

The background of the entire image is a vibrant green grassy field. A light-colored, winding path or track cuts through the grass from the bottom left towards the top right. In the lower-left quadrant, there are several small, delicate purple flowers growing among the grass.

Г.С. Эрдели

ПОЧЕМУ ТРАВА РАСТЕЁТ?

Воронеж 2014

Эрдели Г.С. Почему трава растёт? – Воронеж: электронная версия, 2014. – 45 с.

Охраняется законом об авторском праве. Нарушение ограничений, накладываемых им на воспроизведение всей книги или любой ее части, включая оформление, преследуется в судебном порядке.

*Компьютерное оформление – Силкина Т.Б.
Художественное оформление – Силкина Т.Б., Эрдели Г.С.*

© Эрдели Г.С., 2014

Эрдели Галина Сергеевна – Почему трава растёт?

Сведения об авторе

Эрдели Галина Сергеевна родилась в Воронеже 22 декабря 1926 года, кандидат биологических наук, доцент, участница Великой Отечественной войны. В 1947 году окончила сельскохозяйственный техникум в ст. Славянской Краснодарского края, по специальности – агроном-плодоовощевод. В 1949 году поступила учиться на биолого-почвенный факультет ВГУ. После его окончания работала на Областной станции юннатов, а с 1958 года – в университете: садовником, лаборантом, преподавателем, доцентом кафедры физиологии и биохимии растений. Изучала действие регуляторов роста на растения, в том числе более 20 лет совместно с учёными университета г. Галле, Германия.

Издательством ВГУ выпущены воспоминания о военном времени: «Прошлое всегда рядом», о работе в университете: «Люди и растения в моей жизни», первое издание миниатюр: «Запахи земли», научно-популярные книги о растениях и другие.

УЧИСЬ ТВОРЕНИЮ, СОКРЫТОМУ В ТРАВЕ

Прочитаете и поймёте, что на вас упал солнечный луч особого свойства – не просто согрел, а озарил счастьем познания окружающего мира. В каком бы вы ни были возрасте, надолго, если не навсегда, поймёте, что вы – дети.

Ну, и что из того, что учились в школе, оканчивали вуз, много читали о жизни растений – так, как Галина Сергеевна Эрдели, о травах ещё никто не писал. Ни из стана учёных, ни из писательского братства. Просто, доступно, крайне увлекательно и так захватывающе, что начнёте с детским азартом искать свои пути дальнейшего общения с зелёным миром нераскрытых тайн. Казалось бы, хрупкая травинка, но только, когда человек изучил строение гнувшегося под ветром стебелёчка, он смог начать строить могучие и прочные высотные здания, небоскрёбы. Понять бы человеку систему управления фотосинтезом, и человечество получило бы во сто крат выгоды и пользы больше, чем от использования атомной энергии. Оказывается, в клетке зелёного листа происходят и те же процессы, что и в мозгу человека. Нам бы ещё научиться у растений брать питание из воздуха!..

Никакого сомнения: начнись моё детство, обучение в школе встречей с книжицей, которую только что прочитал, обязательно стал бы биологом, агрономом, лесоводом – всё остальное ничто перед хлебным колосом, жёлудем леса, листочком мяты. Зыбкий фундамент жизни, но если мы не вступим с ним в согласие, Божественную гармонию, – исчезнем с Земли – растения останутся вечным фундаментом для других, более разумных форм жизни.

Учитель, ученик, политик, государственный деятель, философ, крестьянин, рабочий, военный, строитель, молодой и мудрец преклонных лет получил азбучное пособие о смысле и тайне бытия – жизнь сначала хоть и не начнёшь, но начать жить по-новому, учась организации человеческого сообщества у растений, можно.

Эдуард Ефремов,
журналист

ВМЕСТО ПРЕДИСЛОВИЯ

«*Мы с тобой одной крови – ты и я!*» – эти слова служат основным девизом книги Галины Сергеевны Эрдели «Почему трава растёт?»

Наблюдая, изучая, анализируя и проводя сравнительный анализ между процессами, происходящими в природе и собственной жизнью, человек приходит к осознанию единства и взаимосвязанности всего сущего. В организме человека происходят те же процессы жизнедеятельности, что и в любом другом организме живой природы. Растения «*дышат*», они как бы «*отдают, выдыхают*» в атмосферу «*живую силу*» – кислород, создают благоприятные условия для жизни человека и всего животного мира. «*Водный поток растениям необходим: он как кровь в нашем организме. Вместе с водой к листьям перемещаются минеральные элементы и молекулы, созданные в корнях.*».

Слова Редьярда Киплинга – «*мы с тобой одной крови...*» – говорят о том, что жизнь человека, животного, насекомого, растения в основе своей имеет схожие процессы и явления. Единство и взаимосвязанность всего сущего – неоспоримая истина. Жизнь – это постоянное взаимодействие всего живого между собой, в процессе которого происходит преобразование одного вида энергии в другой: световая, солнечная энергия переходит в химическую...

«*Жизнь, как организация материи и регуляция её движения создавалась и совершенствовалась многие миллионы, и даже миллиарды, лет.*

Растение, как и любой другой организм, находится не в вакууме. Оно связано с окружением, приспособливается к нему, на него влияет и от него зависит: всё в жизни взаимосвязано. Многое нам ещё предстоит изучить.

Организм потому так и называется, – в его основе – организация, система, без них невозможна Жизнь.

И мне хочется, чтобы вы всё это поняли, восхитились, и – задумались...

Наблюдая за природой, нельзя не заметить поразительную целесообразность всего происходящего в ней. Именно таким наблюдением всю свою жизнь занималась и продолжает заниматься Галина Сергеевна, при этом, не уставая удивляться и восхищаться совершенством природы. «*Растения – удивительные жители нашей планеты. Все на нашей Земле питаются органическими веществами, они же – минеральными, в основном, – воздухом и водой. Поглощают больше всего углекислого газа и воды, и создают их из сахара, аминокислоты... Но – с помощью Солнца. Для питания растениям необходим свет*».

Солнце, воздух и вода – наши лучшие друзья! Испокон веков люди поклонялись и почитали природу, одушевляя её, подсознательно понимая исключительную и важную её значимость для их собственной жизни.

В природе всё четко организовано, слажено, гармонично, продумана каждая мелочь. Каждая клеточка растения играет свою исключительно важную функциональную роль, а в случае «форсмажора» рядом находящиеся клетки спешат на помощь с единственным желанием – сохранить жизнь всего организма в целом.

*«И.П. Павлов называл клетку **фундаментом жизни**: клетка обладает всеми свойствами живого и, что особенно важно, – способностью к самовоспроизведению. ... **Только клетка может разделиться и дать начало новому организму**. Она самостоятельна, но в многоклеточном организме все клетки взаимосвязаны. Их объединение необходимо, чтобы растение стало **единой системой**, способной противостоять всем «невзгодам» окружающего мира.*

Учёные считают, что "... эукариотические клетки... в высшей степени социальные организмы, они живут благодаря кооперированию и специализации", – подобно человеческому обществу"».

Всю свою сознательную жизнь Галина Сергеевна пытается раскрывать секреты существования живой природы во всём её многообразии и взаимодействии. *«Трава (кусты, деревья) растёт, может расти потому, что на её рост, на то, чтобы она могла жить, могла дать семена, согласованно работает неисчислимое количество разных молекул. Великое множество клеток объединены в ткани, органы и связаны друг с другом и средой. В растении «предусмотрена» и своеобразная «страховка».*

... В меристеме стебля и корня особенно устойчивые клетки (меристема ожидания, покоящийся центр), способны возобновить рост после повреждения растения».

Галина Сергеевна акцентирует внимание читателя на поразительных фактах: *«Огромное количество энергии посыпает нам Солнце, а всё многообразие Жизни создаётся за счёт крайне малого её использования. Растения усваивают при фотосинтезе всего полтора-два процента космической энергии, доходящей до Земли.*

... Вот почему учёный-атомщик Жолио Кюри говорил, что имитация процесса фотосинтеза значила бы для человечества неизмеримо большее, чем использование атомной энергии в мирных целях. Недавно учёные подсчитали:

наша Планета за неделю получает солнечной энергии столько, сколько электричество, газ, нефть дают за целый год. ...

... Фотосинтез – единственный процесс, при котором космическая энергия Солнца улавливается и используется на образование питательных веществ, пополнение запасов кислорода. Наше питание, наша жизнь зависит от этого уникального процесса».

Много ли людей задумывались о том, что пища, которую потребляет человек для поддержания своей жизнедеятельности, представляет собою консервированную солнечную энергию. В своё время очень точно отметил К.А. Тимирязев: «... Пища служит источником силы в нашем организме потому только, что она – не что иное, как **консерв солнечных лучей**».

Люди многому научились, наблюдая за устройством живых организмов, растениями: «*А когда изучили строение растительного стебля, инженеры и архитекторы стали строить высотные здания, небоскрёбы*».

Вопрос Галины Сергеевны: «*Может, знание, как растёт трава, что-то привнесёт и в нашу жизнь?..*» – одновременно является и ответом.

Любое знание о любых явлениях природы способно дать человеку толчок для понимания процессов жизнедеятельности и истинного смысла жизни.

Несомненно, нам всем есть чему учиться у совершенной природы, она наш главный Учитель. И знание о том, как растёт трава, обязательно привнесёт в нашу жизнь знание о том, как устроен наш мир и как мы все должны жить, чтобы жизнь каждого человека приносила лишь пользу для мира в целом. Галина Сергеевна призывает всех не только бережно и заботливо относится к природе. Она показывает и доказывает приведёнными в книге примерами, как многому может природа научить нас, в какой гармонии сами с собой и окружающим миром мы могли бы жить, если бы внимательно изучали все процессы и явления, происходящие в ней.

Поистине величественны слова Германа Гельмгольца: «... **человек вправе ... величать себя сыном Солнца**». Об этом же напоминает всем и поэт Давид Кугультинов: «**Что солнце человек – не позабудьте!**».

Татьяна Силкина

ПОЧЕМУ ТРАВА РАСТЁТ

Все знают, что трава растёт. Но *почему* она растёт?

Можно спросить иначе: *зачем* трава растёт? И добавить – всю свою жизнь.

Человек, звери растут в юности, затем рост прекращается, а трава – всю жизнь?

Чтобы ответить на вопрос, надо знать, как живёт растение. Это интересно, и полезно.

Джек Лондон («Мартын Иден») сказал, теперь, когда знает, что происходит в растении, как оно живёт, он мог бы написать о каждой травинке целую поэму.

А когда изучили строение растительного стебля, инженеры и архитекторы стали строить высотные здания, небоскрёбы.

Может, знание, как растёт трава, что-то привнесёт и в нашу жизнь?..

Я хочу рассказать о том, почему трава растёт, школьникам старших классов, и тем, кто растения тоже любит.

А также поблагодарить за ценные советы и замечания доктора биологических наук профессора Т.И. Пузину, и сотрудников кафедры ботаники Орловского государственного университета, кандидата биологических наук доцента Воронежского государственного университета В.В. Чурикову, Т.Б. Силкину и журналиста Э.П. Ефремова.

Путешествие солнечного луча

Когда-то, где-то солнечный луч упал на зелёный лист.

Упал и погас. Но – не исчез...

К.А. Тимирязев

Фотосинтез

Растения – удивительные жители нашей планеты. Все на нашей Земле питаются органическими веществами, они же – минеральными, в основном, – воздухом и водой. Поглощают больше всего углекислого газа и воды, и создают из них сахара, аминокислоты… Но – с помощью Солнца. Для питания растениям необходим свет. Давайте проследим в зелёном растении путь солнечного луча.

Сейчас каждый школьник знает, что *воздушное питание* растений – *фотосинтез*. Листья поглощают углекислый газ (по научному – диоксид углерода), из него и воды с помощью солнечной энергии создают молекулы, из которых построены сами и всё живое, в том числе, конечно, и мы с вами.

Как ни покажется странным, но о том, что растения берут питание из воздуха, причём больше, чем из земли в сто раз, человек узнал сравнительно не-

давно. Когда люди стали заниматься земледелием (несколько тысяч лет назад), они считали, что у растений *рот в земле*.

О значении листьев в питании растений одним из первых подумал Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765). В своей работе «Слово о явлениях воздушных» в 1753 году он писал: «*Преизобильное ращение тучных дерев, кои на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирный тук листами из воздуха впитывают, ибо из бессочного песку столько смоляной материи вобрать в себя им невозможено.*».

Изучение роли листьев известно с опытов Дж. Пристли, когда в 1771 году он показал, что растение может *исправлять воздух*. Под стеклянным колпаком с веточкой зелёной мяты мышь оставалась живой, свеча горела. Случайно он проводил опыты около окна, и лишь восемь лет спустя, стало понятно: для исправления воздуха листьям необходим *свет*. Без яркого света листья воздух только ухудшают. Но и тогда всё ещё не понимали, что это связано с питанием растений. Даже в XIX веке И. Крылов видел в листьях блестящий, но бесполезный наряд, иное дело корни:

«Чьи работают грубые руки
Предоставив почтительно нам
Погружаться в искусства, науки,
Предаваясь страстям и мечтам...»

«Листы и корни».

И он был не одинок в таком понимании роли листьев.

В XIX веке много блестящих учёных пытались узнать значение зелёного листа. Растение не спешило раскрывать свои секреты, но постепенно, шаг за шагом, уступало.

В 1877 году крупный немецкий учёный Вильгельм Пфеффер (1845-1920) показал, что растения на свету поглощают углекислый газ, образуют крахмал и выделяют кислород. Он и ввёл название – фотосинтез. В процессе фотосинтеза основную роль играет зелёный пигмент – хлорофилл (от греч. «хлорос» – зелёный и «филлон» – лист).



Фото 1. Ломоносов Михаил



Фото 2. Пфеффер Вильгельм

Хлорофилл находится в хлоропластах – особых органоидах клетки (рис. 1).

Спектр солнечного света состоит из инфракрасных, красных, оранжевых, жёлтых, зелёных, голубых, синих, фиолетовых и ультрафиолетовых лучей. Мы видим все лучи, кроме крайних: инфракрасных и ультрафиолетовых. Хлорофилл поглощает видимые нами лучи, но меньше всего – зелёные, их он отражает, потому и зелёный.

Пфеффер и его коллеги полагали, что для фотосинтеза важны яркие жёлтые лучи. Не забудем, в те годы не допускалось, что в живой природе действуют законы физики и химии. По мнению Пфеффера, яркий свет живую протоплазму лишь раздражает.

В изучении фотосинтеза ведущая роль принадлежит замечательному русскому учёному Клименту Аркадьевичу Тимирязеву (1843-1920).

