

ТЕМА 5

ВОДНЫЙ РЕЖИМ

1. Вода, её свойства, значение и формы в растении
2. Корневая система как орган поглощения воды. Корневое давление. Факторы, влияющие на поглощение воды
3. Формы воды в почве, её доступность растениям
4. Транспирация, виды, размеры и биологическое значение
5. Поглощение растением воды и её передвижение в системе почва-растение-атмосфера
6. Водный баланс, водный дефицит, коэффициент завядания
7. Физиологические основы орошения

Вопрос 1. Вода, её свойства, значение и формы в растении

Содержание воды в растениях: (% сырой массы)

- сочные плоды – 80...95%,
- молодые корни и листья - 70...90%,
- зрелые семена - 5...15 %.

Гомеостатичная вода – пороговое содержание воды в тканях растения, ниже которого растение уже не в состоянии поддерживать основные физиологические функции

Содержание гомеостатической влаги:

- *гигрофиты* – 65...70 % сырой массы,
- *мезофиты* - 45...60 %,
- *ксерофиты* - 25...27 %

Вода может быть в трех агрегатных состояниях:

- **жидкая** (в клеточном соке, цитоплазме)
- **газообразная** – (в межклетниках)
- **твердая** – кристаллическое состояние (лед) (не участвует в физиологических процессах)

Структура воды определяет её свойства и значение в биологических процессах

Формы воды в растении:

- **Свободная вода** (с неизменными физико-химическими свойствами) составляет около 2/3 общего объема воды. Сохраняет все свойства чистой воды: легко подвижна, вступает в химические реакции, испаряется и замерзает.

- **Связанная вода** (с измененными физико-химическими свойствами вследствие взаимодействия с неводными компонентами) составляет 1/3 общего объема воды. Различают коллоидно-, осмотически и капиллярно связанную воду.

- ✓ **Коллоидно-связанная** – вода, связываемая молекулами биополимеров, находящаяся внутри коллоидной системы, на поверхности коллоидов и между ними. Преобладает в цитоплазме. Воду, находящуюся внутри макромолекулы или между ними, называют *иммобилизованной*.

- ✓ **Осмотически связанная** – вода, связанная ионами и низкомолекулярными соединениями. Преобладает в клеточном соке.

✓ *Капиллярно связанная* – вода, находящаяся в клеточных стенках и сосудах проводящей системы. В клеточных стенках содержится две фракции воды: подвижная и малоподвижная. Малоподвижная вода находится в микрокапиллярных пространствах или удерживается водородными связями на микрофибриллах целлюлозы. Подвижная вода находится в капиллярах и между микрофибриллами целлюлозы.

Функции воды в растении:

- **структурообразователь** протоплазмы;
- **растворитель** разнообразных веществ, обеспечивает транспорт минеральных, органических веществ и газов;
- **участвует в биохимических превращениях** - в фотосинтезе, дыхании, гидролитических процессах;
- **терморегуляция** растений;
- **определяет тургесцентное состояние** растений, обеспечивает сохранение формы травянистых растений, определенную ориентацию органов в пространстве;
- **обеспечивает связь органов** друг с другом.

Вопрос 2. Корневая система как орган поглощения воды. Корневое давление. Факторы, влияющие на поглощение воды

Особенности к.с. растений:

1) Имеет очень **большие размеры**. Общая поверхность корней превышает поверхность надземных органов в 140—150 раз. Уже у однолетнего сеянца яблони формируется к.с. протяженностью 250 м, а с корневыми волосками 3 км.

2) Очень **интенсивно ветвится**. За 1 год деревья формируют к.с. 5-7 порядков ветвления.

3) **Постоянное перемещение зоны всасывания** (*осваивает новые слои почвы, поглощает воду и питательные вещества*)

4) **Точка роста защищена корневым чехликом** (*не повреждается о твердые частички почвы*)

5) **обладает положительным гео-, хемо- и гидротропизмом, Но отрицательным фототропизмом**

6) **скорость роста корней очень велика** (1—10 см в сутки) за день к.с. в сумме нарастает до 5 км, корневые волоски - 80 км, меристематические ткани составляют 10 % массы корня, в стебле только 1 %

Корневая система не только поглощает воду, но и подает ее в надземные органы. Развиваемое при этом давление называется корневым.

