

УДК 577.19

DOI: 10.25688/2076-9091.2022.47.3.3

Юлия Геннадьевна Кропова¹,
Екатерина Андреевна Козлова²,
Аркадий Николаевич Ховрин³

¹⁻³ Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

¹ kropova.j@mgpu.ru

² KozlovaEA2000@mgpu.ru

³ hovrin.a@mgpu.ru

Аллелопатическая активность эфиромасличных растений

Аннотация. В статье представлены результаты изучения аллелопатической активности растений на разных стадиях онтогенеза. Показаны закономерности изменения аллелопатической активности выбранных растений в онтогенезе.

Ключевые слова: аллелопатия, эфирные масла, биоцидное действие, тест-объекты

UDC 577.19

DOI: 10.25688/2076-9091.2022.47.3.3

Yulia Gennadyevna Kropova¹,
Ekaterina Andreevna Kozlova²,
Arkady Nikolaevich Khovrin³

¹⁻³ Moscow City University, Moscow, Russia

¹ kropova.j@mgpu.ru

² KozlovaEA2000@mgpu.ru

³ hovrin.a@mgpu.ru

Allelopathic activity of essential oil plants

Abstract. The article results of studying the allelopathic activity of plants at different stages of ontogenesis are presented. The regularities of changes in the allelopathic activity of selected plants in ontogenesis are shown.

Keywords: allelopathy, essential oils, biocidal effect, test objects

В результате своей жизнедеятельности все растения синтезируют большое количество химических веществ. Синтез этих веществ может осуществляться всеми частями растения, а условия произрастания оказывают влияние на интенсивность синтетических реакций.

© Кропова Ю. Г., Козлова Е. А., Ховрин А. Н., 2022

Все эти вещества могут оказывать как тормозное, так и стимулирующее действие на другие растения и на животные организмы. Это явление получило название **аллелопатия**, а уровень образования и накопления этих веществ в растениях — **аллелопатическая активность**.

Само явление химического взаимодействия разных организмов, или явление аллелопатии, было первоначально описано Г. Молишем на примере разных видов растений, как травянистых, так и древесных. Каждое растение формирует вокруг себя специфическую среду за счет синтеза и выделения огромного количества веществ, различных по своей химической структуре [4].

Длительное время наблюдая за взаимодействием растений разных видов и оценивая влияние растений на представителей других таксонов, ученые полагали, что характер такого влияния исключительно негативный. Возможно, это было обусловлено тем, что биоцидная активность ряда растений была известна с древних времен и сформировалось представление, что все метаболиты, выделяемые растениями, будут обладать аналогичным действием. Однако эксперименты на модельных системах показали, что такое воздействие может носить и положительный характер, когда метаболиты одних растений оказывают стимулирующее действие на другие организмы, ускоряя их развитие или активируя отдельные процессы жизнедеятельности этих организмов.

По мере накопления информации о химическом воздействии растений на другие организмы были предприняты первые попытки классифицировать эти вещества и растения. Было показано, что растения могут выделять вещества различными своими частями. Также существуют и посмертные воздействия растений, обусловленные веществами, которые образуются при разложении мертвых тканей растений [6].

Ключевая роль в создании подобной классификации принадлежит А. М. Гродзинскому. Первоначально он разделял растения на несколько групп по типу их влияния на другие организмы — на группы видов с сильным уровнем воздействия живых растений и группы видов с воздействием средней силы, причем аллелопатические вещества выделялись только живыми клетками. Еще одна группа была представлена растениями, имеющими высокий уровень аллелопатического потенциала после смерти самого растения. Следующая классификация, которая была предложена в 1973 году, представляет собой систематизацию уже именно аллелопатических веществ [7].

Все химические вещества, формирующие аллелопатический потенциал растений, можно разделить на три большие группы.

Первая группа веществ объединяет вторичные метаболиты растений. Это могут быть различные органические кислоты, эфирные масла, терпеноиды, алкалоиды, глюкозиды, флавоноиды, различные полифенольные соединения, дубильные вещества, витамины. Многие из этих веществ обладают фитонцидной и биоцидной активностью. Следует отметить, что многообразие этих веществ

очень велико. Также можно говорить и о строгой видоспецифичности аллелопатических метаболитов. Так, в настоящее время есть данные о соотношении компонентов в разных видах растений. Например, в чесноке доминирующим компонентом является аллицин, тогда как остальные вещества (органические вещества сульфидной группы) находятся в следовой концентрации. А в растениях рода Алоэ содержатся разные вещества с фитонцидной активностью примерно в одинаковых количествах (аллантоин, алоин, наталоин, рабарберон, эмодин, гомонаталин).