Он создал очень чувствительный прибор и показал, что крахмал образуется, когда *поглощаются* красные лучи. Он впервые дал научное и правильное толкование: *поглощение света – физический процесс*.

В том, что молекула хлорофилла поглощает свет «виновато» её строение. Это физическое свойство, обвязанное структуре молекулы. Хлорофилл состоит из ядра – пластины с магнием в центре и длинного «хвоста» (остаток спирта фитола) (рис. 2).

Солнечная энергия выделяется порциями – квантами. Ядро хлорофилла поглощает энергию кванта и через доли мгновения – отдаёт.

В растворе хлорофилл отдаёт всю полученную энергию окружению. В хлоропласте он передаёт её специальным молекулам. Тем, что свет не поглощают, но преобразуют лучистую энергию в энергию химических связей.

Процесс преобразования энергии очень сложен. Он требует строгой *структурной организации* многих молекул, их *взаимодействия*. Поглощающие свет молекулы организованы в две фотосистемы. Они связаны между собой. В каждой фотосистеме от двухсот до четырёхсот молекул хлорофилла с помощью длинного «хвоста» жёстко крепятся на белках мембранны, строго друг за другом «в затылок». Причём на таком расстоянии, что могут передать полученную порцию энергии соседу. Эти молекулы служат антенной, потому называются *антенным хлорофиллом, светособирающим комплексом (ССК)*. В состав ССК входят и жёлтые пигменты – каротиноиды, они тоже поглощают свет.

Все антенные пигменты поглощают, и, как по проводам, передают солнечную энергию в *реакционный центр*. Там возбуждённое состояние молекул хлорофилла преобразуется и используется на создание аденоzinтрифосфорной кислоты (АТФ), она богата химической энергией.

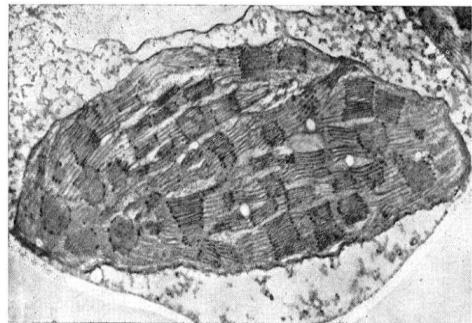


Рис. 1. Хлоропласт

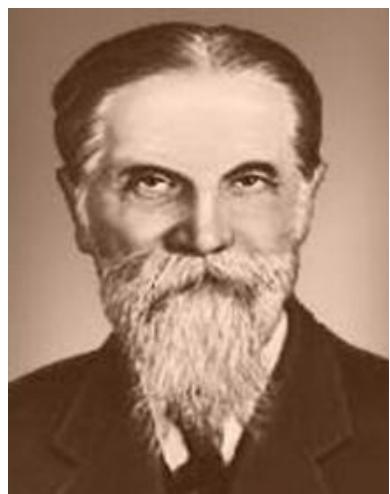


Фото 3. Тимирязев К.А.

Так световая энергия запасается в молекуле, богатой энергией химической. И уже эта химическая энергия израсходуется на усвоение углекислого газа, образование органических веществ, и другие потребности хлоропласта и клетки.

В сороковых-пятидесятых годах прошлого столетия с помощью меченых атомов углерода, кислорода и водорода стал известен их «путь» при фотосинтезе (цикл Кальвина). Оказалось, молекула углекислого газа используется целиком, а от воды – только водород, кислород выделяется в атмосферу.

Многие детали, организацию и регуляцию фотосинтеза человек уже знает, но ещё больше предстоит узнать.

Говоря о роли зелёного пигмента, надо подчеркнуть, что сама молекула хлорофилла не может преобразовать энергию света. *Но только она может её поглощать и передавать другим молекулам, тем, которые это «умеют».* Потому замечательны слова Тимирязева: *Зелёное зерно хлорофилла – фокус, точка в мировом пространстве, в которую с одной стороны притекает солнечная энергия, а с другой – начинаются все проявления Жизни на Земле.*

Огромное количество энергии посыпает нам Солнце, а всё многообразие Жизни создаётся за счёт крайне малого её использования. Растения усваивают при фотосинтезе всего полтора-два процента космической энергии, доходящей до Земли.

Вот почему учёный-атомщик Фредерик Жолио-Кюри (1897-1956) говорил, что имитация процесса фотосинтеза значила бы для человечества неизмеримо больше, чем использование атомной энергии в мирных целях. Недавно учёные подсчитали: наша Планета за неделю получает солнечной энергии столько, сколько электричество, газ, нефть дают за целый год. Уже созданы фабрики, собирающие энергию Солнца. Но это лишь тепловая энергия. Использовать солнечную энергию на создание из минеральных молекул углеводов и других органических веществ могут только растения.

Фотосинтез – единственный процесс, при котором космическая энергия Солнца улавливается и используется на образование питательных веществ, пополнение запасов кислорода. Наше питание, наша жизнь зависит от этого уникального процесса.

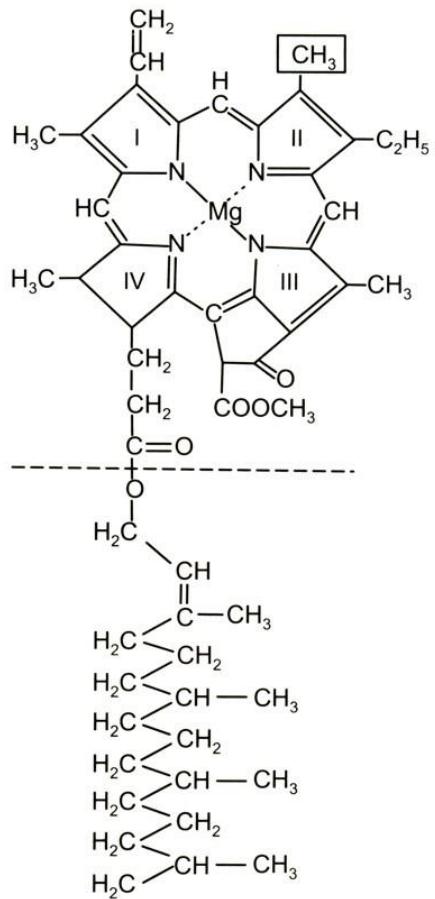


Рис. 2. Структурная формула хлорофилла *a*



Фото 4. Жолио-Кюри
Фредерик

Дыхание

Мы проследили за превращениями солнечного луча, пока он не затаился в молекуле сахара. Что же дальше?

Жизнь – непрерывный обмен веществ и требует постоянных энергетических затрат. Зелёный лист получает энергию от Солнца, но те части растения, где хлорофилла нет, а в темноте и листья, также постоянно нуждаются в энергии. Потому для растений, как и для всех живых существ, дыхание, – поставщик кислорода и энергии, – необходимо непрерывно. Кроме того, дыхание – важнейший процесс «питания» клетки органическими веществами. Оно поставляет энергию и «кормит» клетку.

Научные основы представления о дыхании и роли кислорода заложил французский химик Антуан Лоран Лавуазье (1743-1794) в 1773-1784 годах.



Фото 5. Лавуазье Антуан

Он обнаружил кислород, дал ему название и сравнил дыхание с горением. При горении к веществу присоединяется кислород воздуха (молекулярный кислород), образуется углекислый газ и выделяется тепло. Лавуазье назвал дыхание *медленным горением* – постепенным выделением тепла.

В 1955 году установлено: углекислый газ, что выделяется при дыхании, содержит кислород не из воздуха, а из воды. Это не молекулярный кислород. Дыхание – иной процесс, чем горение. Но он также связан с выделением запасённой в органических молекулах энергии Солнца.

На рубеже XIX века стало известно, что в темноте растения столько же поглощают кислорода, сколько выделяют углекислого газа.

Английский учёный Ханс Адольф Кребс (1900-1981) составил схему окисления органических кислот до выделения углекислого газа у животных. Позже оказалась, что такая же схема действует и у растений. Химизм дыхания растений и животных, в основном, одинаков.



Фото 6. Кребс Ханс

Общее уравнение дыхания для животных и растений принято во второй половине XIX века:



Эта энергия и есть освобождённый из молекулы сахара солнечный луч, а сложные превращения молекул, скромно обозначенные стрелкой, – химизм, клеточное дыхание.

Дыхание, как распад органических веществ до углекислого газа и воды, в клетках проходит по-разному. Основной дыхательный путь идёт через цикл Кребса. Он поставляет энергию (АТФ) больше других путей и связывает углеводный, азотный и жировой обмены.

В растениях работают ещё глиоксилатный цикл, пентозофосфатный путь окисления глюкозы (ПФП), окисление может идти через аскорбиновую кислоту. Есть и другие превращения. Но, повторю, самый главный и важный – через цикл Кребса, его ещё называют лимоннокислым, циклом трикарбоновых кислот (ЦТК).

Основной дыхательный путь состоит из трёх частей: гликолиза, цикла Кребса, электроннотранспортной цепи (ЭТЦ).

Гликолиз проходит в цитоплазме, хлоропластах, цикл Кребса – в середине митохондрий. Молекулы ЭТЦ расположены на внутренней мемbrane митохондрий в строгой последовательности одна за другой, рядом.

В каждой части есть свои особенности и *обязанности*.

В гликолизе и цикле Кребса с помощью ферментов происходят превращения молекул: от одной к другой передаётся часть молекулы, или изменяется её структура. В ЭТЦ передаются **электроны**, молекулы только окисляются или восстанавливаются.

Как сказал Владимир Александрович Энгельгардт (1894-1984), гликолиз одинаков «...в клетке бактерий, зелёного листа, мозга человека».

Он не нуждается в кислороде, но в бескислородной среде за реакциями гликолиза следует брожение. В кислородных условиях начинается дыхание, связанное с поглощением кислорода. Эти превращения едины у животных и растений.

После цикла Кребса начинает действовать электроннотранспортная цепь.

В конце ЭТЦ электроны переносятся непосредственно к кислороду *цитохромоксидазой*. Подавление цитохромоксидазы цианидами, угарным газом, мгновенно прекращает работу ЭТЦ и также мгновенно вызывает гибель животного (и человека).

Растения более устойчивы к действию цианидов: у них есть ещё одна оксидаза, её называют *альтернативной*, она цианидом не подавляется.

Кроме того, в растениях соединение с кислородом может идти иначе – через аскорбиновую кислоту, полифенолы... Их оксидазы работают не в митохондриях, в цитоплазме.

А теперь обратим внимание на другие «обязанности» дыхания. Мы говорили, что дыхание «кормит» клетку.

Основной путь дыхания очень важен и для энергетики, и для «питания» клетки. В нём взаимосвязаны углеводный, азотный, жировой обмены веществ. Уже в гликолизе часть промежуточных молекул используется клеткой на синтез жирных кислот, липидов. А в цикле три органические кислоты соединяются с аммиаком и образуют аминокислоты. Это – аланин, аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты. Их называют *первичными*, потому что они образуются первыми. От них азотная часть передается другим органическим кислотам. Так создаётся всё многообразие аминокислот.



Фото 7. Энгельгардт В.А.

О значении дыхания как процесса, который поставляет клетке не только энергию, но и промежуточные продукты для различных синтезов, можно судить по различию его путей.

Цикл Кребса наиболее активен в растущих тканях *всех* растений. А в прорастающих семенах и проростках растений *масличных* активен несколько иной путь дыхания – *глиоксилатный* цикл. Он идет не в митохондриях, в специальных органеллах – глиоксисомах, участвует в превращении запасных жиров в сахара. Его нет у животных, нашим клеткам он не нужен.

Важный путь дыхательного распада глюкозы – пентозофосфатный. Здесь образуется пентоза («кирпичик», из этих кирпичиков состоят нуклеиновые кислоты). ПФП действует в цитоплазме, хлоропластах и особенно активен там, где идет синтез нуклеиновых кислот, клеточных оболочек. Пентозы используются и в усвоении CO_2 . В этом главное назначение пути. Как поставщик энергии он менее значителен.

О том, как будут использованы энергия АТФ и промежуточные продукты дыхания, поговорим дальше. А сейчас, в заключение рассказа о путешествии солнечного луча, вспомним высказывание К.А. Тимирязева: «... Пища служит источником силы в нашем организме потому только, что она – не что иное, как консерв солнечных лучей». И слова Германа Людвига Фердинанда фон Гельмгольца: «...человек вправе, наравне с самим китайским императором, величать себя сыном Солнца».

Не зря замечательный калмыцкий поэт Давид Кугультинов напоминал: «*Что солнце человек – не позабудьте!*».

Способ существования белковых тел

Возбудители жизни

Полученную при фотосинтезе и дыхании молекулу АТФ называют *разменным рублём, энергетической валютой*. Она расходуется на процессы синтеза, на активный транспорт молекул внутри клетки, из клетки и в клетку. Но все процессы идут при непременном участии белков – ферментов.

Белок – название житейское, от варёного куриного яйца: после кипячения он становится белым. Белки вместе с нуклеиновыми кислотами – самая главная, первостепенная часть всех живых организмов. Потому их научное название – *протеины*, от греческого – *протос* – первый, важнейший. И это оправдано.

Белки и липиды – главные молекулы мембран. Особые, сократительные белки ответственны за движения внутри клетки. Белковые молекулы защищают от чужеродных соединений, в том числе вызывающих инфекцию. От белков зависит несовместимость пыльцы, если она попадет на рыльце пестика «чужого» цветка. Особый, структурный белок входит в состав клеточной оболочки растений. И, что очень важно, – почти все химические превращения в организме идут с участием белков-ферментов.

Коротко можно сказать: белки выполняют структурные, защитные, метаболические обязанности в клетках всех живых организмов – они *основа Жизни*.

Можно поражаться меткости определения роли белков, данного в позапрошлом веке Фридрихом Энгельсом (1820-1895): «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причём с прекращением этого обмена веществ, прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка». (Обратите внимание – не белки, а – *способ существования белковых тел*).

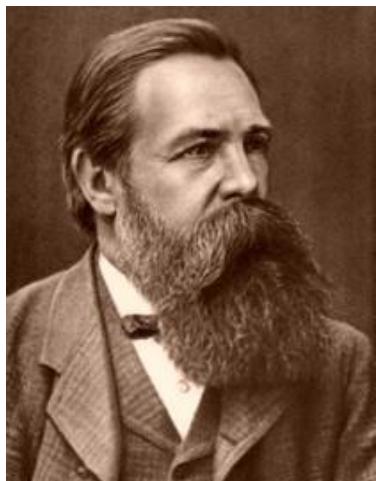


Фото 8. Энгельс Фридрих

За прошедшие полтора столетия, несмотря на очень большие успехи биологической науки в познании обмена веществ, главная мысль не потеряла значения. Роль белков не уменьшилась, только мы стали значительно больше знать о *способе их существования*. Ведь нуклеиновые кислоты, по сути, не что иное, как способ существования белков. Хранение зашифрованной информации о белках в дезоксирибонуклеиновой кислоте (ДНК), и с помощью информационной, транспортной и рибосомальной нуклеиновых кислот расшифровка этой информации – синтез ферментов.