Корневое давление - сила, обуславливающая направленное движение водного раствора в живых клетках корня и выделение его в сосуды.

Оно легко обнаруживается по *вытеканию пасоки*, или *плачу*, срезанных растений, а также *гуттации*.

Плач – выделение сока (*пасоки*) при перерезании или повреждении ксилемы стебля.

Химический состав пасоки отличается от раствора, поглощаемого корнями из почвы, что связано с синтетической деятельностью корня. В пасоке содержатся минеральные вещества (калий, фосфаты, нитраты), а также сахара, органические кислоты, азотсодержащие соединения (низкомолекулярные полипептиды, амиды, свободные аминокислоты, гормоны, витамины). Содержание в-в значительно колеблется в зависимости от вида, возраста растения, его физиологического состояния.

Гуттация – выделение капельно-жидкой влаги через гидатоды, расположенные на кончиках или зубчиках листьев

В ранние утренние часы при насыщенности воздуха водяными парами хорошо гуттируют земляника, роза, картофель, злаковые. Капельки гуттационной жидкости находятся в местах выхода гидатод. Содержание веществ в соке гуттации в 8-10 раз меньше, чем в пасоке

Влияние внешних факторов на корневое давление

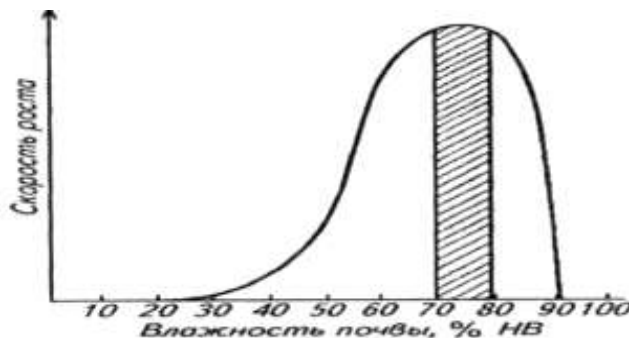
Газовый состав почвы

- ✓ концентрация O_2 должна быть не ниже 5%,
- ✓ концентрация CO_2 не превышать 10%

Уплотнение почвы, иссушение, избыток влаги, нарушают аэрацию - это подавляет дыхание и поглощение воды.

Влияние влажности почвы

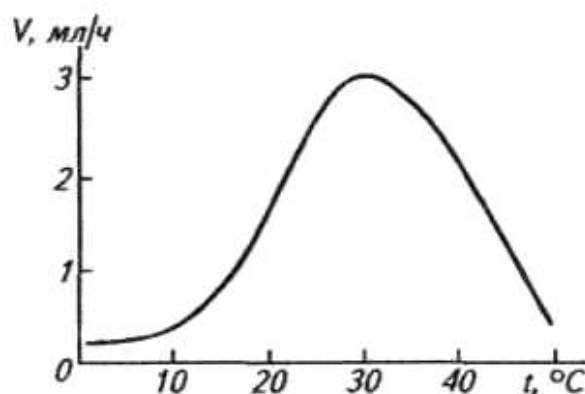
- ✓ избыток воды – анаэробные условия,
- ✓ недостаток – завядание



Влияние температуры

- min - 0...+5,
- opt - +25...30,
- max - +40...45 °C

Холодные заболоченные почвы считаются физиологически сухими – корни не могут поглощать воду из почвы. Осенью при снижении температуры в листьях создается дефицит влаги, который способствует образованию отделительного слоя в черешках и опадению листьев



Влияние внутренних факторов на корневое давление

- ✓ **мощность развития корневой системы, и наличие ростовых процессов**
- ✓ **обеспечение корней органическими веществами**
- ✓ **наличие митохондрий в корнях**, обеспечивающих эффективное дыхание
- ✓ **наследственно закрепленные свойства** (днем выделяется значительно большее количество пасоки чем ночью, минимум плача наблюдается в ранние утренние часы)

Вопрос 3. Формы воды в почве, её доступность растениям

Почва оказывает прямое и косвенное влияние на формирование корневой системы:

- глубину проникновения,
- степень ветвления,
- анатомическую структуру,
- особенности ризодермы
- образование корневых волосков

Фракции почвенной влаги

не доступна растениям:

1 - химически связанная (входит в состав минералов и органических веществ почвы)

1.1. конституционная

1.2. кристаллизационная

2 - сорбированная (облегает почвенные частицы и удерживаются на их поверхности силами адсорбции)

2.1. прочносвязанная (гигроскопическая)

2.2. рыхлосвязанная (плёночная) - частично доступна для растений.

