**Лекция 13: Другие надмолекулярные структуры растений.**

1. **Типы надмолекулярных структур растений**
2. **Функциональная значимость надмолекулярных структур**
3. **Взаимодействие между надмолекулярными структурами**
4. **Эволюция надмолекулярных структур у растений**

1. **Надмолекулярные структуры растений** представляют собой сложные системы, состоящие из молекул, объединенных не ковалентными взаимодействиями. Эти структуры играют ключевую роль в обеспечении жизненных функций клеток и организма в целом, выполняя широкий спектр задач, от защиты до поддержки метаболических процессов. Надмолекулярные структуры характерны не только для растений, но их особенности в растительном мире отличаются из-за уникальных функций, которые растения выполняют, таких как фотосинтез, обеспечение прочности клеточной стенки и регулирование тургорного давления.

В отличие от простых молекул, которые участвуют в обычных биохимических реакциях, надмолекулярные структуры формируются путем самоорганизации множества молекул в более сложные комплексы. Эти комплексы не только обеспечивают структурную устойчивость, но и поддерживают клеточные процессы, участвуют в механизмах восприятия и передачи сигналов, транспорта веществ, поддержания тургора клетки и защиты от различных внешних воздействий.

В биологии растений надмолекулярные структуры включают такие важные компоненты, как клеточная стенка, мембраны, вакуоли, пластиды (например, хлоропласты) и другие органеллы. Каждая из этих структур имеет уникальные свойства и функции. Например, клеточная стенка не только придает клетке жесткость, но и служит первой линией защиты от патогенов, а также участвует в регуляции роста и дифференциации клеток. Мембраны растений имеют особый липидный состав, что помогает им поддерживать структурную целостность и защищает от обезвоживания. Вакуоли выполняют важную роль в накоплении воды и других веществ, что способствует поддержанию тургорного давления, необходимого для поддержания формы клетки.

Функциональность надмолекулярных структур обеспечивается разнообразием молекул, входящих в их состав, а также их пространственной организацией. Так, целлюлоза, основа клеточной стенки, формирует прочные фибриллы, которые придают стенке уникальные прочностные характеристики. Липиды и белки, входящие в состав мембран, образуют двойной слой, обеспечивающий выборочный транспорт молекул и поддержание клеточного равновесия.

Изучение надмолекулярных структур в растительных клетках помогает глубже понять, как растения адаптируются к изменениям окружающей среды, как происходит их рост и развитие. Кроме того, знания об этих структурах позволяют создавать устойчивые к стрессам растения и находить новые подходы к улучшению их продуктивности, что имеет значение для сельского хозяйства и биотехнологий.

**Типы надмолекулярных структур растений.** Надмолекулярные структуры растений играют ключевую роль в поддержании их жизнедеятельности и выполняют ряд уникальных функций, позволяющих растениям адаптироваться к окружающей среде. К основным надмолекулярным структурам растительных клеток относятся клеточная стенка, мембраны, вакуоли и пластиды, каждая из которых представляет собой сложный комплекс, состоящий из множества молекул, взаимодействующих на уровне выше молекулярного. Рассмотрим каждый из этих типов подробнее.

Клеточная стенка.Клеточная стенка – это жесткая оболочка, окружающая растительную клетку, которая придает ей форму и защищает от внешних воздействий. Она формируется главным образом из целлюлозы, гемицеллюлозы и пектина, которые организованы в прочную фибриллярную сеть. Особенностью клеточной стенки является ее способность к пластичности, что позволяет клетке расти и дифференцироваться, несмотря на её прочность.

Клеточная стенка состоит из нескольких слоев:

• Первичная стенка – тонкая и пластичная, окружает все молодые растительные клетки и позволяет им расти.

• Вторичная стенка – более жесткая, образуется после прекращения роста клетки, содержит больше целлюлозы и лигнина, что придает прочность и устойчивость клеткам, особенно тем, которые выполняют опорные функции.

Функции клеточной стенки разнообразны:

• Защита клетки от механических повреждений и патогенов.

• Поддержание тургорного давления, что позволяет клетке сохранять форму.

• Регуляция роста клетки за счет пластичности стенки и синтеза новых компонентов.

