

УДК 581.1

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ РАСТЕНИЙ

Виктория Алексеевна Баженова

студент

vika.bazhenova.01@mail.ru

Юлия Владимировна Мазаева

старший преподаватель

iyli.2020@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен обзор вторичных метаболитов растений. Дан краткий исторический очерк изучения вторичных метаболитов. Приведено краткое описание основных групп вторичных метаболитов и растений, в которых они содержатся.

Ключевые слова: биотехнология, растения, вторичные метаболиты, физиология растений, лекарственные растения, фармакогнозия.

Вещества, участвующие в процессе обмена веществ в живых организмах, называются **метаболитами**.

Они делятся на первичные и вторичные.

К **первичным** относятся ферменты, нуклеиновые кислоты, белки, углеводы и т. д. (рис. 1), [6].



Рисунок 1 – Первичный и вторичный метаболизм.

Метаболиты **вторичного происхождения** — это органические соединения, которые не являются обязательными для основных процессов жизнедеятельности растения (рост, фотосинтез, дыхание и размножение), но играют важную роль во взаимодействии растения с окружающей средой. Например, витамины, алкалоиды, дубильные вещества и др. Они синтезируются на различных этапах развития растения (прорастание, вегетация, цветение и т. д.) и в разных частях (корень, стебель, листья, плоды, семена и др.) (рис. 2) [6].

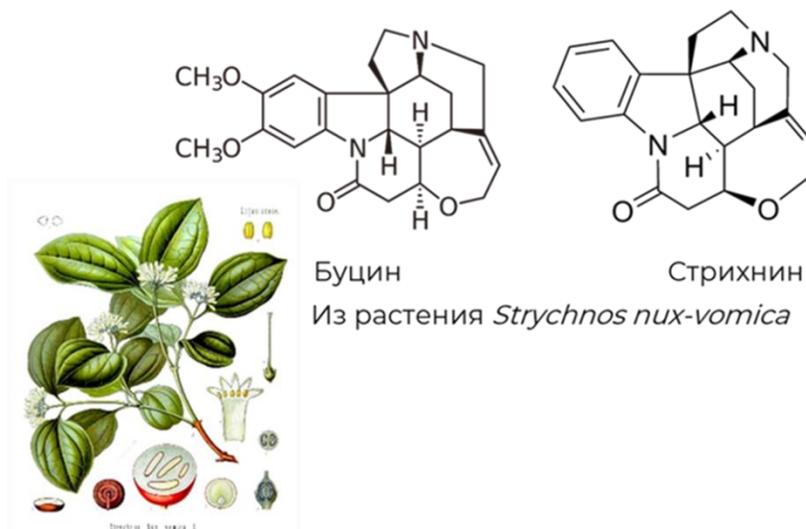


Рисунок 2 – Буцин. Стрихнин.

Растения отличаются от животных тем, что способны не только к фотосинтезу, но и к биосинтезу различных веществ вторичного или специализированного обмена (рис. 3) [4].



Рисунок 3 – Взаимосвязь между соединениями первичного (углеводы, белки, аминокислоты, жирные кислоты) и вторичного (сапонины, терпены, алкалоиды и другие) обмена.

История возникновения вторичных метаболитов

С 1800-х годов началось изучение вторичных метаболитов растений. В 1805 году В. А. Сертюрнер выделил морфин из снотворного мака (*Papaver somniferum*), (рис. 4) [4].



Рисунок 4 – Ученые занимавшиеся вопросами изучения вторичных метаболитов.

В 1873 году Ю. Сакс ввёл термин «вторичный метаболизм растений», написав: «К побочным продуктам можно отнести такие соединения, которые образуются в процессе метаболизма, но которые больше не используются при образовании новых клеток».

В 1888 году К. Э. Шталь в ходе исследований предположил: «Взаимодействие с животными не только влияет на морфологию, но и на химический состав растений».

В 1891 году немецкий биолог А. Коссель впервые предложил ввести понятия первичных и вторичных веществ. Он прочел лекцию «О химическом составе клеток» для Берлинского общества физиологов, в которой говорил: «Я предлагаю называть соединения, имеющие важность для каждой клетки, первичными, а соединения, не присутствующие любой растительной клетке — вторичными». Из-за этого их долгое время считали продуктами экскреции и сравнивали с выделениями человека и животных [4].

В 1921 году Ф. Чапек закрепил термины в учебной литературе и физиологии и биохимии растений.