доступна растениям:

3 - свободная заполняет поры почвы после дождя, полива.

3.1. гравитационная - заполняет поры после дождя и полива, легко стекает вниз, поэтому является недолговременной

3.2. капиллярная

4 - парообразная - водяной пар, может конденсироваться и пополнять содержание в почве свободной или пленочной воды.

5 - твердая (лед) - является резервом доступной влаги, которая образуется после таяния льда

Показатели доступности почвенной влаги растениям:

- *полевая влагоемкость (ПВ)* - характеризует максимальные размеры запаса почвенной влаги, который может быть использован растением;
- *влажность устойчивого завядания (ВУЗ)* - характеризует минимальный размер запаса влаги.

Доступная для растения почвенная влага = ПВ – ВУЗ

Вопрос 4. Транспирация, виды, размеры и биологическое значение

Транспирация – испарение воды с поверхности растений

Растения испаряют 99% поглощенной воды и лишь 1% используют в процессе фотосинтеза.

Размеры транспирации



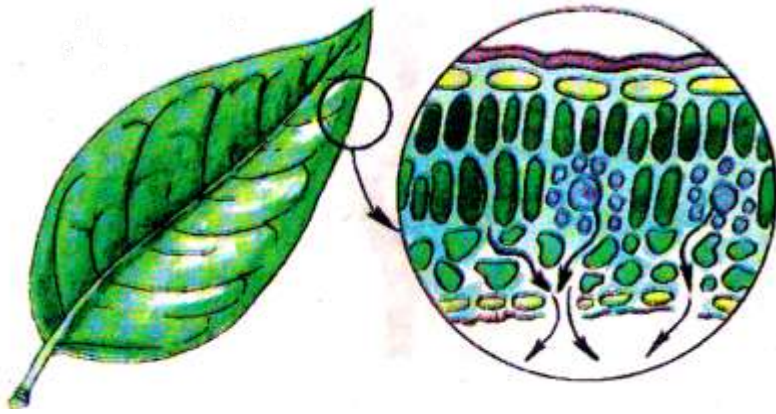
Значение транспирации:

- терморегуляция (охлаждение органов растений),
- верхний концевой двигатель восходящего тока,
- способствует газообмену и
- передвижению ЭМП.
- создает недонасыщенность растения водой

Виды транспирации:

- Устьичная
- Кутикулярная (у молодых листьев – 50 %, взрослых – 20%)
- Перидермальная (через чечевички на побегах, клубнях).