2. Мембраны растительных клеток. Мембраны играют важнейшую роль в регуляции обмена веществ и сигналов между клеткой и внешней средой, а также между различными органеллами внутри клетки. Основу мембраны составляет липидный бислой, в который встроены белки, выполняющие транспортные и сигнальные функции. Особенностью мембран растительных клеток является наличие специфических липидов, таких как фосфолипиды и гликолипиды, которые обеспечивают стабильность мембраны и её функции в условиях низких температур и обезвоживания.

Мембраны подразделяются на несколько типов:

• Плазматическая мембрана – окружает клетку и регулирует поступление и выведение веществ, обеспечивает взаимодействие клетки с окружающей средой.

• Мембраны органелл – формируют барьеры для отдельных органелл, таких как вакуоли, митохондрии, хлоропласты, что позволяет им выполнять специфические функции.

Функции мембран включают:

• Обеспечение селективного транспорта веществ внутрь клетки и наружу.

• Участие в сигнальных процессах, передача внешних сигналов к внутренним системам клетки.

• Защита клетки от внешней среды и поддержание её химического состава.

3. Вакуоли. Вакуоли – это крупные мембранные органеллы, характерные для растительных клеток, выполняющие множество функций, от хранения веществ до поддержания тургорного давления. Центральная вакуоль, окруженная мембраной тонопластом, занимает до 90% объема зрелой клетки и служит резервуаром для воды, ионов, питательных веществ и продуктов обмена.

Основные функции вакуолей:

• Поддержание тургорного давления: накопленная вода создает давление на стенки клетки, что позволяет клетке поддерживать форму и жесткость.

• Хранение веществ: вакуоли содержат различные питательные вещества, органические кислоты, пигменты, а также токсичные продукты метаболизма, которые изолированы от цитоплазмы.

• Осморегуляция: вакуоль поддерживает баланс воды и ионов, необходимый для нормального функционирования клетки.

*4. Пластиды.* Пластиды – это надмолекулярные структуры, характерные только для растительных клеток и некоторых протистов, которые выполняют функции, связанные с фотосинтезом, синтезом и хранением различных соединений. Существует несколько видов пластид, каждый из которых имеет свои особенности и выполняет конкретные функции.

Типы пластид:

• Хлоропласты – органеллы, содержащие хлорофилл, отвечающие за фотосинтез. Они состоят из внутренней и внешней мембран, между которыми находится строма, а также тилакоидов, где проходят светозависимые реакции фотосинтеза.

• Хромопласты – содержат каротиноидные пигменты, придающие окраску плодам и цветкам. Они участвуют в привлечении насекомых-опылителей и распространителей семян.

• Лейкопласты – бесцветные пластиды, выполняющие функции накопления запасов, таких как крахмал, белки и липиды.

Функции пластид:

• Фотосинтез: хлоропласты обеспечивают синтез органических веществ из неорганических путем преобразования солнечной энергии, что является основой для энергетического обмена растений.

• Накопление и хранение: хромопласты и лейкопласты служат для накопления различных веществ, важных для роста и развития растений.

• Адаптация к условиям среды: способность пластид трансформироваться в зависимости от потребностей клетки позволяет растениям адаптироваться к изменяющимся условиям среды.

**2. Функциональная значимость надмолекулярных структур.** Функциональная значимость надмолекулярных структур растений заключается в их ключевой роли в поддержании жизненных процессов, структурной устойчивости и адаптации к внешним условиям. Эти структуры представляют собой организованные системы молекул, которые обеспечивают не только механическую поддержку клетки, но и участвуют в метаболических, транспортных и защитных функциях. Ниже приведены основные надмолекулярные структуры и их функциональная значимость для растительных клеток.

Клеточная стенка — уникальная надмолекулярная структура растительной клетки, обеспечивающая прочность, поддержку и защиту. Основными компонентами клеточной стенки являются целлюлоза, гемицеллюлоза и пектины. Эти вещества организованы в прочные фибриллярные структуры, что придает клеточной стенке высокую устойчивость к механическим повреждениям и растяжению.

• Механическая защита: клеточная стенка защищает клетку от внешних воздействий и повреждений, предотвращает деформацию и разрыв.