В 1979 году Школа К. Мотеса, М. Лункер установили: «Образование огромного числа вторичных соединений не имеют большого значения для синтезирующего организма».

Г. С. Фрэнкель (1959 год), Д. Б. Харборн (1972, 1977 годы) «переоткрыли» экологические функции вторичных метаболитов.

С наступлением эры новой биотехнологии было доказано, что они имеют огромное значение для выживания растений в окружающей среде [4].

Роль вторичных метаболитов [10]:

1. Защита от травоядных животных (множество вторичных метаболитов имеют отталкивающие или токсические свойства, которые защищают растения от поедания (алкалоиды (например, никотин, морфин), изопреноиды (например, ментол, камфора) и фенольные соединения (например, танины));

2. Защита от патогенов (некоторые вторичные метаболиты обладают противогрибковыми или противомикробными свойствами, защищая растения от инфекций (фитонциды и различные фенольные соединения);

3. Привлечение опылителей (цветки многих растений синтезируют вторичные метаболиты, которые привлекают опылителей (насекомых, птиц, летучих мышей) своим запахом и цветом (эфирные масла и антоцианы);

4. Взаимодействие с другими растениями (вторичные метаболиты могут участвовать в подавлении роста других растений посредством выделения ингибирующих веществ в окружающую среду);

5. Использование человеком в медицине (лечение и профилактика заболеваний (например, морфин для обезболивания тяжелобольных пациентов) и пищевой промышленности, парфюмерии и других отраслях (различные ароматические вещества, красители и консерванты, получаемые из растений);

6. Защита от УФ-излучения (у флавоноидов защитное действие в диапазоне 220–380 нм; антоцианы – 280–320 нм);

7. Негативное влияние: отравления человека, животных и насекомых и др.

Биосинтез и классификация вторичных метаболитов

Вторичные метаболиты синтезируются из первичных соединений (аминокислот, углеводов и др.), (рис. 5) [8].

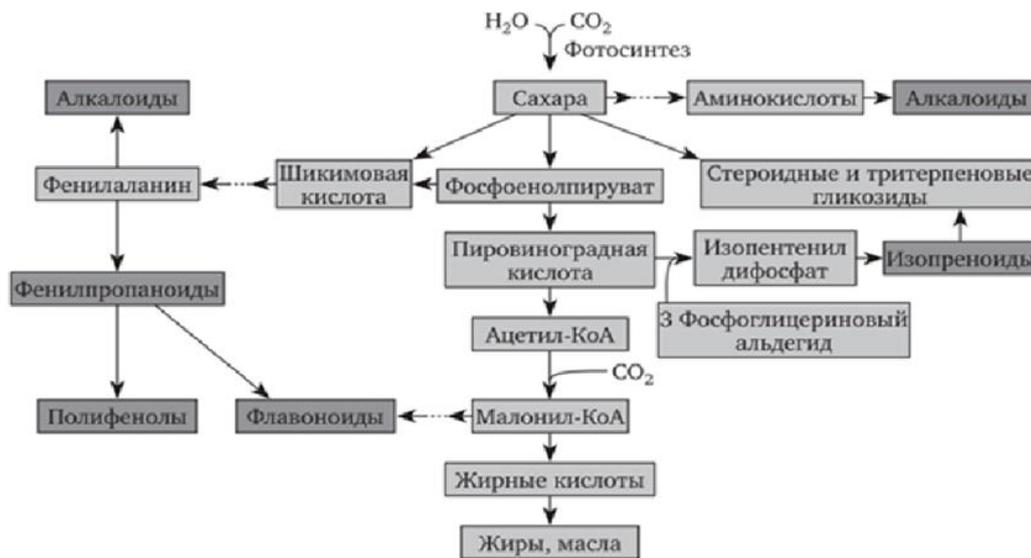


Рисунок 5 – Пути биосинтеза основных классов вторичных метаболитов из продуктов первичного обмена.

Согласно современной *классификации вторичных метаболитов*, выделяют 4 группы (рис. 6-9): изопреноиды, фенольные соединения, алкалоиды и минорные группы [1, 6, 7, 8, 9, 11].