Фазы устьичной транспирации

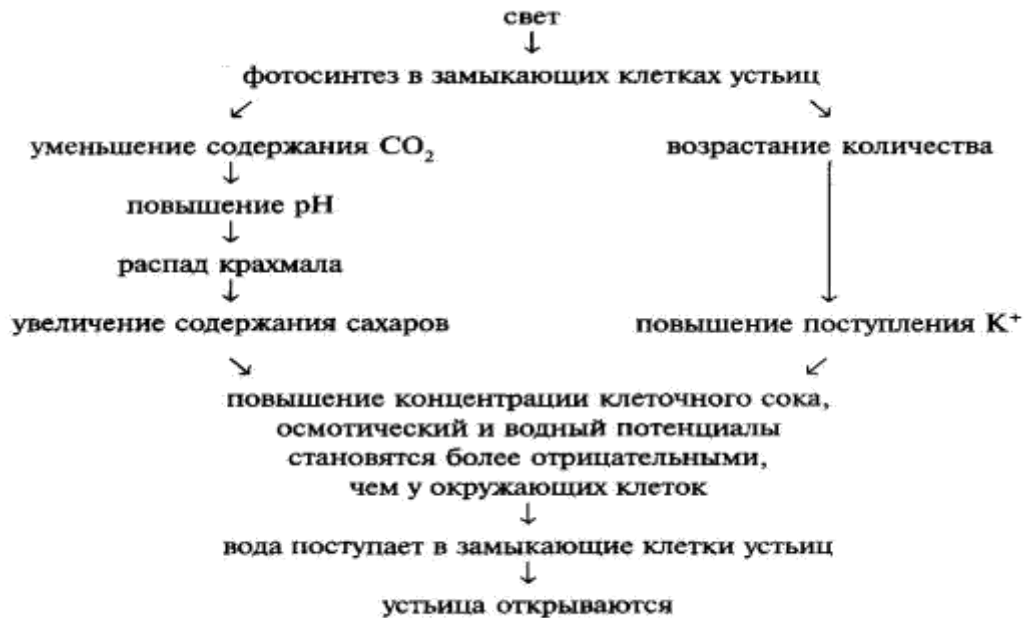


1. испарение воды с поверхности клеточных стенок клеток мезофилла в межклетники
2. движение водяных паров по межклетникам и выход через открытые устьица
3. диффузия паров воды от поверхности листа в более далекие слои атмосферы

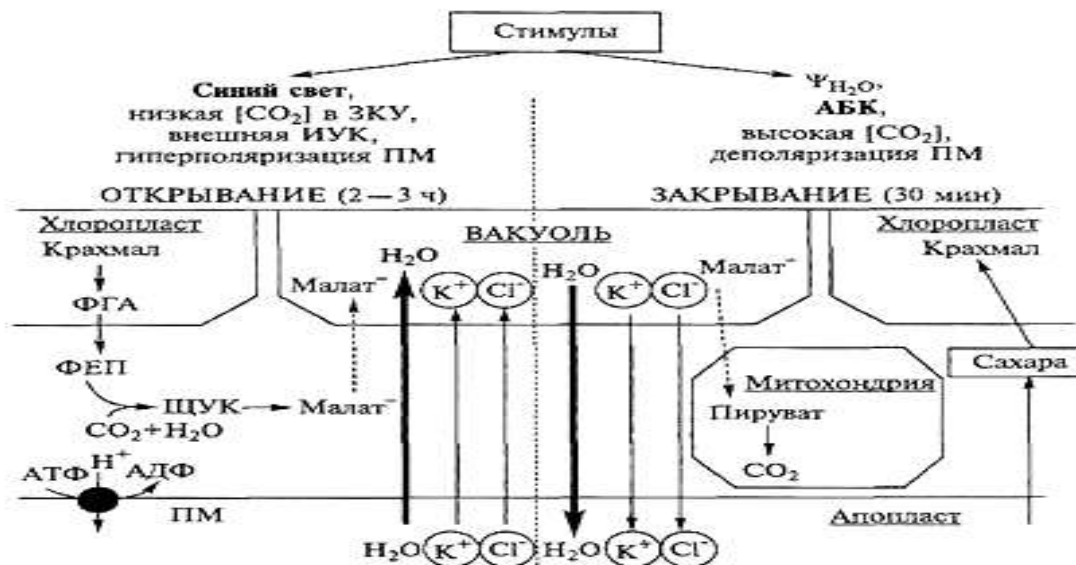
Физиология устьичных движений:

Активные

- **Фотоактивное** движение устьиц- проявляются в открывании устьиц на свету и закрывании в темноте.



- **Гидроактивное** движение устьиц — это движения, вызванные изменением в содержании воды в замыкающих клетках устьиц.



Пассивные

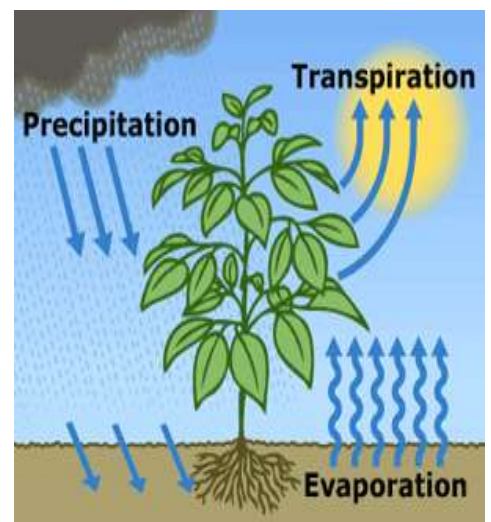
- **Гидропассивная** реакция — это закрывание устьичных щелей, вызванное тем, что окружающие паренхимные клетки переполнены водой и механически сдавливают замыкающие клетки. В результате сдавливания устьица не могут открыться и устьичная щель не образуется. Гидропассивные движения обычно наблюдаются после сильных поливов и могут служить причиной торможения процесса фотосинтеза.