Работа ферментов – тоже способ существования белковых тел. И она заслуживает особого внимания, не зря белки-ферменты называют *носителями Жизни*.

Иван Петрович Павлов (1849-1936) говорил, что ферменты «...обусловливают собою те процессы, благодаря которым проявляется жизнь, они и есть в полном смысле возбудители жизни».

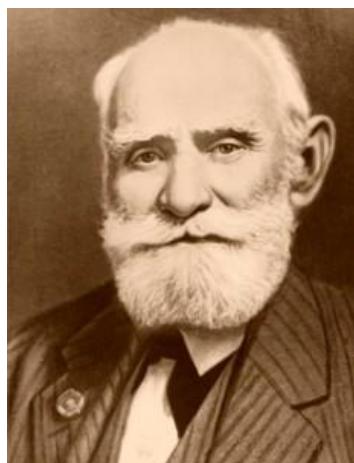


Фото 9. Павлов И.П.

Сейчас известны более двух тысяч различных ферментов, но учёные считают, что это далеко не все. Первым был открыт в самом начале XIX века фермент, превращающий крахмал в сахар. Позже другие учёные выявили другие ферменты, и предложили называть по названию того вещества, на которое они действуют, добавив окончание «аза». Так фермент, действующий на крахмал (*amylum*) называли – *амилаза*.

Шло время, в разных странах выявлялись новые ферменты, и стало необходимым ввести общую систему именований. В 1956 году специально созданная Международная комиссия разработала единую классификацию и номенклатуру ферментов.

По классификации все ферменты разделены на классы в зависимости от типа реакции. Ферменты катализируют окислительно-восстановительные реакции, переносят одну химическую группу на другую молекулу, катализируют реакции гидролиза и другие реакции. Всего шесть классов.

Внутри классов ферменты делят на подклассы в зависимости от строения молекулы, на которую они действуют. Их в свою очередь разбивают на подподклассы, где ещё строже уточняют структуру химических групп. Последним,

четвёртым, ставится порядковый номер, полученный при изучении нового фермента. Например, фермент, гидролизующий крахмал, в описании даётся так: *амилаза*. Как уже говорилось, амилаза была первым открытим ферментом этого класса, потому её порядковый номер первый. Систематическое название амилазы – L–D–глюкан-глюканогидролаза, но разрешено давать общепринятое название, указав в скобках номер индексации

Почему наука о ферментах называется энзимологией

Слово *фермент* – от *ферментации*. Так называют брожение. Люди пользовались ферментацией с незапамятных времён. Главным образом при спиртовом и молочнокислом брожениях, не задумываясь об их причине.

В начале XIX века стали известны химические реакции, которые ускорялись, если добавить в смесь некоторые вещества – платину, древесный уголь... Их называли *катализаторами* – ускорителями реакции. Узнали, что брожение возбуждают дрожжи, но дрожжи тогда не считали живыми существами.

В пятидесятых годах Луи Пастер (1822-1895) показал, что разные типы брожений: спиртовое, молочнокислое, уксуснокислое вызывают разные микроорганизмы. Спиртовое брожение вызывают живые клетки дрожжей. Следовательно, по его мнению, ферменты – *существа*.

Пастеру возражали. Пьер Эжен Марселен Бертло (1827-1907) показал, что вытяжка из дрожжей катализирует расщепление сахарозы на глюкозу и фруктозу. Следовательно, ферменты – *вещества*.

Учёные стали делить ферменты на две группы: *организованные*, т.е. живые микроорганизмы и *неорганизованные*, растворимые, ферменты-вещества.

Вилли Кюне (1837-1900), предложил называть растворимые ферменты *энзим* (греч. "эн зимон" – в закваске).



Фото 10. Пастер Луи

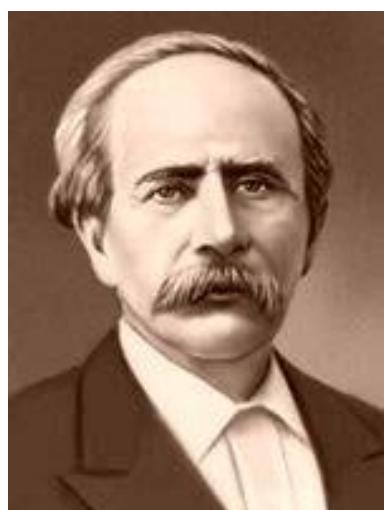


Фото 11. Бертло Пьер



Фото 12. Кюне Вилли

Много лет спустя стало доказано, что ферменты – вещества. Но термины *фермент* и *энзим* остались, как синонимы. В нашей научной литературе чаще употребляют слово *фермент*, но сохранились и *энзимы*, в частности, – *энзимология* – наука о ферментах. А специалистов, изучающих ферменты, называют *энзимологи*.

Строение и работа ферментов

Все ферменты – белки, они построены из аминокислот. Но в сложных белках есть ещё различные небелковые группы. Некоторые прочно связаны с белковой частью, их называют *апофермент*. Другие легко отделяются от одного белка и переходят к другому, это – *коферменты*.

Небелковая часть во всех случаях играет важную роль в действии фермента, она образует *активный центр*. Здесь фермент соединяется с молекулой, на которую влияет: молекула значительно меньше фермента.

В состав коферментов часто входят витамины. Они выполняют основную химическую реакцию. Витамин В₆ (пиридоксин) – участвует в работе многих ферментов обмена аминокислот, витамин В₁ (тиамин) – обмена органических кислот. Многим ферментам необходимы витамины В₁₂, фолиевая, пантотеновая, никотиновая кислоты. В состав коферментов может входить АТФ. (Мы помним, что витамины люди получают от растений, в наших клетках они не образуются).

Активность фермента зависит от ряда причин: от содержания молекул, на которые действует фермент (от субстрата), от температуры, реакции среды...

При повышении температуры ферменты работают быстрее, при понижении – медленнее. По отношению к высокой температуре они разделяются на *термостабильные* – устойчивые и *термолабильные*. Эти разрушаются уже при температуре 40 градусов. Термостабильные в клетках растений (и человека) неизвестны. Но найдены микроорганизмы из горячих источников с температурой 70 градусов, значит, там ферменты работают и при такой высокой температуре. Понижение температуры снижает активность фермента, но не разрушает.

Ферменты высокочувствительны к реакции среды. Большинству наиболее благоприятна слабокислая среда, близкая нейтральной. Но есть ферменты, работающие в кислых или щелочных условиях. Очень важно, что все они «не любят» отклонений от своего оптимума кислотности или щёлочности. При изменении даже на одну десятую pH, активность резко снижается.

Надо сказать, что и при вполне благоприятных условиях активность разных ферментов неодинакова. Она определяется тем, на сколько молекул вещества может подействовать одна молекула фермента за одну минуту. Это называют *молекулярной активностью* фермента.

Наименьшая активность у сукцинатдегидрогеназы. Под действием одной её молекулы превращается 1150 молекул вещества за минуту.

Известная вам амилаза за это время разделяет один миллион сто тысяч молекул крахмала. Самая активная – карбоангидраза, она может переработать за минуту 36 миллионов молекул угольной кислоты.

Однако обычно активность ферментов ниже, чем их возможности. В клетке не бывают наиболее благоприятные условия одновременно для всех, или хотя бы – многих ферментов.

Важное свойство ферментов – *специфичность*, избирательность по отношению к молекулам, на которые они действуют, и типу реакции, которые производят. Каждый фермент может ускорять одну или группу сходных химических реакций. Например, оксидаза может действовать на многие похожие по строению аминокислоты. Но при этом среди нескольких молекул предпочтёт «любимую».

С другой стороны, одну и ту же молекулу могут катализировать разные ферменты. Конечно, при этом получаются разные продукты реакции. Так, если с аминокислотой взаимодействует оксидаза, образуется кетокислота и аммиак, а если декарбоксилаза – амин и углекислый газ.

Как работает фермент? Мы знаем, что фермент объединяется с молекулой, на которую он действует, образуя комплекс.

Комплекс – соединение фермента с молекулой на очень короткое время. Затем молекула распадается на продукты реакции, а фермент отделяется, готовый к новым объединениям.

Комплекс может получиться, если между молекулой и активным центром фермента есть структурное и химическое соответствие. Если они подходят друг другу. Долгое время считалось, что фермент и молекула подходят, как ключ к своему замку. Сейчас сравнивают руку и перчатку. Перчатка принимает окончательно свою форму, когда она надета на руку. Тесный контакт, полное соответствие фермента и молекулы, наступает только, когда они объединяются.

Это соответствие называют *наведённым*. При столкновении фермента со своей молекулой, и молекула и фермент немного меняют свою структуру, очень плотно прижимаясь, и образуют единство – комплекс.

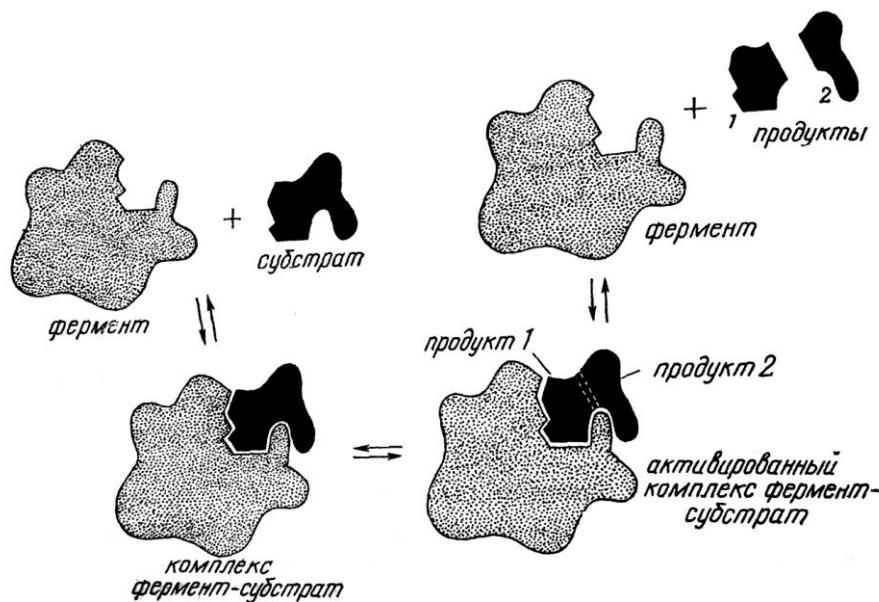


Рис. 3. Схема образования промежуточного соединения фермент-субстрат

В комплексе фермент производит несколько промежуточных превращений молекулы: дробит реакцию на части (рис. 3). Эти превращения не требуют больших энергетических затрат. Так фермент снижает барьер активации реакции, которую он катализирует.

А затем, как уже сказано, фермент отделяется от получившихся продуктов реакции и образует комплекс с новыми молекулами.

Как велика длительность жизни фермента? Есть ферменты, живущие несколько дней. А есть такие, что уже через несколько часов распадаются на аминокислоты. Дольше живут ферменты основного обмена – дыхания, фотосинтеза.

В клетке одновременно работает очень много ферментов, но лишь те, что нужны клетке в данный момент. Набор зависит от «обязанностей» клеток, их возраста, соседних клеток, времени суток и условий среды – температуры, снабжения водой, минеральными веществами...

Когда у клетки возникает потребность в новом ферменте, он появляется довольно быстро. Вот как это происходит.

Вы знаете, что в клеточном ядре находится главная молекула всех живых существ: ДНК. Она состоит из двух очень длинных нитей, соединённых между собой.

ДНК закручена в спираль и более сложную структуру (рис. 4), оплетена особыми ядерными белками, они закрывают доступ к считыванию информации. В ДНК хранится информация обо *всех* белках организма. Потому при определённых условиях каждая клетка, даже клетка пыльцы может дать новое растение. Но подавляющая часть генома – генов-носителей информации о белке, – закрыта.

При потребности в ферменте, из цитоплазмы в ядро поступает сигнал. На ДНК открывается нужный участок генома, на нём синтезируется рибонуклеиновая кислота (РНК). Её зовут *информационная*, или – *матричная*: она служит шаблоном, матрицей для синтеза белка. Затем участок ДНК вновь закрывается. Созданная тРНК называется *предобразованной*, она ещё не готова для работы, на ней есть «лишние» участки. Она должна пройти *процессинг*: лишние части молекулы, мешающие работе тРНК должны отделиться. В таком *предобразованном* виде молекула, видимо, должна дожидаться повторного сигнала из цитоплазмы: своеобразная «страховка», способ регуляции.

После процессинга тРНК поступает в цитоплазму, прикрепляется к полисомам на эндоплазматической сети. К ней специальные транспортные РНК по очереди подвозят каждая свою аминокислоту, прикрепляют её к нужному участку тРНК и предыдущей аминокислоте. Так вырастает цепочка аминокислот. После того, как наберутся все молекулы, составляющие белок, – цепочка отделяется и мгновенно сворачивается, принимая форму белка.

Простые белки состоят из одной цепочки аминокислот. Цепочка аминокислот это – *первичная* структура. Цепочка скручивается в спираль, образуя структуру *вторичную*, а затем сворачивается в глобулу (*третичная* структура) (рис. 5).