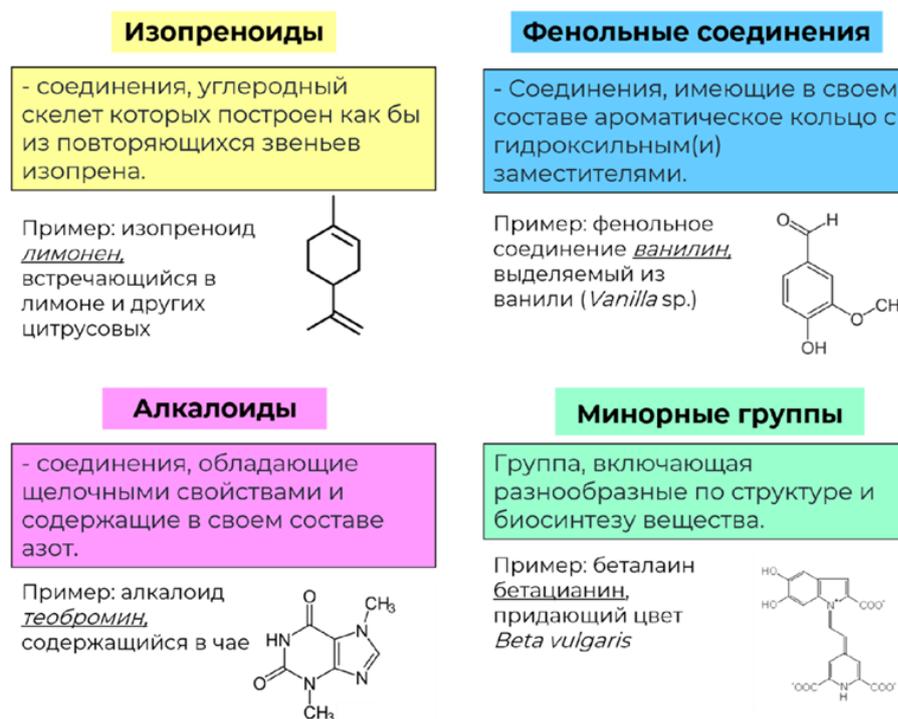


Рисунок 6 – Классификация вторичных метаболитов.

1. Изопреноиды (терпены) – самая большая и разнообразная группа вторичных соединений растений (рис. 6, 7). Изопреноиды классифицируются в соответствии с количеством изопреновых звеньев в молекуле (префикс в названии указывает на количество терпеновых звеньев). Пример соединений: ментол, камфора, цитраль и др. [1].

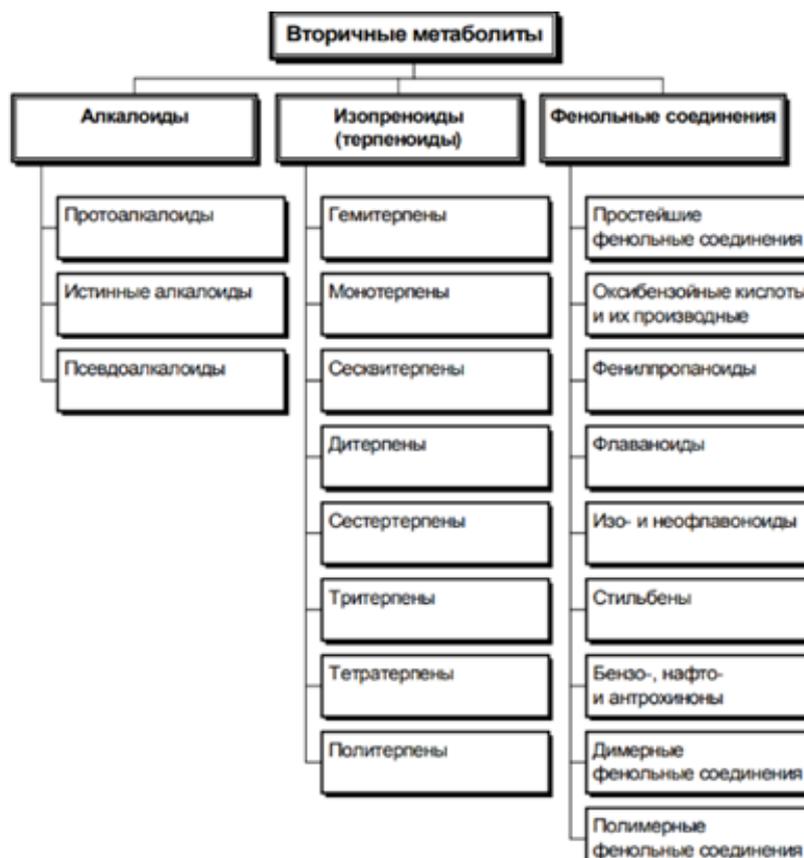


Рисунок 7 – Вторичные метаболиты.