Показатели транспирации

- **Интенсивность транспирации** (ИТ) — кол-во воды, испарённое с единицы листовой поверхности в единицу времени ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$).
- **Транспирационный коэффициент** (ТК) — кол-во воды, расходуемое на образование 1 г сухого в-ва. ($\text{ТК}=200\text{-}500$).
- **Продуктивность транспирации** (ПТ) — кол-во сухого в-ва, образуемого при испарении 1 л воды (обратно ТК) (C_3 растения — $\text{ПТ}=3\text{г}$, C_4 — 5г)
- **Относительная транспирация** (ОТ) — отношение интенсивности транспирации листовой поверхности к интенсивности испарения воды с открытой водной поверхности ($<1,0$).

В полевых опытах и агрономической практике для оценки эффективности использования воды определяют **коэффициент водопотребления** (эвапотранспирационный коэффициент) - отношение эвапотранспирации к созданной биомассе или хозяйственно полезному урожаю

эвапотранспирация - суммарный расход воды за вегетацию 1 га посева или насаждения, т. е. сюда включаются испарение с поверхности почвы (эвапорация) и транспирация. Причем в засоренных посевах и насаждениях это будет транспирация и культурных растений, и сорняков.



Коэффициент водопотребления зависит от почвенно-климатических факторов. В засушливые годы он выше (2000—2500), чем во влажные (400— 600). Он повышается по мере продвижения с запада на восток, из влажного климата в сухой. Это объясняется тем, что в засушливых условиях усиление эвапотранспирации не сопровождается увеличением продуктивности растений, чаще она снижается, поэтому эффективность использования воды уменьшается.

Пути снижения КВ:

- 1) **снизить размеры эвапотранспирации**
 - а) борьба с сорняками (они потребляют много воды),
 - б) поддержание почвы в рыхлом состоянии (сухой полив),
 - с) создание плотных посевов
- 2) **увеличить урожайность**
 - а) повышение плодородия почвы,
 - б) внесение удобрений,
 - с) орошение и др.

Влияние внешних факторов на транспирацию:

- 1) **свет** Прямое влияние на транспирацию - нагревает лист – Т повышается, Косвенное - на свету идет фотосинтез и газообмен - устьица открыты. На свету ИТ увеличивается.
- 2) **температура** С увеличением температуры ИТ возрастает
- 3) **влажность** С увеличением влажности ИТ снижается
- 4) **скорость ветра** С увеличением скорости ветра ИТ увеличивается

Регулирование транспирации

1. повышение влажности воздуха, дождевание
2. регулирование освещения (теплицы)
3. лесозащитные полосы
4. применение антитранспирантов:
 - ✓ вещества, которые вызывают закрывание устьиц (АБК)
 - ✓ вещества, которые образуют на поверхности листьев пленки, создавая механическое препятствие для испарения воды. Пленочные антитранспиранты, уменьшая транспирацию на 25—30 %, не снижают фотосинтез и радиационный баланс листа. Сохраняется пленка на растении обычно 12—16 дней.

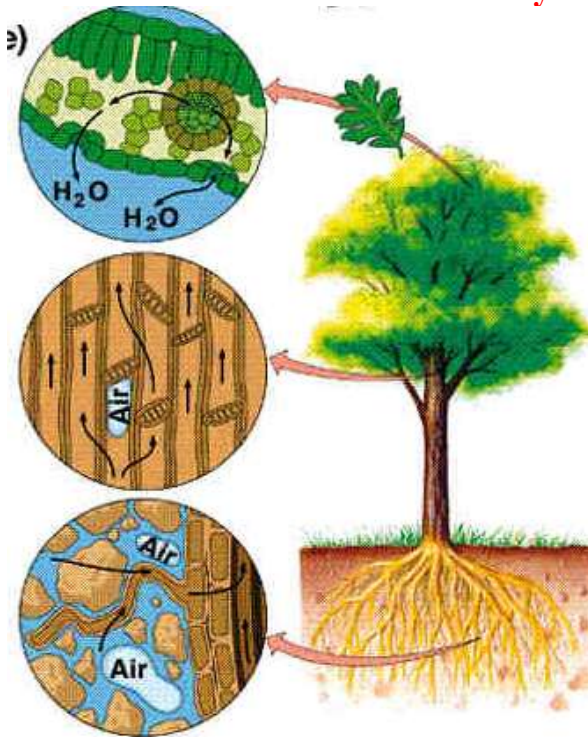
Вопрос 5. Поглощение растением воды и её передвижение в системе почва-растение-атмосфера

