипетки и бюретки. **Капельницы** бывают чаще всего двух типов. Сдавливая и отпуская резиновый колпачок (от глазной пипетки) капельницы, можно набирать в пипетку жидкость, отливать нужное число капель. Из капельницы с клювиком жидкость выливается в сосуд при нагревании воздуха над раствором теплом руки.

В лабораториях пользуются **пипетками Мора** (простые) и **пипетками градуированными**. Последние применяют для отмеривания различных объемов жидкости. Пипетки Мора предназначены для переноса определенного объема жидкости из одного сосуда в другой.

Пипетки наполняют жидкостью следующим образом. Пипетку берут большим и средним пальцами и опускают нижний конец ее в жидкость; через верхний конец пипетки ртом всасывают жидкость так, чтобы уровень ее поднялся выше метки. Быстро закрывают указательным пальцем верхнее отверстие пипетки. Держа пипетку строго вертикально, поднимают ее так, чтобы метка оказалась на уровне глаз, затем понемногу ослабляют палец на верхнем отверстии пипетки, чтобы жидкость медленно вытекала. В тот момент, когда нижняя часть мениска опускающейся жидкости коснется метки, верхнее отверстие опять плотно закрывают пальцем.

Ядовитые и сильно пахнущие жидкости, а также крепкие растворы кислот и щелочей рекомендуется отбирать резиновой

грушей, присоединяя ее при помощи резиновой трубки к верхнему концу пипетки. После насасывания грушу снимают и жидкость доводят до метки, как было указано выше.

Бюретки применяют для титрования раствора, используемого в лаборатории в объемном анализе. Для отсчета малых объемов жидкости используют микробюретки.

Бюретку споласкивают 3–4 раза дистиллированной водой и 3 раза небольшими порциями заполняемого раствора. Каждый раз после промывания дают возможность жидкости полнее стечь из бюретки. Затем бюретку наполняют раствором несколько выше верхней черты и открывают кран или зажим так, чтобы кончик бюретки наполнился раствором и вышли все пузырьки воздуха. Если из кончика бюретки пузырек не выходит, надо, согнув каучуковую трубку, поднять кверху кончик бюретки и открыть зажим. Пузырек быстро поднимается вверх и выходит. Если бюретка с краном, можно удалить пузырек, резко открыв кран и пустив сильную струю раствора, или при помощи резиновой груши.

Перед самым началом титрования надо довести уровень жидкости в бюретке до нулевой черты. Точность отсчетов по бюретке составляет 0,02 мл. Поэтому отсчеты следует записывать с двумя десятичными знаками (например, 15,00 или 16,34). Микробюретки в отличие от обычных имеют градуировку 0,01 мл, что дает возможность делать отсчеты с большей точностью.

Мерная (измерительная) **химическая посуда** применяется для отмеривания (и измерения) объемов жидкостей или для приготовления растворов заданного объема и определенной концентрации. На наружной стенке цилиндров и мензурок нанесены деления, указывающие объем в миллиметрах или в долях миллиметра (1 мл соответствует 1 см^3 , $1000\text{ мл} = 1\text{ л}$, 1 л соответствует 1 дм^3 , $1\text{ дм}^3 = 1 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$). Кольцевая метка на горле колбы соответствует указанному на ней объему при 25°C . Чтобы отмерить нужный объем жидкости или определить имеющийся, жидкость наливают в измерительный сосуд до тех пор, пока край мениска не достигнет желаемого деления. Глаз и поверхность жидкости должны находиться в одной горизонтальной плоскости. Обычно измерение объема проводят по нижнему краю мениска, если жидкости, смачивающие стекло, прозрачные, и по верхнему – для непрозрачных.

Вся мерная посуда должна быть тщательно вымыта хромовой

смесью и промыта водой.

При пользовании градуированной мерной посудой важно знать так называемую цену деления, т.е. сколько миллилитрам или долям миллилитра жидкости соответствует каждое деление.

Цена деления определяется следующим образом: на шкале находят нулевое деление, а затем, внимательно рассматривая шкалу, находят следующее деление, обозначенное цифрой. Например, объем от 0 до 1 составляет 1 мл; считают число мелких делений между нулем и первой значащей цифрой; непосредственно определяют цену одного деления. Для этого объем от нуля до значащей цифры делят на число делений.

Фарфоровая посуда более прочная, чем стеклянная. Обычно используются фарфоровые стаканы различных вместимостей, чашки для выпаривания разного диаметра, ступки, фарфоровые тигли, воронки Бюхнера, ложки и шпатели.

Посуда из полиэтилена, фторопласта и других пластиков также есть в лабораторном обиходе. Она легкая, прочная, химически стойкая. Чаще всего используют флаконы и промывалки из полиэтилена, воронки, мензурки и центрифужные пробирки из него. В полиэтиленовую посуду можно наливать горячие растворы с температурой до 200°C. Недостатком полиэтиленовой посуды является способность прочно адсорбировать азотную и соляную кислоты. После них отмыть полиэтиленовую посуду довольно трудно.