2. Фенольные соединения: крупная группа соединений, содержащих одну или несколько фенольных групп (рис. 6, 7, 8). Они бывают от простых структур с одним ароматическим кольцом до очень сложных полимерных веществ (рис. 2). Фенольные соединения широко распространены на растениях, где вносят значительный вклад в цвет, вкус и аромат многих трав, продуктов питания и напитков. Некоторые фенольные соединения ценятся фармакологически за их противовоспалительную активность. Пример соединений: фенол, пирокатехин, флороглюцин и др. [6].

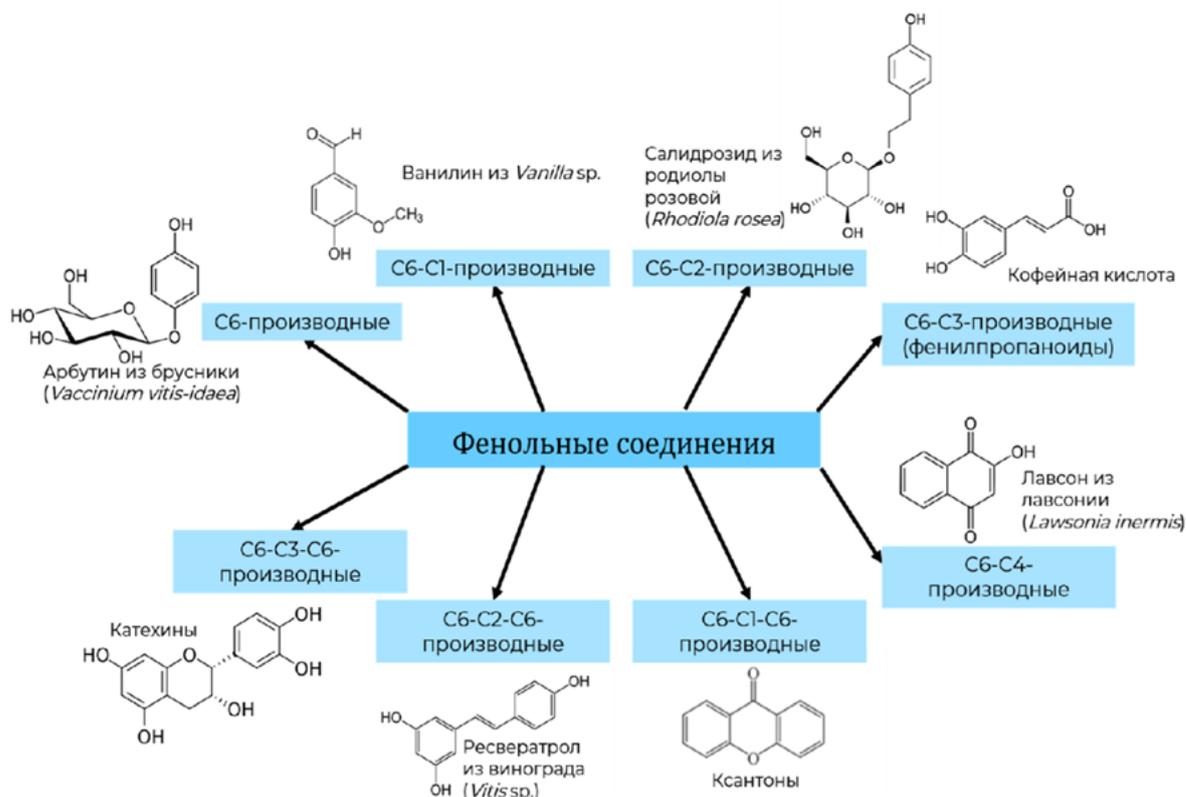


Рисунок 8 – Разнообразие фенольных соединений растений.

3. Алкалоиды: азотсодержащие соединения, многие из которых обладают физиологической активностью (рис. 6, 7, 9). Алкалоиды демонстрируют широкий спектр фармакологических действий (обезболивание, местная анестезия, стимуляция сердца, дыхательная стимуляция и расслабление, сужение сосудов, расслабление мышц, противоопухолевое, гипертензивное и гипотензивное свойства). Пример соединений: морфин, кокаин, кофеин и др. [6].