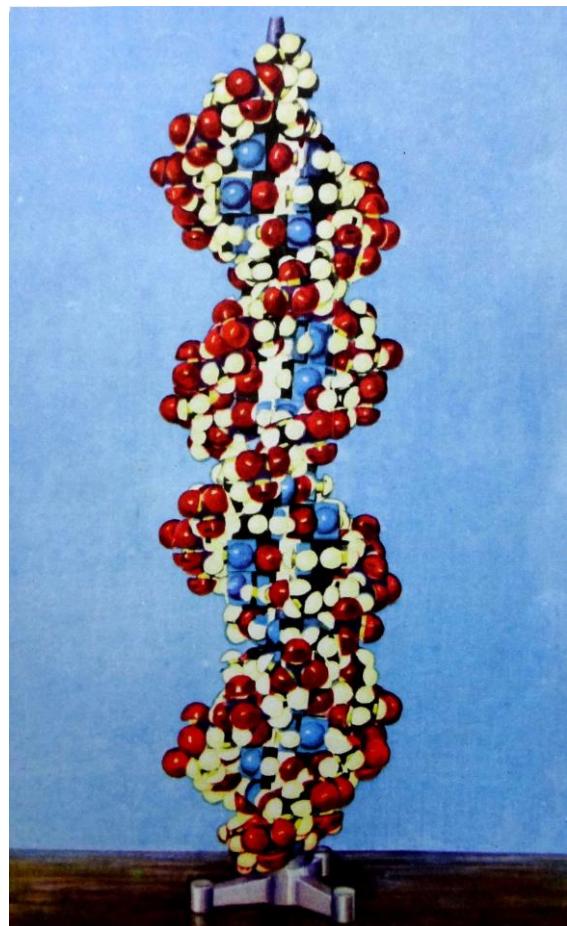


Рис. 4. Молекулярная модель дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК)

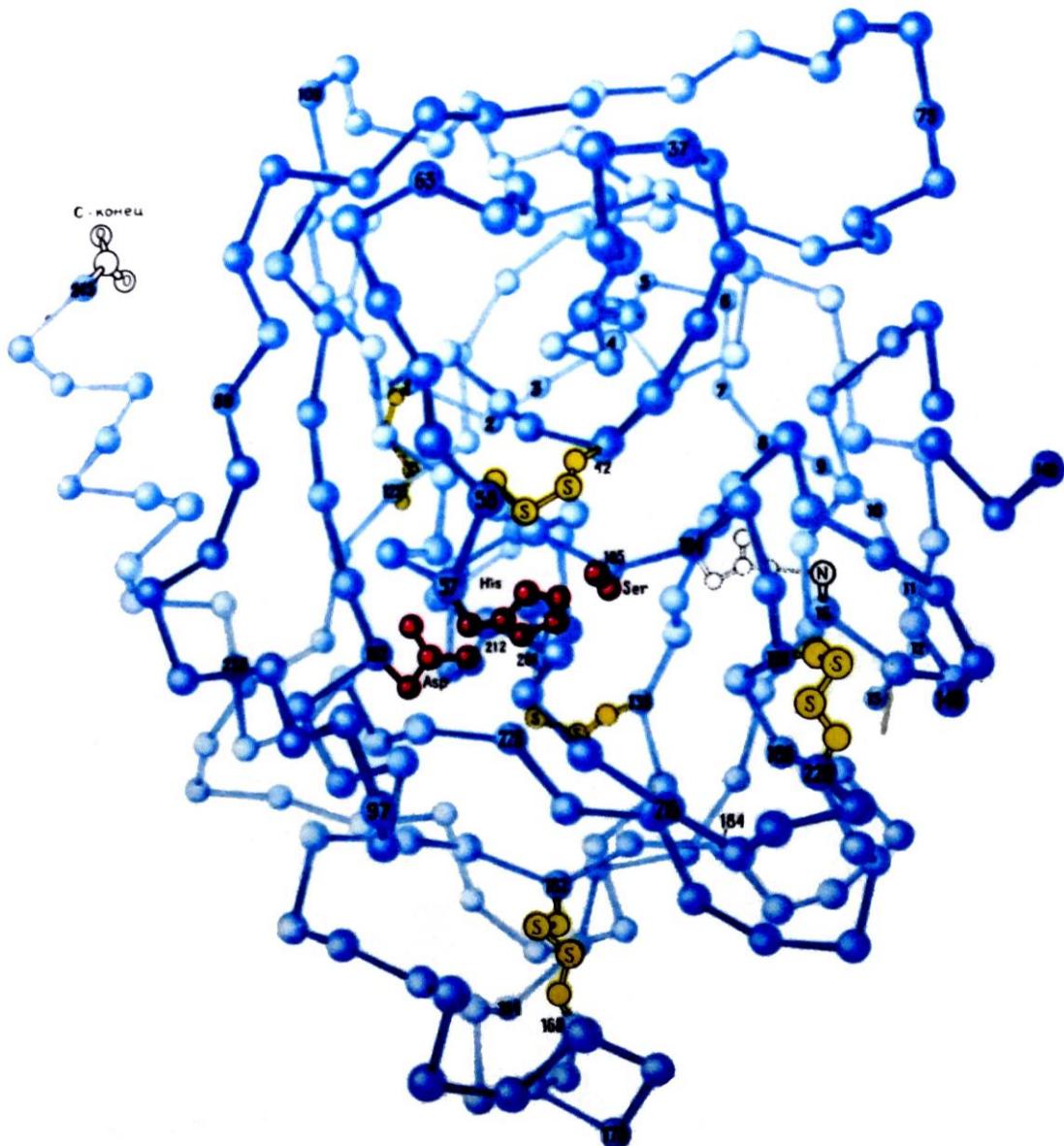


Рис. 5. Схема третичной структуры молекулы химотрипсина. Активный центр образует остатки серина 192, гистидина 57 и аспарагиновой кислоты 102. Красным цветом показаны функциональные группы активного центра, жёлтым цветом – пять дисульфидных мостиков, белым – боковые цепи

Сложные белки собраны из нескольких цепочек, создавая структуру *четвертичную*.

Фермент *рибулёзобисфосфаткарбоксилаза* в хлоропластах (участвует в поглощении углекислого газа при фотосинтезе) собрана из шестнадцати белковых цепочек (субъединиц). Это фермент *регуляторный, аллостерический*.

Мы говорили, что активность фермента зависит от ряда условий: от наличия молекул, на которые действует фермент, температуры, pH, зависит от связи с мембранами... Некоторые сложные ферменты кроме катализитического центра связывания имеют в своей другой части *аллостерический центр* – участки, способные связывать особые молекулы. Их называют *эффекторами* (регуляторами). Они могут активировать или тормозить активность такого регуляторного, *ключевого* фермента.

Регуляторные ферменты, наверное, один из первых (отнюдь не простейших) уровней регуляции в растении.

Бесчисленное количество одновременно идущих реакций обмена веществ в клетке, совсем не хаотично. Оно происходит «по воле» клетки – зависит от её потребностей.

При синтезе необходимых клетке молекул последовательно работает группа – система ферментов, передавая молекулы друг другу «по цепочке».

В начале цепочки действует *регуляторный, ключевой* фермент, он как бы *отпирает* путь – направление, ход и скорость реакций, идущих друг за другом, как волна. Однако активность ключевого фермента определяет и конечный продукт – последнее звено в цепочке. Когда такой молекулы создано достаточно, она связывается с аллостерическим центром регуляторного, ключевого фермента и его активность «замирает». В технике это известно как работа по принципу обратной связи.

Тормозить активность могут также особые белки-ингибиторы, связываясь с молекулой фермента, а активировать – растительные гормоны. Ставшие ненужными ферменты разрушаются ферментами-протеиназами.

Ещё многое в регуляции обменных процессов и деятельности ферментов пока неизвестно и предстоит изучать.

Фундамент жизни

Клетка растения

Сейчас мы познакомимся с растительной клеткой. Она – как большой симфонический оркестр, где каждый участник выполняет свою партию. «Первая скрипка» в клетке, конечно, ядро. От него зависит *основная мелодия*, но не менее важны все другие структуры. Так в оркестре разные голоса, сливаясь, создают полифонию, слаженное прекрасное звучание.

И.П. Павлов называл клетку *фундаментом жизни*: клетка обладает всеми свойствами живого и, что особенно важно, – способностью к самовоспроизведению.

Хлоропласти, митохондрии, ядро, могут какое-то время жить и работать вне клетки, но вскоре погибают. *Только клетка может разделиться и дать начало новому организму.* Она самостоятельна, но в многоклеточном организме все клетки взаимосвязаны. Их объединение необходимо, чтобы растение стало единой *системой*, способной противостоять всем «невзгодам» окружающего мира.

Заметно объединение структур в самой клетке. Учёные говорят, что «... эукариотические клетки... в высшей степени *социальные* организмы, они живут благодаря кооперированию и специализации», – подобно человеческому обществу».

Давайте посмотрим, как устроена взрослая клетка растения (рис. 6).

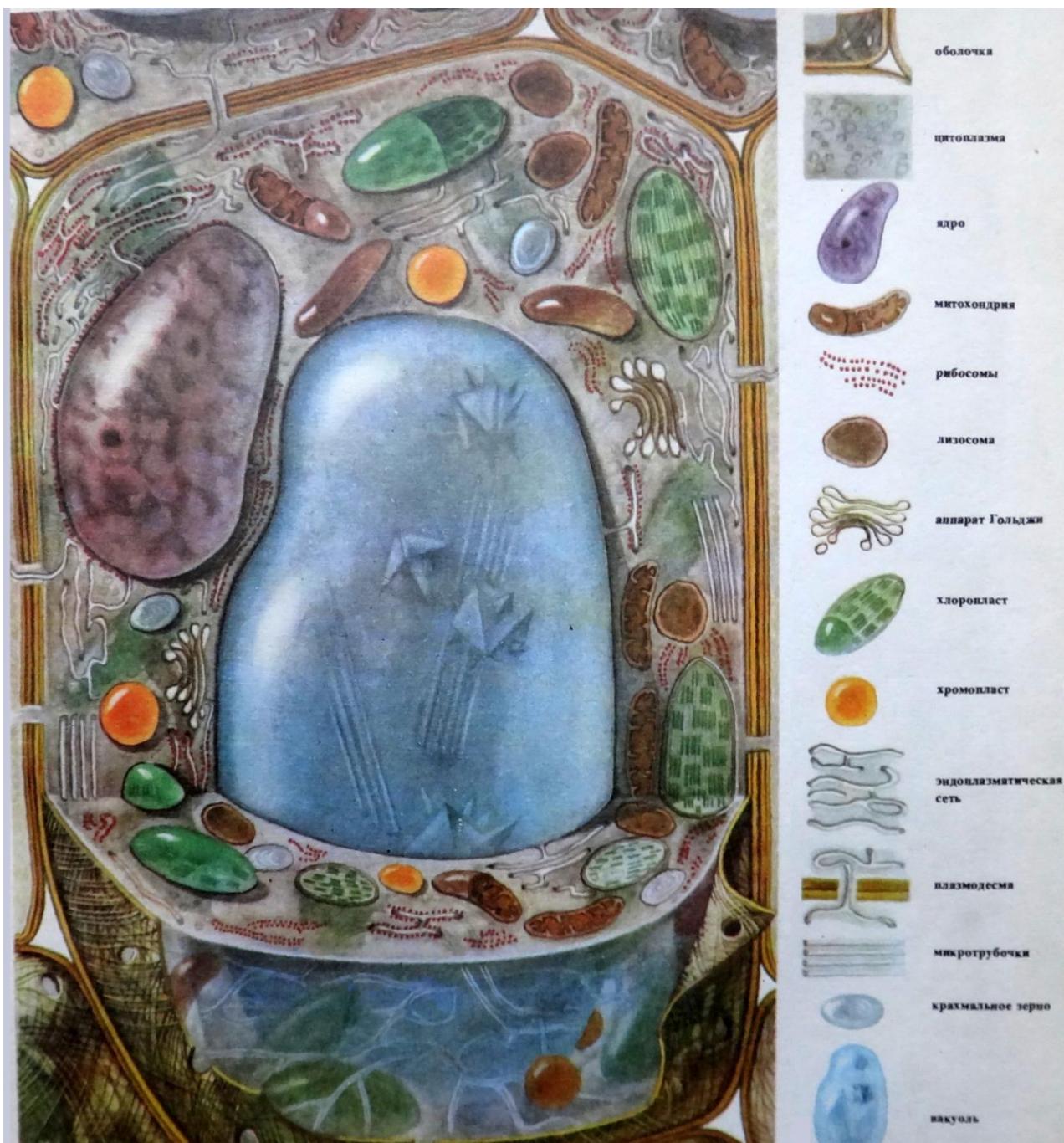


Рис. 6. Строение растительной клетки

Обязанности клеток корня, листа, стебля, конечно, различны, но у всех принцип построения един. Причём, в основном, одинаков у растений и животных. В наших клетках нет вакуоли, пластид и жёсткой клеточной оболочки, а ядро, митохондрии, аппараты синтеза белка и химизма дыхания почти не отличаются.

Основное пространство взрослой клетки растения занимает *вакуоль*. Она играет очень важную, но различную роль. В растущих клетках вакуоль содержит много ферментов-гидролаз, они дробят крупные молекулы и так повышают осмотическое давление. Потому – увеличивают поступление воды в клетку, вакуоль давит на оболочку, помогает клетке расти.

Вакуоль содержит минеральные соли, органические, аминокислоты и другие молекулы. По мере необходимости цитоплазма их применяет в обмене веществ клетки. В это время вакуоль, как холодильник с продуктами. С возрастом она становится местом хранения запасов. Катехинов в листьях чая, в корнеплодах сахарной свёклы – сахарозы, различных веществ в корнях и листьях лекарственных растений...

Вакуоль окружена мембраной, её зовут *тонопласт*.

Тонким слоем между вакуолью и оболочкой располагается *протопласт*. Он состоит из цитоплазмы с ядром, эндоплазматической сетью и органоидами. О хлоропластах и митохондриях мы говорили. Надо добавить: у них есть и собственная ДНК. Правда, она такая же, как у микроорганизмов. Считают, что раньше хлоропласти и митохондрии жили самостоятельно, и объединились на каком-то этапе развития: вместе всегда сильнее. Однако, имея свою ДНК и всё необходимое для синтеза белков, они создают не все белки, необходимые даже для «внутреннего пользования». Сложные белки в хлоропластах и митохондриях составляются из тех, что синтезируют сами и тех, что поступают из цитоплазмы, значит, кодируются в ядре.

В цитоплазме активно действуют *диктиосомы* (комплексы Гольджи) – секреторный орган клетки. Это сплющенные мешочки – диски, сложенные стопками по несколько штук. Их в клетке до двадцати тысяч. По краям дисков – трубочки, на их концах отделяются пузырьки – *везикулы*.

В дисках вырабатываются *секреты* – вещества, необходимые клетке. В зависимости от потребности это могут быть полисахариды, эфирные масла... У корневого чехлика – слизи, чтобы предохранить клетки от столкновения с твёрдыми почвенными частицами.

Секреты в везикулах направляются к «месту назначения». Тельца Гольджи сами немного перемещаются в нужную сторону, а пузырьков направляют к местам потребления *микротрубочки*.

Микротрубочки образованы особым белком *тубулином*. С микротрубочками связаны и белки, подобные мышечным белкам животных – *актинам*, потому они могут волнообразно изгибаться. Их движение требует энергии АТФ.

Больше всего микротрубочек около растущей клеточной оболочки. В молодой клетке микротрубочки устраивают поперёк длинной оси клетки, «ваталкивая» фибриллы целлюлозы в клеточную оболочку. Когда рост клетки в длину завершён, микротрубочки ложатся параллельно длинной оси, помогая увеличивать у оболочки толщину.

