

Лекция по ботанике для студентов специальности «Биология» профили  
«Биохимия»,  
«Генетика»

**Морфология и анатомическое строение корня.**

**План.**

**Понятие об органах растений. Общие закономерности, свойственные всем органам растений: симметрия, геотропизм, полярность...**

**Корень – осевой орган растения**

**Морфология корня и корневых систем**

**Функции корня**

**Зоны молодого корня**

**Первичное анатомическое строение корня**

**Переход ко вторичному строению и вторичная структура корня**

Органы высших растений подразделяют на вегетативные и репродуктивные. *Вегетативные* органы составляют тело растения и выполняют основные функции его жизнедеятельности, включая вегетативное размножение. К ним относят корень, стебель и лист. Стебель с листьями и почками называют побегом. *Репродуктивные (генеративные)* органы предназначены для полового или собственно бесполого размножения. У покрытосеменных к ним относят цветок и его производные — семя и плод.

Органам растений свойственны некоторые общие закономерности.

**Симметрия.** Орган может иметь одну плоскость симметрии (например, лист), или более одной плоскости симметрии (например, стебель, корень).

**Полярность.** Вегетативный орган (или его часть) имеет два полюса: верхний (терминальный) и нижний (базальный). В верхней части образуются только побеги, а в нижней — только корни.

**Геотропизм.** Это способность органов растения ориентироваться в пространстве определенным образом. В каком бы положении ни лежало семя в почве, корень всегда растет вниз под действием земного притяжения (*положительный геотропизм*), а стебель — вверх (*отрицательный геотропизм*). Осевые органы — стебель и корень — располагаются вертикально к поверхности земли (*ортотропные органы*), а листья — под углом (*плагитропные органы*). Если взрослое растение каким-либо внешним воздействием будет выведено из правильно ориентированного положения, оно изгибает свои молодые части так, что они принимают прежнее положение в пространстве. Злаки способны приподнимать свои стебли после полегания почти це-

ликом в связи с тем, что меристема у них находится в основаниях междоузлий.

**Метаморфизированные (видоизмененные) органы** — это такие, у которых под действием среды обитания или в зависимости от определенной функции произошло наследственно закрепленное усиление одной функции, сопровождающееся резким изменением формы, и потеря других. Метаморфизированные органы — это реальное выражение приспособительной эволюции. Их подразделяют на аналогичные и гомологичные.

*Аналогичными* называют органы, имеющие одинаковое строение и функции, но различное происхождение. Например, колючка барбариса листового происхождения и колючка боярышника побегового происхождения, усик гороха листового происхождения и усик винограда побегового происхождения.

*Гомологичными* называют органы, имеющие одинаковое происхождение. По строению они могут быть похожими, например шипы шиповника и крыжовника (оба — выросты поверхностных тканей стебля), но чаще не имеют сходства, например луковица лука и клубень картофеля (оба побегового происхождения).

Основные вегетативные органы заложены уже в зародыше семени.

### **Корень - осевой орган растения.**

**Корень**, как и стебель возник в результате выхода растений на сушу и приспособления их к новым условиям среды. В процессе эволюции корень возник позднее побега. Из высших растений корней не имеют моховидные и псилозитовидные. Кроме того встречаются также вторично бескорневые растения, утратившие корни из-за водного образа жизни (например сальвиния, пузырчатка, роголистник и др.)

### **Морфология корня и корневых систем.**

**Корень** - осевой орган растения, имеющий цилиндрическую форму, обладающий радиальной симметрией, неограниченным ростом в длину и свойством положительного геотропизма. Это вегетативный орган листостебельных растений, служащий для прикрепления к субстрату и поглощения воды и минеральных веществ. На нем нет листьев. Апекс покрыт корневым чехликом.

С учетом анатомо-морфологических особенностей корни делят на **главные, боковые и придаточные**. Зародышевый корешок развивается в главный корень, ветвящийся эндогенно и дающий боковые корни, образование которых начинается с деления клеток на периферии центрального осевого цилиндра внутри корня (перицикла).