У высших растений поглощение воды в основном осуществляется с помощью корневой системы. Концентрация ионов в клетках корня выше, чем в почвенном растворе, поэтому вода поступает в корневую систему в результате осмоса по градиенту водного потенциала (из раствора меньшей концентрации в раствор с большей концентрацией). Для поступления воды в корень необходимо, чтобы водный потенциал клеток корня был ниже водного потенциала почвенного раствора. После дождя почва находится в состоянии полевой влагоемкости, её водный потенциал равен 0 и вода легко поступает в растения. По мере подсыхания почвы, водный потенциал понижается и становится отрицательным (меньше 0), поступление воды в растение замедляется. В том случае, когда водный потенциал почвы становится ниже потенциала клеток корня, вода из почвы в растение не поступает и растения увядают. Такую степень увлажнения почвы называют *влажностью завядания*. Для песчаных почв она составляет 1,3%, для суглинистых – 14,5%. Градиент потенциалов между почвой и корнем возникает, во-первых, благодаря активному поглощению корнем солей и ионов калия из почвы и, во-вторых, благодаря интенсивному испарению воды листьями. В результате концентрация клеточного сока повышается, а чем ниже насыщенность клеток водой, тем ниже величина водного потенциала и тем активнее вода поступает в растение.

Восходящий ток воды осуществляется под влиянием 2-х «концевых двигателей» **водного тока:**

- **нижний «концевой двигатель»** - корневое давление (обеспечивает поднятие воды на 1-10 м);
- **верхний «концевой двигатель»** - транспирация (обеспечивает поднятие вы на десятки метров).

Путь воды в растениях



РАДИАЛЬНЫЙ транспорт - по живым клеткам (2 коротких участка – доли мм):

- в корне - радиальный транспорт воды от корневых волосков до сосудов центрального цилиндра,
- в листе - от сосудов, проходящих по жилкам листа, до испаряющей поверхности клеток мезофилла;

ВОСХОДЯЩИЙ транспорт - по проводящей системе (ксилеме):

- трахеям,
- трахеидам.

Способностью к поглощению воды обладает не вся корневая система, наиболее активно этот процесс протекает в зоне корневых волосков, поглощающих воду всей своей поверхностью. Зона корневых волосков составляет около 5 см, выше этой зоны поглощение воды снижается из-за опробковения коры корня. Благодаря корневым волоскам рабочая поверхность корня увеличивается в 10-15 раз, так как на 1 мм² эпиблемы развивается 400–500 волосков, а у древесных растений 700–900. Корневые волоски имеют ряд приспособлений для поглощения воды: активные транспортные белки в плазмалемме, крупную центральную вакуоль, большое количество плазмодесм в клетки экзодермы. Основной механизм поступления воды – осмос. После поступления в корневой волосок вода должна попасть к сосудам ксилемы, находящимся в центре корня. Путь воды через клетки корня от поверхности к центру называется *радиальным транспортом*. Радиальный транспорт воды и ионов осуществляется двумя путями (см. рис.): по системе межклеточников и клеточных стенок (апопластический путь) и по протопластам, соединенным плазмодесмами (симпластический путь).