Среди органоидов растительной и животной клетки особое место занимают *лизосомы* – маленькие пузырьки с однослойной мембраной. Это, пожалуй, самые таинственные образования. Они наполнены ферментами, разрушающими все полимеры клетки: белки, нукleinовые кислоты, мембранны (кроме, почемуто, – своей). При повреждении клетки инфекцией содержимое выходит из лизосомы и начинает всё разрушать. Больная клетка вместе с инфектором часто погибает, но считается, что для выживания организма это полезно. Лизосомам отводится роль мусорщиков, они освобождают организм от повреждённых клеток.

В цитоплазме содержатся и другие органоиды – пероксисомы, глиоксисомы... Но, несомненно, наиболее важная роль принадлежит ядру.

Ядро – самая крупная структура цитоплазмы и по размерам, особенно в клетках меристемы. В ядре при делении клетки, ДНК находится в форме хромосом. В остальное время под микроскопом мы видим глыбки хроматина в ядерном соке – *нуклеоплазме*. В ядре временами возникают *ядрышки*, там синтезируется рибосомальная нуклеиновая кислота.

Ядро окружено двухслойной мембраной с множеством подвижных пор. Они возникают там, где происходит общение с цитоплазмой, и закрываются, когда их необходимость исчезает. Внутренняя мембрана гладкая, наружная связана с *эндоплазматической сетью*. Есть мнение, что сеть – наружная мембрана ядра.

В цитоплазме довольно много рибосом – органоидов, ответственных за синтез белка. Они содержат свою, рибосомальную нуклеиновую кислоту.

Для синтеза белка одна молекула тРНК соединяется с несколькими рибосомами, образованными в *полисомы*.

О синтезе белка мы уже говорили, здесь мне хочется привести цитату группы зарубежных учёных из пятитомника «Молекулярная биология клетки»: «Используя компьютерную технологию можно сказать, что нуклеиновые кислоты представляют собой *программное обеспечение* – инструкции, полученные клеткой от родительской клетки. Белки составляют *аппаратное обеспечение* – физические механизмы, осуществляющие хранящуюся в памяти программу».

А теперь – о *мембранах*. В клетках всех организмов мембранам принадлежит исключительная роль. Оболочка всех клеток и органоидов – мембранны. Клетку растений окружает мембрана, которую зовут *плазмалемма*.

Специалисты называют мембранны удивительными биологическими конструкциями: при толщине в две-три молекулы у них необычно высокая прочность на разрыв, устойчивость и гибкость. По электроизоляционным свойствам они превосходят многие материалы, применяемые в технике.

Общая площадь мембранны в клетках достигает огромной величины. В организме человека заняла бы не один гектар. Для растений такой подсчёт не знаю, но известно, что внутренняя мембрана хлоропласта в тысячу раз больше, чем наружная.

Клетка содержит столько мембранны не случайно. Их значение трудно переоценить, настолько велики обязанности. Мембранны регулируют многие процессы благодаря удивительному свойству избирательной проницаемости. Мембранны «разрешают» или «запрещают» прохождение молекул в клетку или из клетки. Они создают в разных участках клетки свои условия среды: кислотность, содержание растворённых веществ, электрический потенциал...

Мембранны оболочка растительной клетки – *плазмалемма* – участвует в образовании клеточной оболочки (её раньше называли *стенкой*), и строго регулируя транспорт определённых молекул, легко пропускает воду.

На внутренних мембранных хлоропластов солнечная энергия преобразуется в химическую, а у митохондрий вырабатывается АТФ. На мембранных эндо-

плазматической сети идёт синтез белков (*шероховатый ретикулум*, где крепятся рибосомы), и углеводов (на гладком участке).

Важно отметить, что мембранные белки влияют на активность некоторых ферментов: одни активны только прикреплённые к мембране, другие после отделения от неё.

Однако *уникальные свойства мембран присущи лишь живой клетке и требуют непрерывных энергетических затрат*. После отмирания клетки эти свойства теряются.

Состоят мембранные белки в основном из белков и липидов. Их структура непостоянна: молекулы липидов всё время обновляются, перемещаются по мембране («играют в чехарду»), пульсируют, мембрана «как бы дышит». Говорят: «Структура мембраны – это процесс».

Липиды могут находиться в жидкокристаллическом состоянии и твёрдом, гелеобразном. При понижении температуры мембрана «твердеет» и становится непроницаемой даже для воды. Потому в холодных болотистых почвах растения часто страдают от недостатка влаги.

Чтобы клетка могла существовать, липиды в мембранах должны быть в меру *жидкими*. Только тогда в мембране работают белки, отвечающие за избирательную проницаемость. При похолодании организм человека и животных поддерживает нужную температуру за счёт обмена веществ. Растения в этом случае меняют состав липидов на такие, что при понижении температуры меньше твердеют.

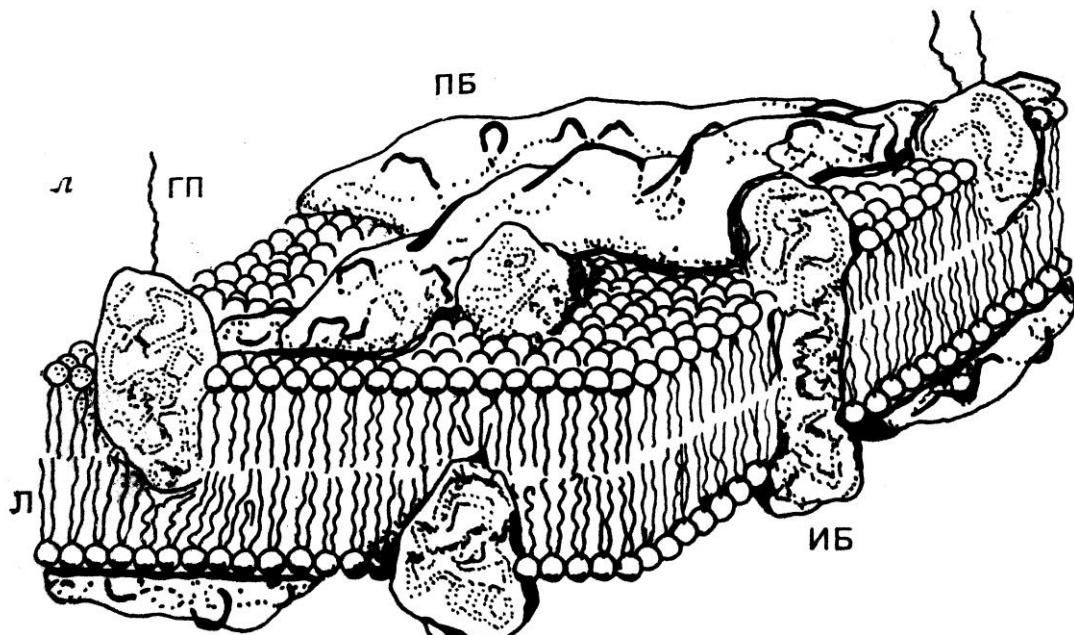


Рис. 7. Схема строения клеточной мембраны. Л – непрерывная липидная фаза, ИБ – интегральные белки, ПБ – периферические белки, ГП – гликопротеиды. Число полярных головок фосфолипидов должно примерно в 10 раз превышать количество интегрального белка

Наружная мембрана клетки – плазмалемма – тесно прилегает к *клеточной оболочке* растения. Клеточная оболочка – очень важная структура. Долгое время её называли «деревянной тюрьмой». Но сама клетка «считает иначе». При

клонировании растений из протопластов (у клеток разрушают клеточную оболочку), «раздетая» клетка не делится, пока не создаст новую. И как только появляется такая возможность, немедленно приступает к её образованию.

Клеточная оболочка выполняет множество обязанностей. Она защищает клетку от инфекций (в ней содержатся специальные ферменты), поддерживает форму, определяет размер клетки. Кроме того, участвует в поглощении клеткой ионов, вместе с водой по клеточной оболочке перемещаются растворённые вещества. Строение оболочек защищает клетки и растение от большой потери воды...

Клеточная оболочка растений очень сложное образование. В ней есть особый белок – структурный. Есть и белки-ферменты, соединяющие одни молекулы, разделяющие другие. Особенно заметно действие таких ферментов в клеточных оболочках созревающих плодов: они становятся мягкими.

Оболочка клетки в основном состоит из целлюлозы и пектиновых веществ. Молекулы целлюлозы очень длинные и неразветвлённые. Они объединяются в *фибриллы* разной степени упаковки: от 50-100, до 2000 молекул, такие можно видеть в микроскоп.

В молодой, растущей клетке фибриллы тонкие, сравнительно короткие, и располагаются поперёк длинной оси клетки, увеличивая её длину. Этому помогает вакуоль – давление воды на оболочку. А также микротрубочки, как уже говорилось, «вталкивая» в неё новые фибриллы, раздвигая соседей. Здесь находятся ферменты, помогая росту стенки и рыхлому расположению молекул. Между фибриллами целлюлозы и пектиновыми молекулами образуются просветы – своеобразный межклеточный транспортный путь.

Эта часть называется *первичной клеточной оболочкой*. Когда рост клетки в длину заканчивается, начинает расти *вторичная оболочка*. Здесь фибриллы ложатся вдоль длинной оси, перпендикулярно к фибриллам первичной оболочки и вплотную друг к другу. Сами фибриллы значительно толще и длиннее. Толщина и прочность оболочки зависит от вторичной клеточной оболочки.

Давайте запомним: *После образования вторичной клеточной оболочки рост клетки прекращается, и возобновиться не может.*

Строго говоря, до сих пор не ясно: вторичная оболочка образуется потому, что заканчивается рост клетки в длину, или рост заканчивается потому, что начинает расти вторичная оболочка? Кто командует переходу к образованию вторичной оболочки?..

Необходимо отметить, что в клеточной оболочке формируются отверстия: *поры – сложные образования, со своей структурой*. Через них проходят тяжи цитоплазмы в соседние клетки. Так все клетки растения объединяются, что называется *симпласт*.

Рост клеток

Рост растения складывается из роста клеток, а он состоит из трёх фаз: деления, растяжения и дифференцировки. Разделение в некотором смысле условно. Уже при делении клетки определяется её будущее, а к концу растяжения клетки дифференцировка (специализация) заканчивается.

Деление

Клетка делится митотическим путём. Процесс деления (*митоз*) и подготовка к делению (*интерфаза*) составляют *митотический цикл*. У разных растений он длится не совсем одинаковое время, у большинства – примерно сутки. Само деление происходит быстро один-четыре часа, значительно больше времени занимает подготовка. Раньше период между делениями, – *интерфазу*, – называли «покоем». Но уже около половины века обнаружили: как раз здесь происходят главные события.

В интерфазе различают три периода: *постмитотический* (пресинтетический), *синтетический* и *постсинтетический* (премитотический). В каждом периоде идут активные процессы синтеза, требующие значительных энергетических затрат. И преобладает образование различных молекул.

Сразу после митоза клетка готовится синтезировать ДНК, потому создаются нуклеозиды, из которых она состоит и соответствующие белки-ферменты.

В *синтетический* период синтезируется, – удваивается ДНК, и образуются специальные ядерные белки.

Перед митозом, в *постсинтетический* период продолжается синтез белков клетки и РНК. Из созданных ДНК и ядерных белков формируются *хромосомы*.

Сейчас многое известно о последовательности образования белков – регуляторов периодов интерфазы и митоза. Подробности больше интересны специалистам. Но существенно, что *молекулы тРНК, необходимой для синтеза белков сразу после митоза, создаются клеткой ещё до митоза*.

Принцип «задела» – предварительного образования макромолекул очень важен. Это своеобразная «страховка»: так возрастает прочность механизма деления клеток.

Деление самой клетки – *цитокинез*, начинается ещё при делении ядра. Вы знаете фазы митоза: профаза, метафаза, анафаза и телофаза.

В *профазе* наряду с другими изменениями, в ядре становятся видимы хромосомы, распадается оболочка ядра. Клетка переходит к *метафазе*, когда хромосомы движутся к экватору клетки. В *анофазе* хроматиды разделяются, направляются к полюсам. И начинается последняя фаза митоза – *телофаза* – формирование оболочки ядра.

Уже в анафазе, после движения хромосом к полюсам, по экватору клетки собираются пузырьки аппарата Гольджи. Они сливаются и образуют две клеточные мембранны – *плазмалеммы*. Между ними – полужидкий слой эфира органической кислоты. С двух сторон в этот слой поступают новые пузырьки и кусочки эндоплазматической сети, пектиновые молекулы. Так формируется первичная перегородка новых клеток, её называют *срединной*, или *клеточной, пластинкой*.

Затем каждая клетка начинает накладывать на пластинку со своей стороны фибриллы целлюлозы – растут *клеточные оболочки*. А клеточная пластинка остаётся между клетками, «склеивая» их.

Как уже сказано, между клетками формируются *поры* и по ним тянутся тяжи цитоплазмы – *плазмодесмы*. Так клетки сохраняют единство.

Деление клеток у растения происходит, пока оно живёт. (Кроме периодов покоя). Но не во всём растении, а в определённых зонах – тканях, их называют *меристемы*.

В окончаниях побегов, корней – *апикальные* меристемы, в узлах злаков – *вставочные, интеркалярные*. У многих растений есть меристемы, ответственные за рост стебля в толщину – *камбий (сосудистый и пробковый)*.

Увеличение длины растения связано с апикальными меристемами. Это маленькая зона – у корней полтора – два сантиметра, затем идёт растяжение клеток в продольном направлении.

Меристемы побега организованы сложнее (рис. 8). Верхние клетки делятся вдоль поверхности *апекса* (верхушки), под ними – в разных направлениях. Здесь закладываются клетки, дающие начало и рост листьям.

Клетки меристемы не содержат вакуоли, у них крупное ядро, много микротрубочек и пузырьков аппарата Гольджи – они участвуют, как вы помните, в образовании клеточной оболочки и вакуоли. Много рибосом, активно идёт синтез белков.

В клетках меристемы стебля формируются хлоропласти, растёт внутренняя мембрана и у митохондрий, особенно в клетках корней.

Меристема мало поглощает кислорода, здесь преобладает гликолиз, что полезно для синтеза структурных молекул мембран – липидов.

Часть самых верхних клеток в апикальных меристемах отличаются рядом особенностей. Они делятся значительно реже, чем другие клетки, медленно синтезируют белки и нуклеиновые кислоты. Потому в этих клетках меньше белков и РНК. В них меньше плазмодесм, значит, слабее общение с соседними клетками. Но самое важное – эти клетки значительно *устойчивее* к различным неблагоприятным воздействиям. В том числе, к резкому охлаждению, ингибиторам дыхания и повреждением рентгеновскими лучами.