Придаточные корни никогда не возникают на главном корне. Они могут образовываться на стеблях, листьях, корневищах, старых боковых и придаточных корнях за счет деятельности различных вторичных меристем.

**Корневая система** - совокупность корней одного растения. Общая форма и характер которой определяется соотношением роста главного, боковых и придаточных корней.

При преобладающем росте главного корня формируется **стержневая корневая система** (древесные двудольные и голосеменные растения, крестоцветные, и т.д.).

При слабом росте или отмирании главного корня и мощном развитии придаточных корней образуется **мочковатая корневая система** (лютик, подорожник, злаки, осоки и др.)

Иногда также образуются **смешанные корневые системы**, когда развиваются и главный, и боковые и придаточные корни (у земляники в конце первого вегетационного периода, у томата и др.)

В корневых системах разросшийся главный корень образует корнеплод, а разросшиеся боковые корни - корнеклубни.

### **Функции корня.**

1. Минеральное и водное питание.
2. Закрепление растения в почве.
3. Синтез органических веществ.
4. Синтез алкалоидов, фитогормонов и других активных соединений.
5. Накопление веществ.
6. Вегетативное размножение.
7. Симбиоз с бактериями.
8. Симбиоз с грибами (микориза)

### **Зоны молодого корня (корневого окончания).**

На продольном срезе корня четко выражены 4 зоны

В корне выделяют 4 зоны

1. Зона деления
2. Зона растяжения
3. Зона всасывания
4. Зона проведения.

**Зона деления.** 1-2 мм верхушки конуса нарастания, состоящей из вершечной образовательной ткани (апикальной меристемы), в которой проис-

ходят интенсивные митотические деления. Клетки ее имеют тонкие оболочки, крупное ядро, не имеют вакуолей и пластид. В результате активности апикальной меристемы формируются все прочие зоны и ткани корня. Клетки зоны деления покрыты корневым чехликом. Верхушечная меристема откладывает клетки не только внутрь но и наружу. Внутрь - клетки массы корня, наружу - корневого чехлика. В образовании боковых органов апикальная меристема корня не участвует.

**Корневой чехлик** - защитное образование растущего кончика корня, представляет собой конусовидный колпачок из живых паренхимных клеток с ослизняющимися оболочками и крахмальными зернами (предполагают что эти зерна служат статолитами, то есть способны перемещаться в клетке при изменении положения кончика корня в пространстве, благодаря чему корень изгибается и растет в прежнем направлении). По размерам корневой чехлик сопоставим с конусом нарастания и лишь не намного меньше него. Клетки корневого чехлика дифференцируются на ранних стадиях развития корня из особой меристемы (калиптрогена) у злаков и других однодольных или из верхушечной меристемы у двудольных. Корневой чехлик защищает апикальную меристему корня и облегчает рост корня в почве, благодаря ослизнению его наружных клеток. При этом периферийные клетки слущиваются или «сползают» по поверхности корневого чехлика, иногда весь поверхностный слой отделяется в виде колпачка. Слущивание периферических слоев не приводит к утончению корневого чехлика, поскольку его масса постоянно возобновляется апикальной меристемой. Ослизняющиеся клетки не только притягивают воду, но и обеспечивают тесный контакт корня с почвой. Содержащиеся в них кислоты растворяют почвенные частицы, благоприятствуя продвижению корня вглубь почвы, а ферменты, осуществляющие гидролиз находящихся в ней веществ, облегчают их использование корнем. Отделяющиеся от корня клетки содержат и некоторые вещества, подлежащие удалению из растения.

Выше расположена **зона растяжения (роста)** от нескольких мм до нескольких см. В этой зоне клетки меристемы вытягиваются в длину и прекращают деление

Вследствие вытягивания клеток в длину осуществляется рост корня. В зоне роста выделяют краевые клетки: дерматоген - из которого формируется эпиблема, промежуточные - периблема - из которой формируются ткани первичной коры и внутренние - плерома - формирующая центральный осевой цилиндр. Окончание зоны роста заметно по появлению на эпиблеме волосков - трихобластов.