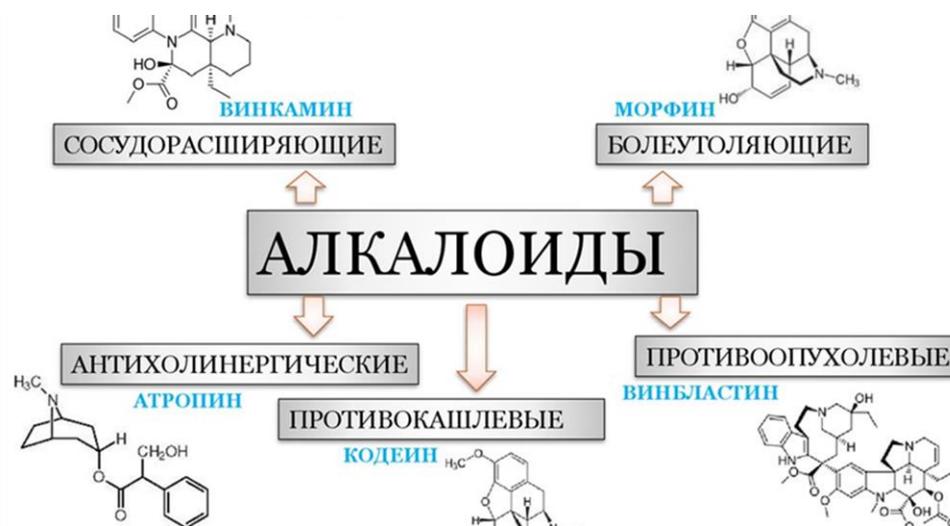


Рисунок 9 – Алкалоиды.

4. Минорные группы вторичных метаболитов – насчитывают от единиц до нескольких сотен индивидуальных соединений (растительные амины, небелковые аминокислоты, полиацетилены и т. д.). Единого пути биосинтеза у них нет. Многие классы связаны с обменом аминокислот или жирных кислот. Пример соединений: инозит, L-карнитин, убихинон, липоевая кислота и др. (рис. 6), [6].

Растения содержащие вторичные метаболиты

Среди растений содержащих вторичные метаболиты различных групп, большое множество разных представителей, в качестве примера приведем наиболее известные виды (Таблица 1), [2, 3, 5].

Таблица 1

Растения содержащие вторичные метаболиты.

Растения, содержащие вторичные метаболиты из класса изопреноиды	Растения, содержащие вторичные метаболиты из класса фенольные соединения	Растения, содержащие вторичные метаболиты из класса алкалоиды
 <p>Камфорный лавр (<i>Cinnamomum camphora</i>), семейство Лавровые (<i>Lauraceae</i>) – камфора.</p>	 <p>Корень солодки (<i>Glycyrrhiza glabra L.</i>), семейство Бобовые (<i>Fabaceae</i>) – флавоноиды.</p>	 <p>Мак снотворный (<i>Papaver somniferum L.</i>), семейство Маковые (<i>Papaveraceae</i>) – морфин, кодеин, папаверин.</p>
 <p>Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris L.</i>), семейство Сосновые (<i>Pinaceae</i>) – терпентиновое масло.</p>	 <p>Трава пустырника (<i>Leonurus cordiaca L.</i>), семейство Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>), или Губоцветные (<i>Labiatae</i>) – флавоноиды.</p>	 <p>Красавка белладонна (<i>Atropa belladonna L.</i>), семейство Паслёновые (<i>Solanaceae</i>) – гиосциамин, скополамин.</p>