Эксикаторы применяют для высушивания материала и сохранения веществ, поглощающих влагу из воздуха, а также для вакуум-инfiltrации растворов в растения. Стеклянная крышка эксикатора притерта к верхнему цилиндру. Эксикаторы бывают обыкновенные и вакуумные, имеющие краник. Можно соединить эксикатор с вакуумным насосом, создаваемое внутри разрежение способствует высушиванию хранящегося в нем материала.

Притертые части эксикатора должны быть смазаны вазелином или вакуумной смазкой. Внутри на дно цилиндра помещают фарфоровую вкладку. В качестве поглотителей в эксикаторе используют безводный хлористый кальций, силикагель и фосфорный ангидрид – самый сильный поглотитель воды. Количественную часть эксикатора заполняют поглотителем примерно на треть высоты. Для поглощения воды можно использовать и серную кислоту, но лишь когда ее пары не взаимодействуют с материалом в эксикаторе.

Маркировка посуды. Каждая колба, пробирка или сосуд должны

быть маркированы, т.е. на них должны быть обозначены название вещества, номер опыта, дата, время и другие нужные сведения.

Чаще всего применяют временную маркировку восковыми карандашами (некоторые выдерживают высокую температуру, даже автоклавирование). Применяют также чернила разного цвета, фломастеры и стеклографы.

Сосуды для растений обычно маркируют, втыкая в субстрат. Деревянную или пластмассовую планку (можно использовать деревянный медицинский шпатель), а также привязывая бумажные этикетки. Пластмассовые контейнеры можно пометить липкой лентой, фломастером или восковым карандашом для стекла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барбер, С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С. А. Барбер. – М., 1988. – 376 с.
2. Водный обмен растений / В.Н. Жолкевич, Н.А. Гусев, В.А. Капля и др. – М. : Наука, 1989.
3. Голованова, Т. И. Физиология растений : учеб. пособие / Т.И. Голованова, Н.П. Белоног, Т.Б. Горбанева; Красноярский гос. ун-т. – Красноярск, 2003.
4. Гэлстон, А. Жизнь зеленого растения / А. Гэлстон, П. Девис, Р. Сэттер. – М. : Мир, 1983.
5. Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кёрнер К. Ботаника. Физиология растений. Москва. Издательский центр «Академия», 2008. 496 с.
6. Кузнецов, В. В. Физиология растений / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высш. шк., 2006. – 742 с.
7. Малый практикум по физиологии растений / под ред. А. Т. Мокроносова. – 9-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 202 с.
8. Медведев, С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. – СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. – 336 с.
9. Полевой, В. В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М. : Высш. шк., 1989.
10. Справочник терминов и понятий по физиологии и биохимии растений (Под ред. М.Н.Кондратьева). М.: РГАУ–МСХА, 2007 г.
11. Усманов, И. Ю. Экологическая физиология растений / И. Ю. Усманов, З. Ф. Рахманкулова, А. Ю. Кулагин. – М. : Логос, 2001.
12. Учебник по физиологии растений для студентов биологических специальностей вузов / под. ред. И. П. Ермакова. – М. : Изд. центр «Академия», 2005.
13. Якушкина, Н. И. Физиология растений / Н. И. Якушкина. – 3-е изд. – М. : Просвещение, 2003.

Интернет-ресурсы:

1. www.school.edu.ru
2. www.sbio.info
3. www.cbio.ru
4. www.window.edu.ru
5. www.humanities.edu.ru
6. www.ecosystema.ru
www.zipsites.ru/books/microbiol

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ	4
ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП	25
РОЛЬ РАСТЕНИЙ В КРУГОВОРОТЕ ВОДЫ В БИОСФЕРЕ	29
БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ, И ЕЕ ПОСТУПЛЕНИЕ В РАСТЕНИЕ.	30
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ по теме: «ВОДНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ».	
Растительная клетка как осмотическая система.	43
Лабораторная работа № I.–1.	45
Работа № I.–1–1. Определение сосущей силы клеток по изменению концентрации растворов	47
Работа № I.–1–2. Тургор растительной клетки. Поглощение воды и ее выход из клеток корнеплода моркови.	49
Определение водного потенциала растительных тканей	49
Лабораторная работа № I.–2. Работа № I.–2–1. Определение осмотического давления клеточного сока плазмолитическим методом (по де–Фризу).	49
ИЗУЧЕНИЕ УСТЬИЧНОГО АППАРАТА	52
Лабораторная работа № I.–3.	52
Работа № I.–3–1. Наблюдение за движением устьиц	52
Работа № I.–3–2. Влияние внешних условий на состояние устьиц (по Молишу)	53
Работа № I.–3–3. Определение состояния устьиц методом отпечатков.	54
ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЫ РАСТЕНИЕМ.	57
Лабораторная работа № I.–4–1. Зависимость набухания семян от характера запасных веществ	57
Работа № I.–4–2. Влияние концентрации раствора на проращивание семян	58
Работа № I.–4–3. Потометрический метод определения скорости поглощения воды растением	59
Работа № I.–4–4. Водообмен ветки сосны.	61
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ	64
ТЕХНИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	77
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	84

Подписано в печать 16.12.2015 г. Формат 60x90 1/6
У.п.л. 3.20. Бумага офисная. Печать-ризография.
Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет»
Адрес: 364037 ЧР, г. Грозный,
ул. Киевская, 33.