• Регуляция роста: стенка контролирует рост клеток, определяя их форму и размер за счет упорядоченного расширения фибрилл целлюлозы. Это важно, особенно для роста побегов и корней, где жесткость стенок определяет направление роста.

• Барьер для патогенов: клеточная стенка служит физическим барьером против патогенов, таких как бактерии и грибы, предотвращая их проникновение внутрь клетки.

• Запас веществ: в клеточной стенке может храниться кальций и другие ионы, что помогает клетке поддерживать ионный баланс.

Кроме того, клеточная стенка участвует в процессе межклеточной коммуникации. В поры клеточной стенки встроены плазмодесмы — узкие каналы, которые соединяют цитоплазмы соседних клеток, позволяя им обмениваться веществами и сигналами. Это способствует скоординированной реакции клеток на различные стимулы, такие как изменение освещения, температуры и влажности.

*Мембраны* — это надмолекулярные структуры, образованные липидными молекулами и белками, которые составляют биологический барьер клетки. Основой всех клеточных мембран является двойной слой фосфолипидов, который препятствует неконтролируемому движению молекул и ионов. Мембраны обладают избирательной проницаемостью, что позволяет им контролировать обмен веществ между клеткой и окружающей средой.

• Гомеостаз и транспорт: мембраны регулируют поступление и выведение веществ, поддерживая гомеостаз клетки. Белки, встроенные в мембрану, выполняют роль транспортных каналов и насосов, которые обеспечивают контроль над перемещением ионов, молекул и воды.

• Энергетический обмен: в мембранах хлоропластов и митохондрий происходят ключевые этапы энергетического обмена, такие как фотосинтез и синтез АТФ. Липидные мембраны играют важную роль в разделении химических реакций и поддержании разности потенциалов, что необходимо для выработки энергии.

• Сигнальные процессы: мембраны участвуют в приеме и передаче сигнальных молекул, что позволяет клетке адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Например, рецепторы на мембране могут распознавать фитогормоны, что запускает каскад реакций для адаптации растения.



***Рисунок 1.*** *Липидные компоненты плазматической мембраны.*

Особое значение имеет мембрана вакуолей, называемая тонопластом. Она контролирует поступление и выведение воды и других растворенных веществ в вакуоли, регулируя тургорное давление клетки. В условиях засухи клетка может сохранять воду, благодаря чему растение может выживать при дефиците влаги.

*Вакуоль* — это крупная надмолекулярная структура, которая занимает значительную часть объема растительной клетки. Основная функция вакуоли заключается в поддержании тургорного давления, что придает клетке упругость и способствует ее форме. Вакуоли также выполняют функции хранения и утилизации различных веществ.

• Регуляция тургора: вакуоли поддерживают тургорное давление, накапливая воду и растворенные ионы. Это давление необходимо для того, чтобы клетка сохраняла свою форму и не сминалась. Тургор также важен для роста и направленного движения, так как давление вакуоли помогает растягивать клеточные стенки.

• Хранение и утилизация веществ: вакуоли являются резервуаром для хранения питательных веществ, таких как сахара, органические кислоты и ионы. Они также могут накапливать вторичные метаболиты (например, алкалоиды, гликозиды), которые выполняют защитные функции.

• Удаление токсинов: вакуоли содержат ферменты, которые разрушают токсичные продукты метаболизма, предотвращая их накопление в цитоплазме. Это особенно важно для долгоживущих растений, у которых накапливаются отходы метаболизма.

Кроме того, вакуоли играют роль в поддержании кислотно-щелочного баланса, так как они могут изменять рН внутри клетки путем поглощения и выделения ионов водорода. Это необходимо для нормального функционирования различных ферментов и процессов в клетке.

Пластиды — это уникальные для растений надмолекулярные структуры, каждая из которых выполняет свою специфическую функцию. Хлоропласты — самые известные пластиды, так как они ответственны за фотосинтез, процесс, в ходе которого растения преобразуют солнечную энергию в химическую. Хромопласты и лейкопласты также имеют важные функции, связанные с метаболизмом и адаптацией.

• Фотосинтез в хлоропластах: хлоропласты содержат пигмент хлорофилл, который поглощает солнечную энергию, необходимую для фотосинтеза. В результате этого процесса в клетке синтезируются сахара, которые служат источником энергии для всего растения.