 <p>Мята перечная (<i>Mentha piperita</i>), семейство Яснотковые (<i>Lamiaceae</i>) – ментол.</p>	 <p>Цветки бессмертника (<i>Helichrysum arenarium</i> L.), семейство Астровые (<i>Asteraceae</i>) – флавоноиды.</p>	 <p>Барвинок (<i>Catharanthus roseus</i> L.), семейство Кутровые (<i>Apocynaceae</i>) – винбластин, винкристин.</p>
 <p>Кориандр посевной (<i>Coriandrum sativum</i>), семейство Зонтичные (<i>Apiaceae</i>) – цитраль.</p>	 <p>Чешуя лука репчатого (<i>Allium cepa</i>), семейство Амариллисовые (<i>Amaryllidaceae</i>) – пирокатехин.</p>	 <p>Корни раувольфии (<i>Rauwolfia serpentina</i> L.), семейства Кутровые (<i>Apocynaceae</i>) – резерпин и аймалин.</p>
 <p>Тис тихоокеанский (<i>Taxus brevifolia</i>), семейство Тисовые (<i>Taxaceae</i>) – таксол.</p>	 <p>Шишки секвойи (<i>Sequoia</i>), семейство Кипарисовые (<i>Cupressaceae</i>) – флороглюцин.</p>	 <p>Клубнелуковицы безвременника (<i>Colchicum autumnale</i> L.), семейство Безвременниковые (<i>Colchicaceae</i>) – колхицин.</p>

Вторичные метаболиты растений представляют собой различные соединения, которые играют ключевую роль в жизни растений и имеют большое значение для человека. Исследования направлены на понимание их функций, биосинтеза, эволюции и потенциального применения в различных областях жизнедеятельности человека и растений.

Для современной науки изучение вторичных метаболитов является важной областью для применения в медицине, сельском хозяйстве и промышленности. В последние годы активно используются методы геной

инженерии для модификации растений с целью изменения содержания вторичных метаболитов растений.

Список литературы:

1. Костюк В.А. Роль вторичных метаболитов растений в системе функционального питания и профилактике заболеваний // Новости медико-биологических наук. News of biomedical sciences. 2022. Т. 22. № 1. Обзорные проблемы и статьи. С. 223-232.

2. Аллелопатические свойства вторичных соединений лекарственных растений (обзор). / Кондратьев М.Н., Скороходова А.Н., Ларикова Ю.С., Евдокимова Д.П // Фармацевтическая химия. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. №2. т.21. 2. С. 12-22.

3. Возможности применения вторичных метаболитов растений как противоопухолевых средств / Златник Е.Ю., Сагакянц А.Б., Непомнящая Е.М., Захарова Н.А., Ульянова Ю.В. // Казанский медицинский журнал. 2024. Том 10. Обзоры. С. 813-824.

4. Загоскина Н.В., Назаренко Л.В. Вторичные метаболиты растений: распространение, история изучения, практическое применение / Биология. С. 8-19.

5. Ларикова Ю. С., Маликова Н. А. Вторичные метаболиты лекарственных растений // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2022. №6.

6. Парийчук Н. В. Парофазный газохроматографический анализ летучих компонентов лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов: диссертация ... кандидата химических наук: 02.00.02 / Парийчук Нина Владимировна; Воронеж. гос. ун-т. Воронеж, 2018. 174 с.

7. Буданова Е.В., Горленко К.Л., Киселев Г.Ю Вторичные метаболиты растений: механизмы антибактериального действия и перспективы применения

в фармакологии // Антибиотики и химиотерапия. Обзоры. 2019, 64; 5-6. С. 69-76.

8. Пасешниченко В.А. Растения – продуценты биологически активных веществ // Биология. Соросовский образовательный журнал. Том 7. №8. 2001. С. 13-19.

9. Анализ механизмов антибактериального действия экстрактов лекарственных растений с использованием системы двойных репортеров Dualrep2 / Баймиев Ал. Х., Чуваткина А.К., Владимирова А.А., Матниязов Р.Т., Мавзютов А.Р., Баймиев Ан. Х. // Антибиотики и химиотерапия. Экспериментальные исследования. 2023. 68; 7–8. С. 16-11.

10. Борисова Г. Г., Ермошин А. А., Малева М. Г., Чукина Н. В. Биохимия растений: вторичный обмен: учебное пособие для вузов / Москва: Издательство Юрайт. 2024 г. 128 с.

11. Ларикова Ю. С., Маликова Н. А. Вторичные метаболиты лекарственных растений / Москва. 2022 г. 4 с.

UDC 581.1

SECONDARY METABOLITES OF PLANTS

Victoria Al. Bazhenova

student

vika.bazhenova.01@mail.ru

Yulia V. Mazaeva

senior lecturer

iyli.2020@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. The article provides an overview of secondary plant metabolites. A brief historical sketch of the study of secondary metabolites is given. A brief description of the main groups of secondary metabolites and the plants in which they are contained is given.

Key words: biotechnology, plants, secondary metabolites, plant physiology, medicinal plants, pharmacognosy.

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 20.03.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.