У меристемы корня такие клетки называют *покоящимся центром*. Они становятся активными у многолетних растений после зимнего покоя, ранней весной. В стебле такие клетки называют *меристемой ожидания*. Здесь активность возрастает при переходе растений к цветению.

Несмотря на то, что клеток и покоящегося центра, и меристемы ожидания очень мало – всего несколько десятков, 1-2 %, они важны для повышения устойчивости растений. Это, видимо, тоже «задел», «страховка». Она помогает возобновить рост клеток после неблагоприятных условий. Теперь уже страховка на уровне ткани.

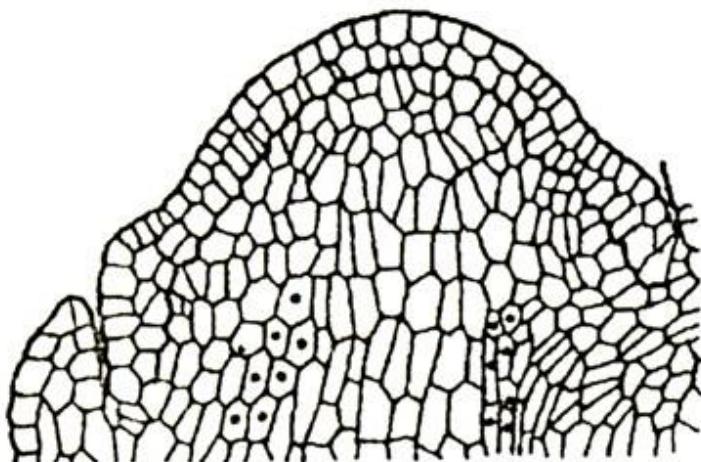


Рис. 8. Верхушечная меристема побега

Меристемы – ткани, ответственные за деление клеток, но это ещё не всё. Апикальные меристемы у растений – органы чувств и управления. Они принимают сигналы от окружающей среды и дают команду ростовым движениям растений (тропизмам): наземной части растя к свету, корням – к земле, воде, питательным веществам. Ч. Дарвин установил это первый, и назвал окончания побегов, корней *подобием мозга низших животных*.

С годами роль меристемы в жизни растения стала понятнее и обширнее. Апикальные меристемы стебля регулируют его длину, приток питательных веществ, ориентацию (направление роста) боковых побегов, торможение роста боковых почек (*апикальное доминирование*) и многое другое.

Соответственно меристемы корня влияют на образование боковых корней, усиливают образование стеблевых почек. Влияют также на чувствительность к воде, питательным веществам – туда направляют рост корней (и в сторону от веществ ядовитых).

Подробнее мы об этом будем говорить позже, но не забудем: *здесь есть много нераскрытых тайн растения ждёт своих исследователей*.

Растяжение

Эта фаза – особенность роста клеток растений. После того как клетка меристемы достигнет первоначальной величины, она делится ещё два-три раза. Потом, ещё продолжая делиться, переходит к растяжению. Почему клетка начинает растягиваться, пока точно неизвестно, но остановить этот переход искусственно не получается.

Рост растяжением начинается образованием вакуоли. Мелкие пузырьки в разных частях клетки меристемы сливаются, становятся крупнее, и, в конце концов, превращаются в одну центральную вакуоль со своей мембраной – *тонопластом* (рис. 9).

Помогает образованию и росту вакуоли аппарат Гольджи. Он направляет секреторные пузырьки к тонопласту. Тот вбирает пузырьки в себя, внутрь. Там оболочка растворяется, содержимое пополняет вакуолярный сок.

В вакуоли много разных ферментов. Особенно много гидролаз, потому осмотическое давление растёт, и вакуоль поглощает воду. Вода давит на клеточную оболочку, растягивает, в неё внедряются новые фибриллы целлюлозы. Помогают ферменты оболочки: одни разрушают связи между молекулами, другие закрепляют новые, внедрившиеся фибриллы.

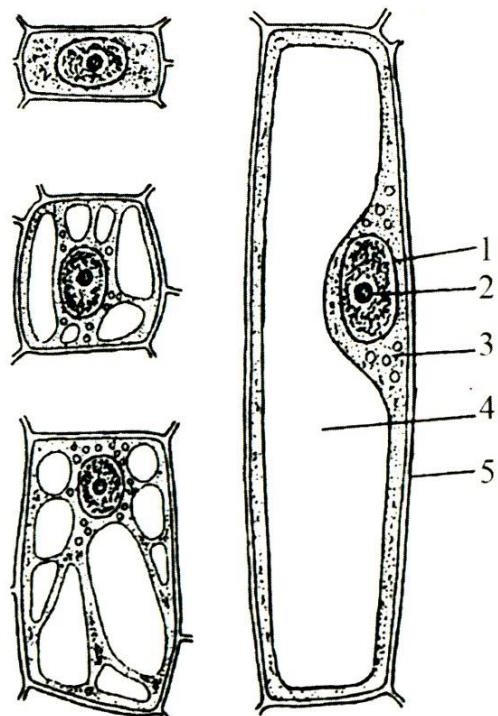


Рис. 9. Последовательные этапы роста клетки и образование вакуоли. 1 – ядро, 2 – ядрышко, 3 – цитоплазма, 4 – вакуоль, 5 – оболочка клетки

Благодаря образованию вакуоли и поступлению воды, клетка сильно увеличивается в объеме, особенно у плодов. После того как клетки тыквы перестанут делиться, объем мякоти может возрасти в миллион раз.

Во время роста растяжением немного увеличивается и объем цитоплазмы – там идёт образование клеточных структур. Однако, главное в фазе растяжения – поступление воды, рост вакуоли и клеточной оболочки.

Для растения рост растяжением очень важен. И у разных клеток он неодинаков. Особенности роста зависят от обязанностей клеток.

Так, у мякоти тыквы, яблок, других плодов, вакуоль заполняется продуктами – веществами для питания образующихся семян (у диких плодов отчасти и прорастающих). У них увеличение размеров клетки идет во всех направлениях.

Иначе растут клетки листьев (рис. 10). Клетки покровной ткани – эпидермиса, растут в основном в длину, увеличивая площадь листа. Клетки паренхимы определяют толщину листа, особенно верхние – *столбчатые* (их также зовут *палисадными* – они как заборчик у палисадника). Палисадные клетки тоже растут в длину, но по перек поверхности листа. Эти клетки – главные в поглощении солнечных лучей и на ярком свету располагаются в два ряда.

Клетки *губчатой* ткани (похожа на губку) больше ответственны за поглощение углекислого газа. Они растут, образуя между собой пустоты, пропуская углекислоту в середину листа. В эпидермисе есть устьичные клетки, образующие щель. Через щель устьиц углекислый газ поступает в лист (и выходит кислород).

Иное назначение роста клеток корня и стебля. Меристема с помощью роста направляет движение побегов и корней. Эти клетки растут в длину, в случае нужды удлиняясь в 10, 20 и даже в 200 раз! Существенно, что клетки разных сторон побега и корня могут увеличиваться неодинаково. С одной стороны побега или корня скорее и больше, чем противоположной. Туда, в противоположную сторону, направлено *движение* (рост) побега или корня.

Меристема отдаёт команду, посылая специальные молекулы – гормоны. Одни из них ускоряют рост, другие – тормозят. К гормонам растений мы ещё придём, а пока вам должно быть теперь понятно: вот зачем растениям нужна фаза растяжения клетки – для *движения побега, корня*.

В растущих клетках формируются, растут органоиды, резко увеличивается обмен веществ. Возрастает поглощение кислорода. Активнее и пентозофосфатный путь, поставляющий пентозы для усвоения CO_2 и синтеза нуклеиновых кислот. Рибосомы, бывшие одиночными в меристеме, теперь объединяются в

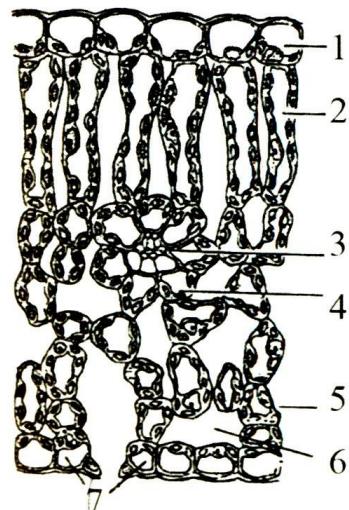


Рис. 10. Поперечный разрез листа двудольного растения:
1 – клетки верхнего эпидермиса, 2 – палисадные клетки, 3 – проводящий пучок, 4-5 – клетки губчатой паренхимы, 6 – межклеточные пространства, заполненные воздухом и водяным паром, 7 – замыкающие клетки устьиц

полисомы, прикрепляются к эндоплазматической сети – идёт активный синтез белков. Усиливается образование целлюлозы и пектиновых веществ в клеточной оболочке, в клетке становится больше органических кислот, аминокислот и сахаров. В растущих клетках наиболее активен и фотосинтез. После окончания роста поглощение углекислоты у однолетних и листопадных растений становится меньше.

К окончанию роста клетки начинает расти вторичная клеточная оболочка, откладываться лигнин. Оболочка становится всё более прочной и жёсткой. Такая клетка к удлинению уже не способна.

Дифференцировка

Последняя фаза роста клеток – дифференцировка, специализация. Мы уже говорили, что будущие клетки – листа, проводящей ткани, – определяется ещё в меристеме.

Структурная дифференцировка сопровождается *биохимической*. В зависимости от обязанностей, в клетке создаётся особый набор ферментов. Необходимые клетке гены работают, остальные – «спят», (что называется *дифференциальной активностью генома*). Существует ещё *физиологическая* дифференцировка.

Получает специализацию не одна – группа клеток, так образуется *ткань*. Мы знаем меристему – *образовательную* ткань. Есть ткани *механические, покровные, выделительные* (*секреторные*) и основная ткань – *паренхима*. Обязанности паренхимы различны, что мы видели на клетках паренхимы листа.

Структурная, биохимическая, физиологическая дифференцировки взаимосвязаны. *Все клетки самостоятельны, но все и зависят друг от друга и окружающего пространства.*

Мы говорили о дифференцировке, как последней фазе роста клеток. Но она начинается *сразу после оплодотворения с полярности клеток*. (Под полярностью понимается особая ориентировка активности в пространстве).

Сразу после оплодотворения яйцеклетка делится на две неравные клетки – *верхняя* крупнее, из неё образуется таллом, из *нижней*, которая меньше – ризоид.

Так возникает основная ось поляризации растений. Она *сохраняется всю жизнь*. Потому на отрезке стебля корни развиваются только на нижней части, побеги – на верхней, как бы мы ни поворачивали отрезок «вверх ногами». Полярностью обладают и ткани и клетки.

Дифференциированную клетку можно вернуть в исходное состояние. Это проводят в лаборатории, когда размножают растения клонированием, в культуре изолированных тканей и протопластов.

В строго стерильных условиях выделяют кусочек стебля или корня, меристему, и помещают в соответственную питательную среду.

Дифференцированные клетки вначале *дедифференцируются* – клетка становится подобной клетке меристемы. Такие клетки могут делиться, образуя рыхлую, однородную ткань. Это называют *культурой ткани*. При изменении

условий, добавлении гормонов, клетки дифференцируются вновь. Теперь они могут образовать новое растение.

Культуру клеток и тканей используют в селекции, для избавления от вирусов, а при выращивании, например, кусочков корня женьшения, быстрее и больше получают целебных веществ.

Культура *протопластов* отличается тем, что из листа получают «раздёные» клетки, лишённые клеточной оболочки. Можно соединять протопласти разных растений, что особенно ценно в селекции, когда в обычных условиях пыльца несовместима. После объединения протопластов им дают возможность строить свою новую оболочку, а затем из такой клетки получают новое растение с заданными свойствами.

Начало новой жизни

Образование семени

Жизнь нового растения начинается, когда спермий клетки пыльцы (мужское начало) сольётся с женской яйцеклеткой и образуется зигота.

И растение, как и все матери, вплоть до человека (и он тоже) свою настоящую жизнь теперь подчиняет зарождающемуся продолжению своей жизни будущей. Ведь каждый ребёнок – собственное бессмертие.

Так и у растения. Всё направлено на рост зародыша: усиливается дыхание, фотосинтез, активнее идёт обмен веществ, поглощение минеральных солей...

По мере роста зародыша, его потребностей, запроса, всё больше листьев работают на будущее семя. Взрослые, особенно стареющие, листья передают ему из своих клеток всё, что могут. Белки распадаются на аминокислоты, а те перемещаются к зародышу, как и другие молекулы. Особенно спешат к малышу калий, азот, фосфор. Не могут менять своё место в растении железо, кальций, бор – они входят в состав клеточных структур. Без кальция и бора клеточные оболочки растений теряют свою прочность.

Листья стараются кормить зародыш и уменьшают снабжение корней. Да теперь корни и нужны меньше. Идёт перераспределение веществ в самом растении, повторное использование (*реутилизация*) элементов, тех, что давали корни.

И часть корней перестаёт расти. Потому объем корней самой большой величины достигает перед цветением и в его начале, а затем немного уменьшается. Но оставшиеся корни по-прежнему активно поглощают необходимое питание из почвы. Они не берут всё подряд, они выбирают азот, калий, кальций, фосфор, серу, магний в больших количествах (потому их зовут *макроэлементы*). К макроэлементам относятся ещё углерод, водород, кислород, их растение получает из воздуха и воды. Часть макроэлементов входит в состав структуры клетки, часть – в состав ферментов или активирует их. Каждый необходим, и его заменить нельзя. Если не будет даже одного из них, растение погибнет. Поэтому они называются: *необходимые и незаменимые*, к ним относят и железо.

В растении часто содержится много хлора, кремния, алюминия, но необходимыми в больших количествах их назвать нельзя, может быть даже вредно.

Намного меньше растение поглощает марганца, цинка, бора, некоторых других *микроэлементов*. Но они также обязательны. В растении встречаются следы всех элементов земной коры, роль многих пока неизвестна.

Понемногу стараниями растения зародыш превратился в семя. У него есть маленькая *почечка*, будущий побег, зачаток корешка. Отложены в запас продукты питания.

По содержанию основных питательных веществ растения разделяют на *масличные* и *крахмалистые*. Это значит, что из семян, например, пшеницы мы получаем углеводы, подсолнечника – масло. Однако семена всех растений содержат и жиры, и крахмал, и запасной белок, только в разном соотношении. У бобовых – гороха, фасоли – в семенах, наряду с крахмалом, много белка. А из семян кукурузы – крахмалистого растения – получают и масло.