Выше зоны роста находится **зона всасывания или зона поглощения**, ризодерма которой образует корневые волоски. Располагается она на расстоянии 0.1-10мм от корневого окончания. Общая протяженность ее варьирует от одного до нескольких см. Клетки зоны поглощения не могут передвигаться в почве так как растяжения в этой зоне уже прекратилось, а волос-

ки срослись с почвой. тем не менее зона всасывания все время передвигается в почве по мере нарастания корневого окончания.

Зона всасывания постепенно переходит в **зону проведения**, составляющую большую часть протяженности корня. Роль покровной ткани у однодольных здесь выполняет экзодерма, а у двудольных - перидерма. В этой зоне полностью формируется проводящая система корня по которой передвигаются вода и растворенные в ней минеральные вещества к стеблям и листьям, продукты ассимиляции – к местам запасания этих веществ и растущим корневым окончаниям.

### **Первичное анатомическое строение корня.**

Внутренняя структура корня относительно проста по сравнению со структурой стебля. Это связано, прежде всего, с отсутствием листьев и соответственно узлов и междоузлий. Вследствие этого в расположении тканей на разных уровнях наблюдаются сравнительно небольшие различия.

Уже в самом начале зоны роста масса клеток дифференцируется на три зоны: эпиблему, первичную кору и осевой цилиндр, который может быть сплошным или полым.

Первичное строение корня формируется в зоне поглощения или всасывания и у всех растений сходно. У однодольных первичное строение сохраняется всю жизнь растения. У двудольных впоследствии заменяется вторичным.

В первичном строении корня на поперечном срезе выделяют 3 зоны.

1. Покровная ткань
2. Первичная кора
3. Центральный осевой цилиндр.

#### **1. Эпиблема (ризодерма)**

Снаружи молодые корневые окончания покрыты эпиблемой. Эпиблема дифференцируется из самого наружного слоя верхушечной меристемы, называемого дерматогеном. Она достигает полного развития в зоне поглощения, где ее клетки образуют корневые волоски (трихобласты). Выполняет покровно-защитную функцию, функцию всасывания воды и растворенных в ней минеральных веществ. У большинства высших растений ризодерма состоит из двух типов клеток: образующих волоски – трихобластов и атрихобластов (без волосков). Длина корневого волоска составляет 0,15-8мм, у травянистых растений они длиннее, чем у древесных. Живут они около 10-12 дней, после чего отмирают. Иногда корневые волоски сохраняются, опробковывают и выполняют механическую функцию закрепляя корень в почве. Число корневых волосков на мм<sup>2</sup> зависит от индивидуальных особенностей рас-

тений и влажности почвы. Волоски очень сильно увеличивают адсорбирующую поверхность корней. Их суммарная длина у одного растения может составлять 3-10 км.

В зоне проведения эпиблема отмирает и быстро слущивается.

**2. Первичная кора.** Первичная кора обычно дифференцируется из периферийного отдела верхушечной меристемы, лежащего глубже дерматогена, - периблемы. У корней толщина коры превышает объем центрального осевого цилиндра и дифференцирована на 3 зоны: экзодерму, мезодерму и эндодерму.

**Клетки экзодермы** многоугольные, плотно сомкнутые, с утолщенными оболочками, пропитанными суберином и лигнином. Экзодерма многослойная у однодольных растений и одно-двухслойная у двудольных. Пропитанные суберином клетки непроницаемы для газов и воды, лигнификация обуславливает их прочность. Напротив корневых волосков в экзодерме есть пропускные клетки не пропитанные лигнином и суберином, через которые осуществляется обмен веществ. Экзодерма выполняет функцию защиты корня от потери воды и растворенных в ней веществ, а также от проникновения в корень патогенных микроорганизмов.