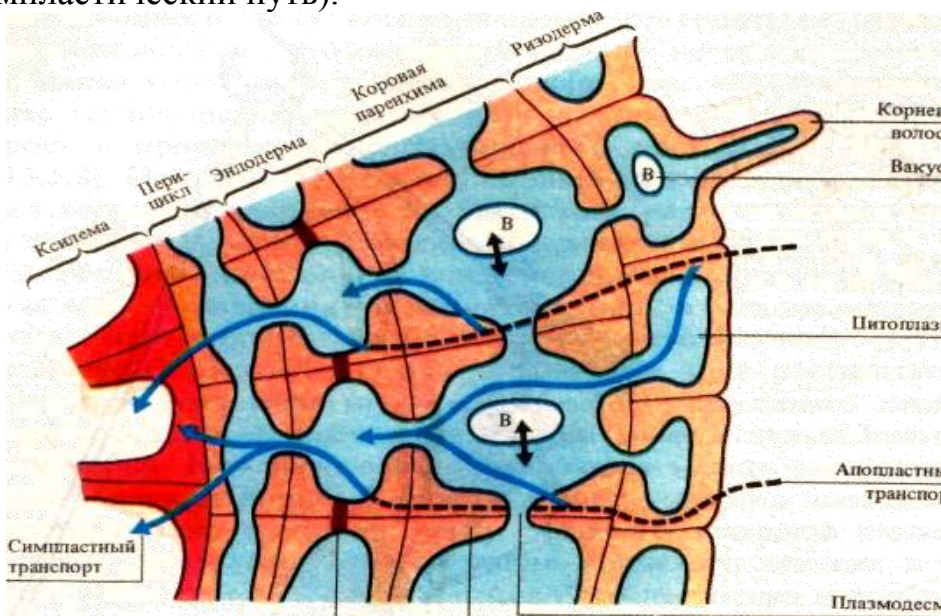


Рис. Схема радиального транспорта воды в корне (по J. Moorby, 1981)

Транспорт по апопласту значительно быстрее, чем по симпласту, так как ток воды не встречает сопротивления живых клеток. Однако он прерывается в эндодерме, состоящей из слоя клеток, непроницаемых для воды и веществ (пояски Каспари). В слое эндодермы имеются клетки с тонкими неодревесневшими оболочками – пропускные клетки. Чтобы продолжить движение к сосудам ксилемы, вода должна пройти через протопласт пропускных клеток, т.е. в эндодерме ток воды возможен только по симпласту. Здесь происходит регуляция скорости поступления воды. За эндодермой расположен перицикл, который выполняет роль своеобразного кольцевого коллектора, направляя ток воды к сосудам, расположенным глубже.

В сосудах ксилемы радиальный транспорт воды сменяется на восходящий – вода поднимается вверх по стеблю к листьям и репродуктивным органам. Восходящий ток осуществляется по сосудам и трахеидам. Сосуды полые и полностью заполнены водой, пузырьки воздуха в них отсутствуют, при этом диполи воды стремятся «прилипнуть» друг к другу и к стенкам сосудов, в результате создается натяжение и столб воды поднимается вверх. Восходящий транспорт протекает со скоростью 10 м/ч у травянистых растений и 25 м/ч – у древесных, в то время как скорость движения воды по клеткам корня составляет всего 1 мм/ч.

В листьях восходящий ток опять сменяется на радиальный – вода по межклетникам и клеткам мезофилла движется к устьицам, где происходит её испарение (транспирация).

Вопрос 6. Водный баланс, водный дефицит, коэффициент завядания

Водообмен состоит из:

- поглощение воды;
- передвижение воды;
- испарение воды (транспирация).

Водный баланс растения - соотношение между поступлением и расходом воды

Водный дефицит (ВД) – расход воды превышает её поступление

- Нормальный – до 5 %
- Слабый – 5-10 %,
- Средний – 10-25%
- Сильный – свыше 25 %,

ВД объясняется тем, что корни не успевают покрывать расход воды на транспирацию, интенсивность которой, особенно в полуденные часы, сильно возрастает. Полуденный ВД представляет собой нормальное явление и не причиняет растению особого вреда.

В жестких условиях жаркого летнего дня при недостатке воды в почве происходит значительное нарушение водного баланса, которое проявляется в потере тургора растением — *завядании*.

Различают два типа завядания растений: *временное и длительное*

Временное завядание наблюдается обычно в полуденные часы. При этом сильнее всего теряют тургор и вянут расходующие воду органы - листья, остальные части растения сохраняют тургор. При ослаблении транспирации к вечеру водный дефицит

снижается, а в ночные часы за счет активной деятельности корневой системы водный баланс полностью восстанавливается.