В нашем питании главную роль играют семена крахмалистых растений, они дают хлеб, крупы. В природе у 90 % растений семена особенно богаты жирами. Растениям это полезно – масличные семена меньше загнивают во влажной почве: крахмал, белки, в отличие от жиров, активно поглощают воду. Кроме того, жиры значительно калорийнее углеводов, в них больше запас энергии. Все мелкие семена содержат много жиров, это масличные растения.

Кроме главных продуктов питания, в семени запасено всё необходимое. В нём есть минеральные элементы, витамины, гормоны, даже некоторые ферменты и нуклеиновые кислоты. Есть весь аппарат биосинтеза белков, необходимый в первые минуты и часы прорастания, когда ДНК ещё не работает.

Проростку запаса всех необходимых веществ должно быть достаточно на одну-две недели прорастания. Пока стебелёк не пробьётся к свету, не начнёт питаться самостоятельно.

В семени есть всё необходимое, но материнское растение «не дает разрешения» на начало роста, пока семя не достигнет «совершеннолетия». Созревают семена во второй половине, в конце лета, и если быстро прорастут, молодое растение погибнет от мороза. Поэтому у большинства растений созревшее, даже отделившееся от растения, семя прорастает не сразу. У одних семян прочная оболочка не даёт прорастать, пока оно не побывает в желудке у птиц, животных, или полежит до весны, а от и года два – в земле. У других семена должны дозреть или пройти, так называемый, *физиологический покой*. Покой – название условное, в семени завершаются необходимые процессы обмена веществ, те, после которых может начинаться рост.

Такой же покой у почек древесных пород, многолетников. Потому тёплой осенью не распускаются почки, не прорастают в начале зимы клубни картофеля. А вот семена ржи, опавшие при уборке хлеба, уже в колосе пускаются в рост. Рожь – растение озимое, молодёжь зимует под снегом, и она спешит подрасти до прихода морозов.

Дикие растения, сорняки наших полей, огородов приспособились выживать по-своему. У лебеды, мари белой разные семена. Марь, по ошибке, часто называют лебедой. В отличие от лебеды, верхние листочки мари как бы присыпаны белой пудрой.

У них одни семена прорастают на другой год, другие – на третий, самые крупные могут долго – годы, – лежать в земле, ждать своего часа.

Растения, чьи семена быстро теряют всхожесть, берут числом, – обилием сразу же прорастающих семян. В надежде, – кто-нибудь да выживет... Такие семена у одуванчика, тополя...

Физиологический покой во многом определяют гормоны растений. В семенах, осенних почках содержится много гормонов-ингибиторов, тормозящих рост. Когда их станет меньше, семена смогут прорастать, да теперь не позволяют наступившие холода. А в почках и зимой продолжается невидимая нам жизнь. В конце зимы садовод скажет, какая почка даст листовой побег, а какая порадует цветками.

Прорастание

К весне семя вышло из состояния покоя и может прорастать. Прежде всего, семя активно поглощает воду. В сухих семенах вода есть, но её очень мало – 6-10 %. Совсем лишённые воды семена погибают, а эта находится почти вся в зародыше. Она необходима, там хоть и очень слабо, но продолжаются жизненные процессы, семена дышат.

Для прорастания требуется значительно больше воды, нужна *жидкая* вода. Критическая влажность, при которой семена смогут прорастать неодинакова. У семян кукурузы – 30, пшеницы, ячменя – около 50, гороха – 100 % влажности.

Поглощение воды семенами идёт в три фазы. В самые *первые минуты* набухания воду вбирают клеточные стенки, полимеры, это – физический процесс. Он одинаково проходит у живых и мёртвых семян.

На втором этапе к физическому добавляется поглощение за счёт гидролиза, распада запасных белков, крахмала. В самые первые минуты набухания у живых семян начинается синтез белка, семена спешат починить обезвоженные при созревании структуры. Но мембранны восстанавливаются лишь при достаточно высокой температуре. *В холодной почве семя погибает.*

На этом этапе семена можно слегка подсушить и они не потеряют всхожести.



Фото 13. Молодое растение мари белой

Третий этап поглощения воды идёт только у живых семян, они *наклёвываются*. Усиливается обмен веществ: дыхание, резко возрастает образование АТФ, синтез белка, количество пузырьков аппарата Гольджи. Ускоряется передвижение молекул в стебелёк зародыша.

По мере набухания в обмен веществ включаются новые группы ферментов. В сухих семенах работала одна группа, она не меняет своей активности, когда семя прорастает.

У другой группы, мало заметной раньше, при поглощении воды работоспособность сразу же значительно увеличивается.

Третья группа из ферментов, тоже созданных, когда семя было ещё на материнском растении. Они «просыпаются» в самом начале увлажнения.

Следующая «бригада» включается в работу на втором этапе поглощения воды. Здесь начинается синтез ферментов на мРНК, хранившейся в сухих семенах и прошёдшей процессинг.

Последняя группа энзимов создаётся набухшими семенами за счёт предобразованной мРНК. Она ждала своей очереди в сухих семенах и начавших поглощать воду. Работа ДНК и деление клеток происходит позже, уже в проростках.

Мы видим, что материнское растение позаботилось о своём «ребёнке», снабдив его не только продуктами питания, но и аппаратом жизнедеятельности. А также очерёдностью, — регуляцией, — включения обменных процессов в первые минуты и дни прорастания. В зависимости от потребностей.

Существенно, что при неблагоприятных условиях среды прорастание может приостановиться и вновь продолжаться в изменившемся окружении семени. Это тоже своеобразная «страховка», чтобы сохранить жизнь своему потомству.

Начинается рост не с деления, а с *растяжения клеток стебелька*. Когда его клетки наберут достаточно воды и образуют вакуоль, они растягиваются, — растут. Удлиняющийся стебелёк выталкивает кончик корня из семени, — оно *наклёвывается*.

Корешок как бы выглядывает из своего домика и решает — можно ли двигаться дальше? Если обстановка позволяет, корешок продолжает рост. Но его клетки тоже пока только растягиваются, удлиняются. Они начинают делиться позже, когда корешок достигнет определённой длины.

Начало прорастания с корня необходимо. Надо, чтобы растение сначала укрепилось в почве, и корень пришёл туда, где дальше сохраняется почвенная влага. Стебелёк растёт позже, после команды «добро» от корня.

Корень движется вниз, в глубину. Стебель, ввинчиваясь в почву, спешит скорее подняться над поверхностью, пока не израсходован запас питательных веществ. Листья растут, когда стебель пробьётся к свету. Тогда рост переключается: — стебель «замирает», спешат вырасти, начать свою работу листочки.

Переключение роста: стебель – лист, происходит быстро и связано с действием гормонов.

При прорастании злаков вместилище питательных веществ – эндосперм, остаётся в земле. А у двудольных растений по-разному. У гороха семядоли тоже не выходят на поверхность, а у фасоли, подсолнечника растут вместе со стебельком и вначале выполняют обязанности и листьев.

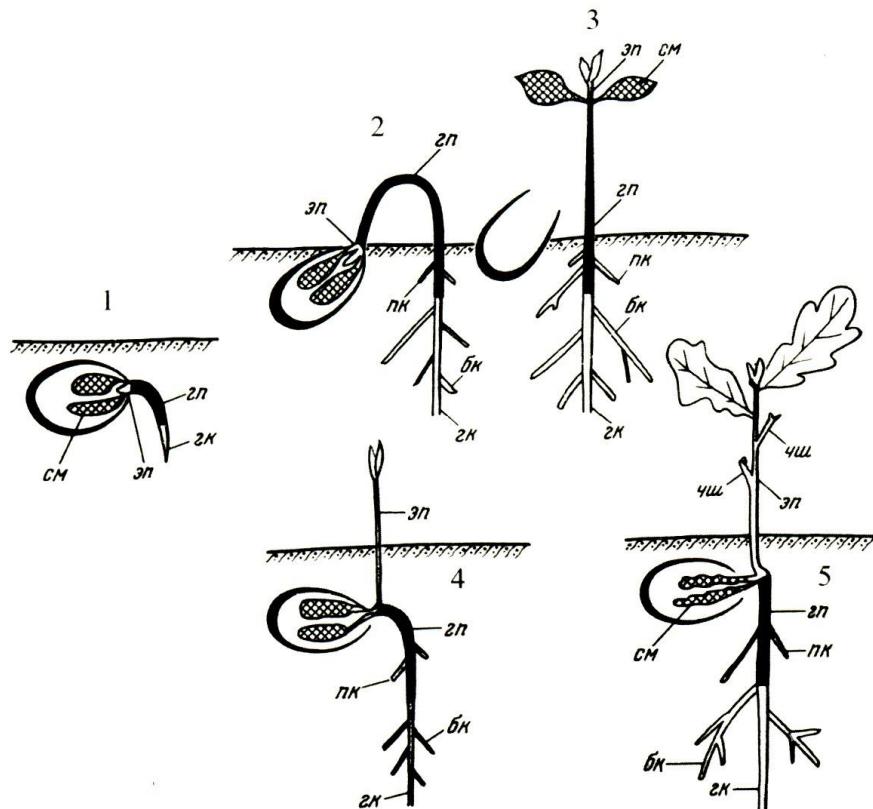


Рис. 11. Типы надземного и подземного прорастания двудольных (Васильев и др.): начало прорастания семени, 2-3 – этапы надземного прорастания, 4-5 – этапы подземного прорастания. Гипокотиль показан чёрным цветом: см – семядоли, эп – эпикотиль, гп – гипокотиль, гк – главный корень, бк – боковые корни, пк – придаточные корни, чш – чешуевидные листья

Если помните, часть стебелька от корневой шейки (место, где соединяются корень и стебель) до семядолей называется гипокотиль. А от семядолей до первых настоящих листьев – эпикотиль. Так вот, из семядолей всё сначала поступает в гипокотиль. И уже оттуда направляется в корень или в верхушечную почку. Направление потока питательных веществ зависит от гипокотиля: он определяет, где питание нужнее.

Движения растений. Тропизмы и настии

Наблюдая за прорастанием, мы разобрали идеальный случай. Семя легло так, что корень прорастал прямо в глубину почвы, а рост стебелька направлялся к свету. Ноброшенное в землю семя чаще всего ложится иначе. Кончик зародышевого корня может быть обращён даже вверх. И здесь на помощь приходит способность растения к движению.

Движения у растений различны. Внутри клетки перемещаются пузырьки и сам аппарат Гольджи, хлоропласти, митохондрии, цитоплазма. Способно к движению и растение, только не всё, целиком, а – своей растущей частью.

Ростовые движения растений называют *тропизмами*. В зависимости от фактора, бывают положительные и отрицательные – *фототропизм*, *геотропизм*, *хемотропизм*. Ещё раз подчеркну: все тропизмы связаны с *ростом* растения.

Фототропизм – движение, рост побегов, листа к свету (или, если свет слишком яркий, то – от него).



Фото 14. Фототропизм. Положительный фототропизм листьев

Тигмоторопизм – рост усиков лазающих растений, когда они прикасаются к опоре.



Фото 15. Тигмоторопизм. Тигмоторопизм усиков винограда

Корни способны к разнообразным движениям. *Хемотропизм* – рост к питательным веществам или от веществ ядовитых. *Гидротропизм* – к воде, *аэротропизм* – к кислороду, если его мало в окружении корней. *Геотропизм* (земное притяжение) у корней – положительный, у стеблей – отрицательный.

Термотропизм – чувствительность корней к высокой температуре. Учёные прогревали почву с одной стороны растения и наблюдали реакцию корней. При повышении температуры после определённого предела, корни издали начинали расти в противоположную сторону. Причём для теплолюбивой кукурузы нежелательной была температура 33, для холодостойкого гороха – 26 градусов.

Помимо ростовых движений – тропизмов, существуют *настии* – движения, связанные с изменением тургора. У лепестков – наполненностью водой клеток их основания. Это настии открывают и закрывают цветки в разные часы дня. В зависимости от освещения – *фотонастии*, от температуры – *термонастии*.



Фото 16. Геотропизм.

Положительный геотропизм роста корня и отрицательный – стебля



Фото 17. Настии. Фотонастии «лепестков» полевой ромашки:
утром «просыпаются», на ночь «ложатся спать»

Правда, клетки основания лепестков могут немного и подрасти.

Движения лепестков связаны с заботой о создании своего потомства и потому взаимодействии с насекомыми. Цветок раскрывается во время прилёта «своих» мошек. Те цветки, что опыляют ночные насекомые, днём кажутся увядшими и не пахнут.

Ароматную жидкость, привлекающую насекомых – нектар, – цветки выделяют не всё время. Нектар – секрет, его вырабатывают особые клетки цветка, и время от времени выдавливают наружу. На это затрачивается энергия. В холода-

ную и дождливую погоду насекомые не летают, лепестки не раскрываются и цветы не пахнут. Зря не выделяется нектар.

В солнечные дни цветки дневных растений раскрываются в определённое время. В свое же время закрываются – «ложатся спать». Эти наблюдения позволили составить *цветочные часы*.

Всем известно движение листьев настоящей мимозы – сорняка тропических стран. Это – *сейсмонастия*. Прикосновение к одному лишь листику мгновенно вызывает потерю тургора у клеток основания листа, – лист сжимается и опускается. Сигнал также мгновенно передаётся остальным листьям на побеге, и все они безжизненно повисают. Через некоторое время клетки восстанавливают тургор, листья выпрямляются. Но на это у растения уходит много времени и сил. Потому в оранжереях ботанических садов мимоза часто окружена сеткой, – она не даёт желающим дотронуться до чувствительного листика.

Наблюдая за движениями растений нам понятно, *зачем* стебель, листья стремятся к свету, а корень растёт в почвенную глубину, к питательным веществам, воде. Только отчего зависят эти движения, как они происходят?

Кто управляет деятельностью многоклеточного организма?

Фитогормоны

Вот теперь подошло время рассказать об особых молекулах, – *фитогормонах* и других регуляторах роста растений. Эти регуляторы начинают действовать в многоклеточном организме, там, где требуется объединять действие отдельных клеток и тканей, управлять процессом. Забегая вперёд, надо сказать, что некоторые молекулы, например, ауксины, гиббереллины, – вырабатывают и ряд микроорганизмов. Но там они не выполняют роли фитогормонов.

У животных гормонами называются молекулы, которые создаются в особых тканях – железах, перемещаются с кровью туда, где влияют на обмен веществ. Действуют они в очень малых дозах, даже одна молекула может изменить обмен веществ целой клетки.

И у растений такие молекулы образуются в одном месте, а действуют в другой ткани и тоже в очень малых дозах. Потому их тоже назвали гормонами, но в отличие от гормонов животных – фитогормонами – гормонами растений.