**Мезодерма** состоит из живых паренхимных клеток. В ней могут встречаться механические элементы - склереиды и вместилища: млечники, смоляные ходы или эфирно-масличные ходы, идиобласты. В мезодерме накапливаются запасные питательные вещества. Это наиболее широкая часть первичной коры.

**Эндодерма** - внутренний однорядный слой клеток первичной коры. Основное назначение - поступление токов воды в горизонтальном направлении из коры к Ц.О.Ц., где расположены проводящие элементы.

Эндодерма состоит из живых, несколько вытянутых в тангентальном направлении тонкостенных клеток с поясками Каспари, опоясывающими клетки посередине радиальных и поперечных стенок. На поперечных срезах пояски Каспари видны крайне редко, но обычно хорошо видны сечения этих поясков на смежных радиальных стенках. Они называются пятна Каспари. Пояски Каспари пропитаны суберином. Так как суберин непроницаем для воды, пояски Каспари препятствуют свободной диффузии ионов по оболочке, а плотное прилегание плазмалеммы к клеточной стенке исключает передвижение веществ между ними. Поэтому передвижение ионов осуществляется только под контролем цитоплазмы клетки эндодермы.

Эндодерма в своем развитии может пройти три ступени. Для первой ступени характерно наличие поясков Каспари.

На второй ступени развития суберин откладывается по всей внутренней поверхности стенок эндодермы. Однако эндодерма остается проницаемой для растворов, так как некоторые клетки сохраняют первичное строение. Они называются пропускными.

У растений, не обладающих вторичным утолщением корней, эндодерма может получить третичное строение. Оно характеризуется сильным утолщением и одревеснением боковых и внутренних стенок, сравнительно тонкими остаются стенки, обращенные наружу. На поперечном срезе такие клетки имеют подковообразные утолщения. Протопласты клеток отмирают. Пропускные клетки сохраняются и в третичной эндодерме.

У двудольных и голосеменных эндодерма проходит 1 и 2 стадии развития, у однодольных корень не претерпевает вторичных изменений и эндодерма проходит все 3 стадии развития.

### **3. Центральный осевой цилиндр.**

Осевой (центральный) цилиндр формируется из внутренней части меристемы - плеромы. Здесь, используя микроскоп с большим увеличением, уже удастся заметить клетки прокамбия. Ц.О.Ц. начинается с перицикла, который в молодых корнях состоит из живых тонкостенных паренхимных клеток, расположенных в один ряд. Из перицикла образуются боковые корни и поэтому его называют корнеродным слоем.

Проводящая система корня представлена первичными ксилемой и флоэмой. Ксилема располагается в центре корня в виде звезды, а флоэма между лучей первичной ксилемы. Лучи первичной ксилемы находятся напротив пропускных клеток эндодермы. У двудольных бывает от 1 до 5 лучей первичной ксилемы, у однодольных - 6 и более лучей первичной ксилемы. Сердцевины в корне нет, но иногда в центре находятся паренхимные элементы ксилемы, внешне напоминающие сердцевину.

У двудольных по мере роста наблюдается вторичное утолщение корня и радиальное строение проводящих тканей сменяется коллатеральным или кольцевым.

### **Переход ко вторичному строению и вторичная структура корня.**

Вторичная структура корня образуется за счет деятельности камбия.

Образование камбия связано с делением тонкостенных клеток, расположенных с внутренней стороны от каждого флоэмного тяжа. Камбий развивается как однослойная меристема, которая на поперечных срезах расположена сначала отдельными, вогнутыми внутрь дугами. Их число соответствует числу лучей первичной флоэмы и ксилемы. Протяженность камбиальных дуг увеличивается за счет образования на их концах новых клеток. Когда дуги камбия достигают перицикла, клетки его тоже начинают делиться, соединяя камбиальные тяжи. Возникает ряд клеток, непрерывно делящихся и образующих непрерывное кольцо. Клетки камбия откладывают внутрь вторичную ксилему, а наружу - вторичную флоэму. Первичная ксилема остается в центре, а первичная флоэма оттесняется к периферии и сплющивается. Камбиальные клетки, образовавшиеся из перицикла дают начало паренхиме

