

Вторичный метаболизм растений

Гордюшкина Дарья Юрьевна

E-mail: twentyonepilots1516@gmail.com

Первичный метаболизм растений включает в себя обмен веществ и энергии, охватывающий ключевые процессы, такие как биосинтез белков и липидов, фотосинтез и дыхание. Эти процессы являются типичными, универсальными и абсолютно необходимыми для существования растения. В то же время, растения обладают уникальной способностью синтезировать множество специфических соединений, которые хотя и не являются жизненно важными, но играют значительную роль в их жизнедеятельности. Эта способность известна как вторичный метаболизм.

Первое упоминание о вторичных метаболитах связано с лекцией А.Косселя, посвященной химическому составу клеток в 1891 году. В этой лекции было высказано предположение о том, что растения производят некоторые соединения «случайно» как побочные продукты. Однако, уже в 1806 году Ф. В. Сертюрнер выделил морфин из опийного мака — первого известного алкалоида, а в 1826 году харьковский профессор Ф. И. Гизе извлек алкалоид - хинин из коры хинного дерева, что свидетельствует о том, что исследования вторичных метаболитов начались задолго до лекции А. Косселя [2].

Тем не менее, лекция А.Косселя оставила заметный след в понимании природы продуктов вторичного метаболизма, и долгое время метаболиты воспринимались как «излишества» или «отбросы» растений. Переломным моментом, изменившим представление о вторичных метаболитах, стало открытие шикиматного пути синтеза ароматических веществ Бернардом Дэвисом в 1950 году. Это открытие способствовало значительному прогрессу в изучении вторичных метаболитов: в мире было выявлено более 400 алкалоидов, а систематизация накопленных знаний позволила на сегодняшний день выделить более 10 классов вторичных метаболитов и свыше 100 000 их вариаций, число которых продолжает расти с каждым годом [5].

Весь этот путь подтверждает, что вторичный метаболизм — гораздо более значимый и сложный процесс, чем предполагалось ранее. А изучение вторичного метаболизма, выявление наличия вторичных метаболитов в растительных клетках, а также изучение их роли как для самого растения, так и человека, представляют значительный интерес для современной науки.

Цель данного исследования — раскрытие понятия вторичного метаболизма растений. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Изучение и обобщение ключевых понятий о вторичном метаболизме растений по литературным данным.
2. Изучение основ физиологии вторичных метаболитов.
3. Обобщение роли вторичных метаболитов для человека.

Основным методом для достижения цели служит анализ литературных источников, позволяющий систематизировать информацию о вторичных метаболитах, их функциях и применении в различных отраслях.

Анализ литературных данных позволяет выделить следующие ключевые характеристики вторичных метаболитов: непостоянное присутствие в различных растениях; низкая молекулярная масса; наличие биологической активности; ограниченный набор веществ, из которых они формируются, и наличие «базовой структуры»; функционирование на уровне организма.

Тем не менее, многие из указанных признаков лишь частично иллюстрируют разнообразие вторичных соединений, поскольку ни один из них не является строго обязательным.

В частности, молекулярная масса каучука, традиционно относящегося к группе изопреноидов варьируется в широких пределах до 1 млн дальтон. Это также касается обширной группы тритерпенов (C₃₀), включая брассиностероиды и каротиноиды. Кроме того, дубильные вещества (танины и таниды) - представители полифенольных соединений, встречаются в различных концентрациях в вакуолях паренхимных клеток стеблей, корней и листьев, а также в древесине коры и оболочках плодов практически всех растений [1].

Принципы классификации вторичных метаболитов менялись в процессе их изучения. На сегодняшний день наиболее популярными являются четыре подхода: эмпирический (тривиальный), химический, функциональный и биохимический. Однако использование разных критериев для классификации часто ведет к тому, отдельные соединения могут иметь характеристики, присущие нескольким группам вторичных метаболитов одновременно, что создает феномен «перекрывания» метаболитов и создает определенные трудности в определении настоящей природы соединения. В этой связи исследование разнообразия вторичных метаболитов чаще всего сосредоточено на трех основных группах (классах), выделяемых по химической классификации, которая считается более обоснованной по сравнению с другими (стоит отметить, что биохимическая классификация представляется наиболее точной, однако, она является более молодой и находится на стадии разработки):

1. Алкалоиды — это циклические соединения, чаще гетероциклы, содержащие один или несколько атомов азота. Существует около 10 000 различных алкалоидов, которые, по классификации Р. Хегнауэра, делятся на три группы: истинные алкалоиды (с азотом в составе гетероцикла), протоалкалоиды (с азотом вне гетероцикла) и псевдоалкалоиды (с «базовой структурой» из изопреноидов) [1].