• Запас веществ в лейкопластах: лейкопласты накапливают крахмал, липиды и другие соединения, которые используются растением при недостатке ресурсов.

• Окраска и привлечение в хромопластах: хромопласты содержат пигменты (например, каротиноиды), придающие плодам, цветкам и листьям различные оттенки, что помогает привлечь опылителей и распространителей семян.

Пластиды играют важную роль в адаптации растений к изменяющимся условиям среды. Например, когда уровень света снижается, количество хлоропластов может увеличиваться, чтобы поддерживать достаточный уровень фотосинтеза. Пластиды также способны изменять свою форму и структуру в зависимости от потребностей клетки.

**3. Взаимодействие между надмолекулярными структурами.** Взаимодействие между надмолекулярными структурами играет ключевую роль в координации клеточных процессов, обеспечении устойчивости и адаптации растительных клеток к различным условиям окружающей среды. Эти структуры, такие как клеточная стенка, мембраны, вакуоли и различные органеллы, объединяются в сложную сеть, благодаря которой происходит слаженная работа всей клетки. Эти взаимодействия включают обмен веществами, передачу сигналов и координацию структурных изменений, что позволяет растению эффективно реагировать на внешние и внутренние стимулы.

1. Взаимодействие клеточной стенки и мембраны. Клеточная стенка и мембрана составляют прочную и гибкую границу клетки, обеспечивая её структурную устойчивость и защиту от внешних воздействий. Между ними происходят важные процессы, направленные на поддержание тургорного давления — состояния, при котором клетка остается напряженной и обеспечивает механическую поддержку растительных тканей. Тургорное давление поддерживается за счет осмотического поступления воды в вакуоль, что создает давление на клеточную стенку изнутри. В ответ на осмотическое изменение клеточная стенка либо сдерживает избыточное давление, либо деформируется, регулируя объём клетки и её форму. Такое взаимодействие имеет особенно важное значение для поддержания структуры листьев и стеблей, а также для регулирования роста клетки в процессе её деления.

2. Взаимодействие мембранных систем и органелл в транспорте веществ. Мембраны играют решающую роль в транспортировке молекул между различными органеллами и клеточной средой. Например, эндоплазматическая сеть (ЭПС) и аппарат Гольджи координируют синтез и модификацию белков и липидов, а также их транспорт к мембране или другим органеллам. Эндоплазматическая сеть (особенно шероховатая ЭПС) отвечает за синтез белков, которые затем проходят модификации в аппарате Гольджи. После обработки белки и липиды упаковываются в везикулы, которые перемещаются к клеточной мембране или другим органеллам, таким как вакуоли и пластиды. Это взаимодействие особенно важно для клеток, активно участвующих в секреции, например, клеток корней, где выделяются ферменты для расщепления почвенных соединений и поглощения питательных веществ.

3. Взаимодействие пластид и митохондрий с другими органеллами. Пластиды, включая хлоропласты, и митохондрии активно взаимодействуют с другими органеллами для обеспечения энергетического обмена клетки. Хлоропласты играют роль в фотосинтезе, производя глюкозу и кислород, которые затем используются митохондриями для синтеза энергии в виде молекул АТФ. Эти процессы энергоснабжения координируются с другими клеточными системами для обеспечения всех метаболических потребностей клетки. Например, образованные в процессе фотосинтеза углеводы транспортируются из хлоропластов к другим органеллам, где они используются для синтеза веществ, необходимых для роста и защиты растений. Это взаимодействие также позволяет растению регулировать свои энергетические потребности в ответ на изменения освещенности, температуры и других факторов окружающей среды.

4. Сигнальные взаимодействия между надмолекулярными структурами. Надмолекулярные структуры участвуют в сигнальных процессах, которые обеспечивают скоординированный ответ клетки на внешние и внутренние стимулы. Например, клеточная стенка может воспринимать механическое напряжение или повреждения, передавая сигнал к клеточной мембране, который запускает каскад защитных реакций, таких как синтез защитных белков или антиоксидантов. Такие сигнальные взаимодействия также важны в процессе регуляции роста и развития растений, а также в адаптивных реакциях, таких как закрытие устьиц на листьях в ответ на стресс от засухи. Эти сигнальные механизмы включают участие специальных молекул — фитогормонов, которые распространяются через плазмодесмы (соединительные структуры между клетками) и вызывают координированный ответ клеток и тканей.