Началось изучение фитогормонов с работ Чарльза Дарвина (1809-1882). В конце XIX века он наблюдал за движениями колеоптилей канареечной травы (злака) к свету. И установил, что чувствительна к свету зона меристемы, а изгиб происходит в зоне растяжения клеток.

Дарвин предположил: при одностороннем освещении меристема получает световой сигнал и от-

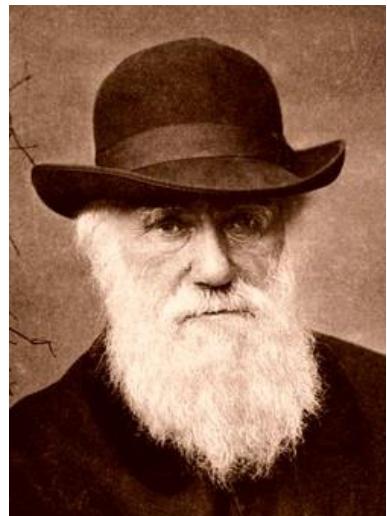


Фото 18. Дарвин Чарльз

правляет в зону растяжения химическое вещество по теневой стороне колеоптиля. Эти клетки начинают расти быстрее, чем освещённые, и колеоптиль поворачивается к свету.

Дальнейшие опыты показали, что если проросток положить, через некоторое время корень станет расти вниз, а стебель направится вверх. Изгиб происходит в зоне растягивающихся клеток. Так проявляется положительный (у корня) и отрицательный (у стебля) геотропизм.

Это тогда Дарвин сказал, что клетки кончика корня и стебля подобны мозгу низшего животного (червя). Учёные высказывание Дарвина приняли отрицательно, но работы вызвали интерес. Через несколько лет опыты стали повторять, расширять...

Дарвин оказался прав. В тридцатых годах химики выделили вещество, ускоряющее рост клеток – *индолилуксусную кислоту* (ИУК), назвали *ауксином*. Чаще его зовут *гетероауксином*. Сейчас калиевую соль гетероауксина особенно успешно применяют при черенковании для лучшего образования корней. Ауксин и называют *гормоном корнеобразования*.

Однако высокая концентрация гетероауксина рост не стимулирует, а тормозит. Благодаря интересу к ауксину и возможности влиять на рост, химики стали создавать *гербициды*. Они тормозят рост сорных трав и даже убивают их. Так называемая, *химическая прополка* значительно облегчила труд земледельца.

Обнаружение ауксина заставило учёных посмотреть на растение иными глазами. И одновременно с изучением ауксина, начать поиск других регуляторных веществ. Пятидесятые годы прошлого столетия стали в этом особенно успешны. В растениях нашли очень сильный стимулятор роста стебля – *гипбереллин*. Его назвали *гормоном роста стебля*. Найденные *цитокинины*, по их наиболее заметному влиянию, назвали *гормонами деления клеток*.

В эти же годы установили, что растение создаёт не только стимуляторы, но и гормоны, тормозящие рост: *абсцизовую кислоту* и *этан*. Абсцизовую кислоту признали *гормоном стресса*. Она активно вырабатывается растением через несколько минут после начала засухи, на холода, помогает переносить стресс. Абсцизовой кислоты много в осенних почках и созревающих семенах. Во многом от неё зависит физиологический покой и осеннее опадание листьев.

Этан вырабатывают стареющие клетки, что особенно заметно при созревании плодов. Потому его нарекли *гормоном старения*.

В следующем десятилетии установили, что влиять на рост могут и другие молекулы – фенолы. Их не относят к гормонам: фенолы действуют там, где образовались, и в концентрациях намного более высоких. Среди фенолов есть ускоряющие рост, но больше таких, что рост тормозят. Это зависит от строения молекулы. Ингибиторы роста входят в состав регуляторной системы растений.

Ауксины образуются в клетках меристемы, гипбереллины – в листьях (видимо, – в хлоропластах). Цитокинины создаются в клетках корня (а действуют в листьях, созревающих и прорастающих семенах). Абсцизовую кислоту синтезируют семена, осенние листья, при засухе – замыкающие клетки устьиц.

Если наносить на верхушечную почку проростка раствор гипбереллина несколько дней подряд, кочанная капуста в первый год жизни даст стебель в рост

человека. Но гиббереллин, ускоряя рост стебля в высоту, снижает его сухой вес. В сельском хозяйстве применяют антигиббереллины – *ретарданты*. Ретарданты тормозят образование гиббереллина в начале роста стебля, когда стебель злаков только пускается в рост. Стебель некоторое время больше растёт в толщину, – становится прочнее, и хлеб не полегает.

В жизни растения гормоны играют чрезвычайно важную роль. Они участвуют в движении растений, созревании и прорастании семени, физиологическом покое семян и почек. Гормоны влияют на пол растений (цитокинины и ауксины усиливают образование женских цветков и растений, гиббереллины – мужских), участвуют в процессах развития.

О фитогормонах, их обнаружении, роли и применении можно говорить очень много. Но я уже рассказала в книжке «Наши зелёные друзья», а повторять считается неприличным.

Важно, что с помощью гормонов растение, как говорят, «адекватно» отвечает на меняющиеся условия окружения. В случае нужды изменяется содержание гормонов-стимуляторов или ингибиторов и – соответственно – рост.

Структура молекул фитогормонов сложная (кроме этилена). Их синтез проходит через ряд промежуточных соединений, следовательно, занимает немало времени. А гормон может быть нужен скоро. И растения «приспособились». Из одной простой молекулы мевалоновой кислоты идёт цепочка реакций единая для стимулятора гиббереллина и ингибитора – абсцизовой кислоты. До определённого предела, а затем – развилка – раздвоение. В зависимости от потребности растения дальнейшие превращения молекул приведут к образованию стимулятора (гиббереллина) или ингибитора абсцизовой кислоты).

Такая же пара у ауксина и ингибитора фенольной природы, они берут начало из аминокислоты триптофана.

Однако, на синтез гормона всё же необходимо время. Надо знать, что клетки растения не могут запасать фитогормоны «в чистом виде». Их должно содержаться ровно столько, сколько необходимо для действия сейчас. Но если соответственная ростовая реакция нужна немедленно, а гормона нет...

У растений и на этот случай подготовлен выход. Клетки запасают *конъюгированные* гормоны: связанные с нейтральной молекулой, каких в клетке много. Чаще всего, – с глюкозой. В таком соединении гормон не проявляет активности и хранится до той поры, пока не будет нужен.

Тогда гормон отделяется от своего носителя, сразу же начинает действовать. А тут и вновь синтезированные гормоны подоспевают.

В передаче сигнала от меристемы, кроме гормонов, принимают участие и электрические силы. В последние годы их активно изучают и получены очень интересные сведения.

Теперь, когда вы знаете о движении растений и фитогормонах, думаю, вам стало ещё понятнее, *зачем* растениям нужна фаза растяжения клетки. Получает сигнал от окружения меристема, и при помощи гормонов влияет на рост клеток. Но, повторю, – *в фазе растяжения, когда растёт первичная клеточная оболочка. После образования вторичной оболочки клетка уже не может удли-*

няться. И растение не сможет реагировать на внешние условия – расти в нужную сторону. Вот зачем трава растёт всю свою жизнь. А почему она растёт, мы поговорим в заключении.

«Листы и корни»

Гормоны помогают взаимодействию наземной части растений и корней. Оно совершенно необходимо. Хотя листья и корни самостоятельны, независимыми назвать их никак нельзя. Они – части единого организма. Листья питают корни, отправляя им сахара и другие органические молекулы, не говоря уже о тех, что откладываются корнем в запас.

А корни снабжают наземную часть минеральными элементами и тем, что вырабатывают сами. Но больше всего – водой. В жаркий день листья испаряют воды в несколько раз больше, чем весят сами. Особенно много, – в десять раз больше, – испаряют эвкалипты, это они помогали осушить болота Колхиды.

Поступление воды в верхнюю часть растения зависит от двух двигателей водного тока. От присасывающей силы листьев и нагнетания воды, выталкивания её вверх, корнями. Водный поток растениям необходим: он как кровь в нашем организме. Вместе с водой к листьям перемещаются минеральные элементы и молекулы, созданные в корнях.

Со времени басни Крылова «Листы и корни» значение листьев полностью реабилитировано, но стала больше известна и роль корней. Лишённое корней растение погибает, даже если будет обеспечено и водой и минеральными солями. В корнях вырабатываются многие необходимые побегам и листьям органические молекулы, не только цитокинины. От корней зависит содержание в листьях хлорофилла, никотина (зачем он нужен растениям пока неизвестно). Поэтому во влажных тропиках, где листья мало испаряют воду, растения образуют воздушные корни. Такие корни вы видите у комнатных цветов, чья родина – тропики.

Ранней весной листьев ещё нет, и в дождливую пору летом, когда воздух насыщен влагой, испарение незначительно. Потому верхний двигатель – испарение, транспирация, – не работает. Тогда особенно активен нижний двигатель – корни. Корни проталкивают воду листьям, на что затрачивают энергию.

Как показали исследования последних десятилетий, продвижению воды помогает стебель. Отдельные его участки слегка то сжимаются, то расширяются, – пульсируют, направляя воду вверх.

Растение и почва

Мы говорили о взаимодействии молекул и структур в клетке, тканях, органах растения. Но существует взаимодействие растения и с окружающей средой. Не только цветы и насекомые помогают друг другу, ещё теснее взаимодействие корней с почвой, почвенными микроорганизмами.

Как вы знаете, корни поглощают минеральные соли, точнее, – ионы солей, органические молекулы им практически недоступны.

Помогать растениям приходят маленькие жители почвы. Окончания корней почти всех растений оплетены гифами особых грибов, они образуют *микоризу*. На корнях некоторых растений, особенно – бобовых, поселяются бактерии, образуя клубеньки. Их и зовут – *клубеньковые бактерии*. Но ещё больше тех микроорганизмов, что живут возле корней, создавая, так называемую, *ризосферу*.

Такое содружество полезно растениям, их сожителям и соседям. Микроорганизмы перерабатывают органические вещества почвы, превращая в минеральные, доступные растениям, а клубеньковые бактерии в свободноживущие *азотфиксаторы*, они поглощают молекулярный азот воздуха, растениям недоступный – помогают питаться азотом.

В свою очередь, корни подкармливают тех, кто рядом – они выделяют сахара, аминокислоты, некоторые другие вещества.

Выделения корней имеют разное назначение. Они не только питают почвенных друзей. Органические и аминокислоты вытесняют из почвенных частиц связанные частицами минеральные элементы: при подкислении почвы они переходят в почвенный раствор и поступают в растение. Корни в случае нужды, чтобы стал доступен органический фосфор, отправляют в почву даже фермент фосфатазу (а, возможно, и другие ферменты).

Корни выделяют и специфические вещества – *секреты*. Секреты горькой полыни другие растения не переносят и потому не растут рядом.

Через корни растение может избавляться от лишних веществ. Особенно много минеральных элементов выделяют корни однолетних растений осенью, – возвращают почве то, что забирали летом.

Заключение

Заканчивается рассказ о том, почему трава растёт, и пришла пора подводить итоги. Думаю, вам и раньше было понятно (во всяком случае, вы догадывались) – *зачем* корни растут в глубину земли, побеги, листья – тянутся к свету. А трава растёт, чтобы дать потомство – у всех существ смысл жизни в этом. Теперь вы понимаете, *зачем* растениям фаза растяжения клетки, и *зачем* растения растут всю свою жизнь. Но – *почему*?

Помните Тимирязева: «Когда-то, где-то солнечный луч упал на зелёный лист...». Чтобы он не исчез (помните?) действуют сотни особым образом организованных молекул и структур.

Трава (кусты, деревья) растёт, может расти *потому*, что на её рост, на то, чтобы она могла жить, могла дать семена, *согласованно* работает неисчислимое количество разных молекул. Великое множество клеток объединены в ткани, органы и связаны друг с другом и средой. В растении «предусмотрена» и своеобразная «страховка». Мы видели, что созданы «заделы» – заранее синтезированы нукleinовые кислоты, ферменты, необходимые сразу же после деления ядра, при прорастании семени. В меристеме стебля и корня особенно устойчи-

вые клетки (меристема ожидания, покоящийся центр), способны возобновить рост после повреждения растения.

В клетке обменом веществ руководят по принципу обратной связи, известному в технике, – *ключевые* ферменты. В многоклеточном организме работают вещества, действующие на расстоянии – *дистанционного управления*: регуляторная система – фитогормоны и ингибиторы роста. Меристемы побега и корня выполняют роль *мозговых центров*. Они принимают сигналы и управляют с помощью фитогормонов и электрических сил.

И.И. Шмальгаузен писал: «...дифференциация и специализация неизбежно связаны с соподчинением частей, с интеграцией. Из этого ясно выступает возрастающее значение интегрирующих факторов в более сложных организмах».

Организм потому так и называется, – в его основе – *организация, система*, без них невозможна *Жизнь*. Как и без взаимодействий и чёткой регуляции на разных уровнях: молекул, тканей, органов, среды обитания. Растение, как и любой другой организм, находится не в вакууме. Оно связано с окружением, приспосабливается к нему, на него влияет и от него зависит: всё в жизни взаимосвязано. Многое нам ещё предстоит изучить.

Жизнь, как *организация* материи и *регуляция* её движения создавалась и совершенствовалась многие миллионы, и даже миллиарды, лет. Первые бактерии, способные к фотосинтезу, появились два-три миллиарда лет назад.

И мне хочется, чтобы вы всё это поняли, восхитились, и – задумались...
Ведь «Мы с тобой одной крови – ты и я!». (Р. Киплинг «Книга джунглей»).

Содержание

<i>Учись творению, скрытому в траве. Эдуард Ефремов</i>	4
<i>Вместо предисловия. Татьяна Силкина</i>	5
<i>Почему трава растёт?</i>	8
<i>Путешествие солнечного луча</i>	8
<i>Фотосинтез</i>	8
<i>Дыхание</i>	12
<i>Способ существования белковых тел</i>	14
<i>Возбудители жизни</i>	14
<i>Почему наука о ферментах называется энзимологией</i>	16
<i>Строение и работа ферментов</i>	17
<i>Фундамент Жизни</i>	21
<i>Взрослая клетка растения</i>	21
<i>Рост клеток</i>	26
<i>Деление</i>	27
<i>Растяжение</i>	29
<i>Дифференцировка</i>	31
<i>Начало новой жизни</i>	32
<i>Образование семени</i>	32
<i>Прорастание</i>	34
<i>Движения растений. Тропизмы и настии</i>	36
<i>Фитогормоны</i>	39
<i>«Листы и корни»</i>	42
<i>Растение и почва</i>	42
<i>Заключение</i>	43