сердцевидных лучей. Если лучи тонкие - формируется кольцевое строение, если широкие - то в корне формируются открытые коллатеральные пучки по числу лучей первичной ксилемы. В старых корнях кроме первичных формируются и вторичные сердцевидные лучи, которым дает начало камбий. Эти лучи, также как и первичные осуществляют радиальный транспорт веществ. Разрастание Ц.О.Ц. обусловленное наличием вторичного роста вызывает разрывы и сбрасывание первичной коры. К этому времени клетки перидермы начинают интенсивно делиться образуя широкую зону паренхимы вторичной коры в которой закладывается пробковый камбий феллоген, образующий перидерму. Иногда он закладывается прямо из клеток перидермы. Пробка изолирует первичную кору от проводящих тканей. Первичная кора полностью отмирает и сбрасывается. Таким образом в корне вторичного строения покровную ткань является перидерма, а первичная кора отсутствует. Во вторичном строении корня можно выделить вторичную покровную ткань перидерму (иногда корку), вторичную кору (из перидермической паренхимы и флоэмы) и ксилему (древесину и звезду первичной ксилемы).

Многолетние корни древесных растений в результате длительной амбиальной деятельности нередко сильно утолщаются. Вторичная ксилема при этом сливается в сплошной цилиндр, окруженный снаружи кольцом камбия и сплошным кольцом вторичной флоэмы. Слой ксилемы образовавшийся в течение одного вегетационного периода называется годичным кольцом. Годовые приросты в корне меньше чем годовые приросты в стебле, границы между ними выражены нечетко. В корнях сосуды трахеиды более тонкостенные, их больше и распределены они равномернее. Паренхимы сердцевидных лучей больше, а древесинных волокон (либриформа), чем в стеблях. Во флоэме и ксилеме сравнительно много запасяющей паренхимы.

У многолетних травянистых растений в связи с ежегодным отмиранием и возобновлением побегов в корнях откладывается большое количество запасных веществ. Они накапливаются либо в паренхиме корневой части корня (морковь и петрушка), либо в ксилеме (редька) и тогда эти части разрастаются и содержат большое количество запасяющей паренхимы. Иногда запасные вещества откладываются в паренхиме, образованной дополнительными кольцами камбия (свекла). Такие видоизмененные корни с большим количеством запасяющей паренхимы называются корнеплодами.

### **Корнеплоды**

Корни многих травянистых растений образуют мясистые вздутия. Разрастается в толщину обычно верхняя часть главного корня и вместе с ней (у свеклы, моркови, редьки) - подсемядольное колено. Мясистые корни несут функцию хранения запасов в виде крахмала, Сахаров, слизей, инулина, гемицеллюлоз и т. д. Корни свеклы, например, богаты сахарозой, корневишки георгина - инулином; корни алтея аптечного содержат большое количество крахмала и слизей.

Сильное развитие мясистых корней в толщину обуславливается обычно обилием паренхимы, в клетках которой главным образом откладываются запасные вещества.

Для мясистых корней со вторичным приростом характерно мощное развитие в них паренхимы - сочной, тонкостенной, неодревесневающей. Происхождение этой паренхимы может быть различным.

Различают три основных типа мясистых корней.

Для одних характерно образование обильной запасающей паренхимы в ксилеме корня (репа, редька, редиска).