5. Координация структурных изменений клеток в процессе роста. Процесс роста и деления клетки требует тесной координации между клеточной стенкой, мембранами и цитоскелетом. Например, в процессе клеточного деления клеточная стенка изменяет свою структуру, обеспечивая формирование новых стенок для дочерних клеток. В этот период мембраны также изменяются, участвуя в образовании новых клеток и органелл. Цитоскелет — сеть белковых волокон, присутствующая в цитоплазме, — обеспечивает физическую поддержку и играет ключевую роль в перемещении органелл и молекул внутри клетки. Цитоскелет взаимодействует с мембранами и клеточной стенкой, помогая контролировать распределение клеточных компонентов в ходе роста.

**4.Эволюция надмолекулярных структур у растений.** Эволюция надмолекулярных структур у растений является важной частью их адаптации к меняющимся условиям окружающей среды. С течением времени растения развили различные структурные и функциональные особенности, которые позволили им выживать в самых разнообразных климатических и экологических условиях — от засушливых пустынь до влажных тропиков, от горных вершин до соленых болот. Эти адаптации связаны с изменениями в надмолекулярных структурах, таких как клеточная стенка, мембраны, вакуоли и пластиды.

Клеточная стенка — одна из ключевых надмолекулярных структур растений, которая претерпела значительные эволюционные изменения. Основу клеточной стенки составляет целлюлоза, которая формирует микрофибриллы, придающие растению прочность и устойчивость. В ходе эволюции клеточная стенка усложнялась: к первичной стенке добавилась вторичная, которая формируется после завершения роста клетки. Вторичная стенка, богатая лигнином, характерна для древесных растений и обеспечивает дополнительную жесткость, что стало особенно важным для крупных наземных растений, таких как деревья, которым необходимо поддерживать массу крупных ветвей и листьев.

• Растения, приспособленные к засушливым условиям (например, кактусы), часто обладают клеточными стенками, которые помогают предотвращать потерю воды. У таких растений клеточные стенки имеют специфический состав, препятствующий излишнему испарению, что позволяет им выживать при дефиците влаги.

2. Адаптация мембранных структур

• Мембраны растительных клеток также претерпели значительные изменения на протяжении эволюции. Мембранный липидный состав растений, живущих в различных условиях, отличается. Например, у растений, обитающих в холодных регионах, мембраны содержат больше ненасыщенных жирных кислот, что препятствует их затвердеванию при низких температурах и обеспечивает сохранение текучести мембраны. Это позволяет мембранам эффективно выполнять свои функции даже при низких температурах, поддерживая процессы метаболизма и транспорта веществ.

• У растений, обитающих в засушливых и соленых регионах, мембраны содержат специфические липиды, которые обеспечивают их устойчивость к стрессам, связанным с нехваткой воды и высоким содержанием солей. Такие мембраны менее проницаемы, что позволяет клетке контролировать потерю воды и накопление солей, создавая устойчивость к стрессовым условиям.

3. Эволюция вакуолей и их функций. Вакуоли растений играют важную роль в поддержании тургора, накоплении ионов, а также в хранении запасных веществ и продуктов метаболизма. В процессе эволюции вакуоли растений стали выполнять важную функцию по регуляции тургора, особенно для растений, адаптированных к условиям с дефицитом воды. У таких растений вакуоли способны удерживать воду дольше, поддерживая форму клетки и защищая её от увядания.

• Некоторые растения, обитающие на солончаках, обладают вакуолями, которые могут накапливать избыточные соли, предотвращая их накопление в цитоплазме, где они могут оказывать токсическое воздействие. Это позволяет таким растениям сохранять нормальное функционирование даже в условиях высокой солености окружающей среды.

4. Изменения пластид: хлоропласты и адаптация к световым условиям. Пластиды, в частности хлоропласты, также прошли эволюционные изменения, чтобы адаптироваться к различным световым условиям. Например, у растений, обитающих в условиях недостатка света (например, в подлеске тропических лесов), хлоропласты имеют большие гранулы, что увеличивает площадь поверхности для захвата света и оптимизирует процессы фотосинтеза. Растения же, живущие на ярком солнце, напротив, адаптировались к интенсивному свету, что выражается в специфическом составе фотосинтетических пигментов, которые предотвращают фотоповреждения.