2. Изопреноиды (или терпеноиды) — это производные изопрена с общей формулой (C₅H₈)_n. К 2007 году их число достигло 36 000, и они считаются самыми распространёнными среди вторичных метаболитов. Классификация изопреноидов основана на количестве изопреновых звеньев: гемитерпены (C₅), монотерпены (C₁₀), сесквитерпены (C₁₅), дитерпены (C₂₀), тритерпены (C₃₀), тетратерпены (C₄₀) и политерпены (более C₄₀) [3; 5].

3. Фенольные соединения — метаболиты, содержащие одно или несколько бензольных колец, к которым присоединены одна (фенолы) или несколько (полифенолы) гидроксильных групп. На данный момент известно около 10 000 фенольных соединений. Их классификация чаще всего основана на количестве ароматических колец и присоединённых к ним атомов углерода [2].

На сегодняшний день известно, что способность растений к синтезу различных веществ в результате вторичного метаболизма обеспечивает защитные механизмы растения (фитоалексины, лигнины, дубильные вещества и др.), размножение и распространение плодов (антоцианы, каротиноиды), некоторые способствуют ускоренному росту растений (брассиностероиды, гиббереллины и др.). Отмечена так же важность вторичных метаболитов как косвенных трансабиотических факторов, обеспечивающих конкуренцию растений за ресурсы в экосистемах [3].

Будучи биологически активными веществами, вторичные метаболиты определяют полезные свойства растений, которые интересуют человечество с древних времен. В связи с чем они находят свое применение в различных отраслях промышленности, среди которых:

1. Фармакология: алкалоиды (морфин, стрихнин, атропин, эфедрин), терпеноиды (каротиноиды), фенольные вещества (катехины, танины).
2. Пищевая промышленность: каротиноиды, алкалоиды, танины, изопреноиды.
3. Парфюмерия и мыловарение: изопреноиды, составные эфирные масла.
4. Кожевенная и пластиковая промышленность: дубильные вещества.

5. Резинотехническая промышленность: полифенольные соединения (каучук, гуттаперча).

6. Сельское хозяйство: терпеноиды (гибберелиновая кислота, цитокинины, фитоалексины).

Изучение литературы о накоплении вторичных метаболитов в зависимости от изменений внешней среды показывает, что на процесс накопления вторичных метаболитов значительное влияние оказывают абиотические факторы среды, среди которых климатические (температура, влажность) и эдафические (механический состав почвы, наличие макро- и микроэлементов) играют ключевую роль в этом отношении [1].

Выводы:

1. Анализ литературы показывает наличие обширной информации о продуктах вторичного метаболизма. На сегодняшний день известно более десяти классов вторичных метаболитов, общее число представителей которых почти достигает 100 тысяч, а число идентифицированных веществ с каждым годом непрерывно пополняется новыми соединениями. Что свидетельствует о том, что исследования в данной области продолжают развиваться, требуя более глубокого изучения их структур и функций.

2. Изучены четыре подхода к классификации вторичных метаболитов, формирующие феномен «перекрывания» веществ, в виду использования в них различных критериев оценки. В настоящее время наиболее распространенной и обоснованной является химическая классификация, в то время как биохимическая, признанная наиболее правильной, требует дальнейшей разработки.

3. Высокая распространенность и разнообразие вторичных метаболитов позволяют их широкое применение в различных отраслях промышленности и хозяйственной деятельности.

4. Оптимизация условий культивирования растений, таких как влажность, температура и внесение дополнительных азотистых и калийных удобрений, может способствовать увеличению накопления необходимых биологически активных вторичных метаболитов. Это, в свою очередь, может повысить стрессоустойчивость растений и их резистентность к различным патогенам.

5. Перспективным направлением является разработка препаратов на основе вторичных метаболитов, направленных на ускорение прорастания семян и повышение стрессоустойчивости растений путем обработки сельскохозяйственных культур.

Источники и литература

- 1) Абдрахимова, Й. Р. Вторичные метаболиты растений: физиологические и биохимические аспекты. Часть 2. Алкалоиды: Учебно-методическое пособие / Й. Р. Абдрахимова. – Казань: Каз. гос. ун-т, 2009. – 40 с.
- 2) Бахтенко, Е. Ю., Курапов, П. Б. Многообразие вторичных метаболитов высших растений: учебное пособие / Е. Ю. Бахтенко, П. Б. Курапов. – Вологда: [б. и.], 2008. – 266 с.
- 3) Саловарова, В. П., Приставка, А. А., Берсенева, О. А. Введение в биохимическую экологию: учеб. пособие / В. П. Саловарова, А. А. Приставка, О. А. Берсенева. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 159 с.
- 4) Хелдт, Г. В. Биохимия растений: учебник / Г. В. Хелдт. – 2-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2014. – 470 с.
- 5) Wink, M. Biochemistry of plant secondary metabolism. – 2nd ed. // Annual Plant Reviews. – 2010. – Vol. 40. – 464 p.