Для других типично разрастание коры (флоэмы) корня (морковь, петрушка). В древесине таких корнеплодов сосуды имеются в виде разбросанных групп. Механических элементов - волокон либриформа в древесине и лубяных волокон в лубе - нет или они немногочисленны, притом оболочки их мало утолщаются и слабо древеснеют. Сказанное относится в полной мере к приросту первого года у мясистых корней, обычно живущих в течение двух лет: в первом году они накапливают запасы, а во втором году эти запасы расходуются преимущественно на образование побегов с соцветиями и плодов с семенами. Вторичный прирост второго года носит иной характер; так, например, в древесине, образующейся в корне моркови перед зацветанием растения и позже, имеются сосуды с сильно одревесневающими стенками и хорошо развитые волокна. Разрастание мясистых корней в толщину происходит у многих растений не только непосредственно за счет работы камбия; у моркови, например, часть древесинной и часть лубяной паренхимы, дифференцируясь, принимают характер меристемы и, энергично делясь, производят новые паренхимные клетки.

У третьей группы "корнеплодов" вторичный прирост порождается несколькими добавочными меристемами - камбиями, образующими добавочные сосудистые пучки и запасающую паренхиму, в которой откладываются запасные питательные вещества.

У свеклы и других представителей семейства маревых добавочные камбии один за другим возникают в виде замкнутых колец (рис. 170). В первичном строении корень свеклы имеет осевой цилиндр с диархным радиальным пучком, со сплошным перициклом. На десятый примерно день жизни проростка формируется первый ("нормальный") камбий, производящий луб и древесину. Вскоре затем возникают последовательно новые, добавочные концентрические камбии. Клетки первого из добавочных камбиев вычленяются тангентальными перегородками из клеток перицикла. Точнее говоря, клетки первого добавочного камбия вычленяются в широких секторах формирующегося камбиального кольца из клеток первичной флоэмной паренхимы, а частью из клеток прокамбия, оставшихся в недифференцированном состоянии между перициклом и первичной флоэмой. В узких секторах того же камбиального кольца, находящихся против вершин первичных ксилемных

тяжей, клетки первого добавочного камбия вычлняются из клеток перицикла.

После появления первого добавочного камбия клетки его делятся тангентально. Внутренний слой дочерних клеток начинает производить новые постоянные ткани, а наружный слой дочерних клеток становится вторым добавочным камбием. Этот камбий функционирует аналогично первому добавочному камбию, т. е. отчленяет путем тангентального деления клеток новый (третий) добавочный камбий, а затем производит кольцо постоянных тканей.

Образуются целая серия камбиев; каждый из них продолжает функционировать и после начала деления клеток каждого последующего камбия. Корень толщиной в карандаш содержит уже почти все камбии в рабочем состоянии, но кольца новообразований близ периферии еще очень узки. Каждый из добавочных камбиев производит кольцо прироста, состоящее из коллатеральных проводящих пучков и паренхимы.

Секторы добавочного камбия, порождающие проводящие пучки, производят в сторону периферии корня флоэму, богатую паренхимой, а внутрь - сначала только паренхиму, а затем ксилему, содержащую, кроме паренхимы, пористые сосуды<sup>3</sup>. Образуются почти концентрические циклы, состоящие из проводящих, богатых паренхимой коллатеральных пучков с радиальными паренхимными прослойками между пучками в цикле и круговыми паренхимными прослойками между циклами.

Обычно лишь 4-5 циклов достигают полного развития, а периферические циклы остаются в стадии узких колец из слабодифференцированных тканей. Строение "корнеплода" свеклы усложняется еще образованием анастомозов между пучками одного и того же цикла и между пучками соседних циклов, отхождением пучков в листья, изменением числа циклов в результате их слияния в направлении к верхнему и к нижнему концу "корнеплода" и т. д.; в общем и целом система его пучков представляет весьма сложную трехмерную сетку.

Запасающая ткань в корнях может иметь и первичное происхождение. В корнях жабника, чистяка, в боковых корнях у ластовневых запасая паренхима мощна в области первичной коры, у асфоделя - в первичной коре и в сердцевине. У некоторых орхидных мясистые корни состоят главным образом из паренхимы, в которой разбросаны недалеко от периферии диархные стели, каждая со своей эндодермой; корень представляет как бы продукт сращения нескольких корней.