Длительное завядание наступает, когда в почве почти не остается доступной для растения влаги. В этих условиях водный баланс растения за ночь не восстанавливается. Такой не покрываемый к утру водный дефицит получил название **остаточного дефицита**. Завядающие листья оттягивают воду из других частей растения: молодых растущих верхушек, корней, плодов. Происходит отмирание корневых волосков. Последствия такого завядания могут быть необратимыми и губительными.

Влияние на растение недостатка воды:

Проявляется на всех этапах роста и развития растений как на клеточном, так и на организменном уровнях:

- **прорастание семян** - необходимо много воды (семена зернобобовых - 120-160 % от сухого в-ва, зерновых – 35-50%).
- **всходы – вегетативное развитие** - при недостатке воды растения сильно отстают в росте.
- **цветение - закладка репродуктивных органов** - при недостатке воды – стерильность пыльцы, череззёрница, опадение цветков, бутонов, завязей.
- **налив зерна** – недостаток – невыполненное, щуплое, морщинистое зерно и, как следствие, недобор урожая и низкое качество.

Приспособления растений к перенесению недостатка влаги

Эволюция растений идёт по пути увеличения их ксероморфизма.

Анатомо-морфологические механизмы

1. Ксероморфность листьев:

- больше длина проводящей системы на единицу поверхности;
- меньше размеры клеток мезофилла и устьиц;
- большее число устьиц на единицу листовой поверхности;
- толще стенки эпидермиса, сильнее восковой налет;
- слабее представлена система межклетников;
- несколько сильнее развиты механические ткани.

2. Развитие мощной корневой системы для добывания воды.

3. Запасание воды в корнях, стволах и толстых ветвях деревьев, хотя у сельскохозяйственных растений такая способность развита слабо.

Биохимические механизмы предотвращения обезвоживания.

1. **Высокая водоудерживающая способность цитоплазмы** (путем накопления низкомолекулярных гидрофильных белков, связывающих в гидратных оболочках значительные количества воды).

2. **Особенности фотосинтеза** (САМ-путь) - суккуленты запасают в ночные часы при открытых устьицах CO_2 в составе яблочной кислоты в вакуолях, а днем используют его для восстановления на свету.

Вопрос 7. Физиологические основы орошения

Пороговые величины влажности на дерново-подзолистых почвах:

Минимум – 20-30 %

Оптimum – 50-80 % ПВ

Максимум – 90 % от ПВ

Критические периоды развития по отношению к влаге

- прорастание
- закладка репродуктивных органов.
 - У хлебных злаков это конец кущения – колошение.
 - У плодовых – осень предшествующего года.

Сезонное потребление воды составляет

- полевые культуры – 3000-4000 м³/га,
- плодовые (яблоня) – 5000-6000 м³/га.

Методы определения сроков полива:

- **определение влажности почвы.**
- **динамика устьичных движений.** При уменьшении запасов воды устьица открываются слабее, а потом вообще не открываются.
- **концентрация клеточного сока.** При недостатке влаги она быстро возрастает.
- **водный потенциал растительной ткани.** Его снижение указывает на необходимость полива.
- **электрическое сопротивление тканей листа.** (экспресс-метод). Если оно повышается выше пороговых значение – надо поливать.

Наиболее рациональны

- орошение импульсным дождеванием и
- мелкодисперсные увлажнительные поливы.

Это позволяет эффективнее использовать воду, т.к.:

- ✓ - снижается температура воздуха вокруг растения и снижается Т
- ✓ - повышается влажность воздуха и снижается Т
- ✓ - часть воды поглощается через листья
- ✓ - вода мелкими порциями стекая по стеблю, хорошо впитывается почвой.

Оросительная норма - количество воды, необходимое для полива определенной культуры за весь вегетационный период в расчете на 1 га.

$$H = K \cdot I,$$

где *K* - коэффициент пропорциональности (для кукурузы он равен 0,85; бобов, сои, сорго, пшеницы и сахарной свеклы - 0,95; люцерны, клевера, картофеля - 1; плодово-ягодных культур - 1,1);
I - испарение с эвапорометра, мм