• Хромопласты и лейкопласты у растений также претерпели изменения. Хромопласты у растений, например, окрашивают плоды и цветы, что помогает привлекать опылителей и распространителей семян. Лейкопласты, в свою очередь, участвуют в запасании питательных веществ и развиты у растений, нуждающихся в питательных запасах на период неблагоприятных условий.

5. Эволюционные изменения на уровне взаимодействий между структурами

• Взаимодействие между клеточной стенкой и плазматической мембраной также изменилось в ходе эволюции, приспосабливаясь к различным условиям. Например, для контроля тургора растений клеточная стенка и мембрана действуют как единая система, регулирующая внутреннее давление. Эти структуры участвуют в поддержании устойчивости клетки и предотвращают её разрыв или сжатие при изменениях внешней среды, таких как засуха или избыточное увлажнение.

• Эндоплазматическая сеть и аппарат Гольджи у некоторых растений развили более сложные механизмы для более эффективного транспорта веществ между органеллами и клеточными структурами, что стало важным для быстрого роста и реакции на стрессовые условия.

Надмолекулярные структуры растений играют ключевую роль в обеспечении их жизнедеятельности и адаптации к различным условиям окружающей среды. Эти структуры, такие как клеточная стенка, мембраны, вакуоли и пластиды, представляют собой сложные комплексы, которые выполняют функции, критические для роста, защиты, обмена веществ и регуляции внутриклеточного давления.

Клеточная стенка растений выполняет функцию защиты, поддерживает форму клетки и обеспечивает её механическую прочность, что особенно важно для растений, лишённых скелета. Липидные мембраны играют роль барьеров и обеспечивают избирательный транспорт веществ, позволяя клеткам поддерживать внутренний баланс и реагировать на внешние сигналы. Вакуоли являются центральным элементом водного обмена и накопления питательных веществ, что позволяет растениям выживать в условиях дефицита воды. Пластиды, в особенности хлоропласты, обеспечивают фотосинтез – один из важнейших процессов, который лежит в основе существования всей биосферы.

Взаимодействие между надмолекулярными структурами способствует скоординированному функционированию всех клеточных элементов. Например, взаимодействие мембран и клеточной стенки регулирует водный баланс, а сигнальные пути между органеллами позволяют клетке адаптироваться к изменениям окружающей среды.

Эволюция надмолекулярных структур, таких как пластиды и клеточные стенки, позволила растениям занять разные экологические ниши и успешно адаптироваться к неблагоприятным условиям, например, к засухе или высокому содержанию солей. Эти адаптации сделали возможным существование растений практически во всех климатических зонах, обеспечивая устойчивость экосистем и биосферные процессы, такие как цикл углерода.

Изучение надмолекулярных структур растений имеет важное значение не только для фундаментальной биологии, но и для прикладных наук. Понимание этих структур помогает создавать устойчивые к стрессу сорта сельскохозяйственных культур, что особенно актуально в условиях глобальных климатических изменений. Модификация клеточных структур может повысить устойчивость растений к засухе, вредителям и заболеваниям, что открывает новые возможности для сельского хозяйства и биотехнологий.

Таким образом, надмолекулярные структуры растений — это не просто физическая основа клеток, но сложные биологические системы, которые играют фундаментальную роль в обеспечении жизнеспособности растений, их адаптации и эволюционного успеха.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое надмолекулярные структуры и какую роль они играют в жизни растений?

2. Каково строение и функции клеточной стенки в растительной клетке?

3. Какие особенности строения имеют мембраны растительных клеток, и как они поддерживают гомеостаз?

4. Какова структура вакуоли и какие функции она выполняет?

5. Перечислите основные виды пластид и опишите их функции.

6. Как взаимодействуют клеточная стенка и мембрана для поддержания тургора клетки?

7. Какие надмолекулярные структуры участвуют в межорганеллярном транспорте?

8. Каковы основные эволюционные адаптации надмолекулярных структур растений к окружающей среде?