Ученые полагают, что способность растений синтезировать такие вещества и накапливать их в клетках возникла в ходе эволюции как защитное приспособление растений против животных-фитофагов. А также многие из веществ этой группы защищают растения от паразитарных организмов, грибов, насекомых-вредителей.

Вторая группа включает в себя вещества, которые образуются в процессе отмирания тканей растения. Это может быть и естественный процесс отмирания тканей, но также это может быть и ускоренный процесс некроза, связанный с метаболическими нарушениями в растительном организме. В результате некротических процессов повышается активность гидролитических ферментов, преимущественно протеаз. В итоге в растительных тканях накапливаются фрагменты белковых молекул, аминокислотные фрагменты. Имея относительно небольшие размеры, такие молекулы обладают высокой подвижностью, способны преодолевать мембранный барьер. Это значит, что они обладают высокой реакционной способностью и взаимодействуют друг с другом. В результате могут образовываться как большие, так и мелкие молекулы: олигопептиды, аминокислоты, амиды кислот, amino- и иминопроизводные, индолпроизводные и пр. — и, наконец, конечный продукт азотистого обмена — аммиак. Проводимые исследования показывают высокую концентрацию таких метаболитов в растительных тканях, а модельные эксперименты подтверждают и высокую токсичность многих веществ этой группы. Следует также отметить, что эти вещества не обладают видоспецифичностью, образуются у растений различной таксономической принадлежности. Однако содержание этих веществ, как качественное, так и количественное, коррелирует с конкретными условиями обитания растений, а также зависит от условий, в которых происходит омертвление растительных тканей.

Третья группа веществ объединяет продукты минерализации и гумификации растительных тканей. Это гуминовые кислоты и их производные. Если посмотреть на химический состав этих веществ, то можно отметить общее для них свойство — полимерные структуры, представленные преимущественно ароматическими соединениями и гетероциклами. Благодаря такой структуре эти соединения легко вступают в химические взаимодействия, образуя хелаты — комплексные соединения с металлами. Такие соединения образуются посмертно при разложении полисахаридов, лигнина.

Следует отметить, что вещества всех трех групп вызывают разнообразные воздействия на организмы. Аллелопатические вещества (их часто называют **колинами**) способны изменять проницаемость клеточной мембраны; поступая внутрь клетки они могут менять свойства протоплазмы, изменяя ее редокс-потенциал. Это, в свою очередь, приводит к изменению активности цитоплазматических ферментов, а значит, происходят изменения и во всех метаболических путях и физиологических процессах.

Было отмечено, что колины, выделяемые разными растениями, могут взаимодействовать друг с другом, причем это взаимодействие может быть разным: колины могут быть как синергистами, усиливающими действие друг друга, так и являться веществами-антагонистами. Причем добавление в пару синергистов дополнительных компонентов приводит к ослаблению такого взаимоусиливающего действия [8].

Изучая влияние аллелопатических веществ на биохимические и физиологические процессы, происходящие в клетках разных организмов, выявлено большое разнообразие механизма действия колинов. Однако все направления воздействия можно разделить на несколько типов [7].

1-й тип воздействия колинов приводит к изменению физико-химических свойств клеточной мембраны, что может быть связано с повышением синтеза разных групп соединений. Происходит накопление восков, липоидов, сахаров, которые, в свою очередь, вызывают закупорку пор, различных отверстий на поверхности организмов.

Синтез сапонинов, алкалоидов, танинов и аммиака приводит к изменению показателей поверхностного натяжения мембраны. Различные анионы и катионы меняют проницаемость мембран. Накопление моносахаров, карбоновых кислот и растворимых минеральных солей приводит к плазмолизу. Повышение синтеза сапонинов и алкалоидов провоцирует растворение различных структурных компонентов клетки, в том числе и ядра. Синтез полифенолов вызывает необратимую денатурацию различных по функциям белков.

2-й тип воздействия колинов может привести к метаболическим изменениям.

Накопление колинов, которые имеют сходство по структуре с ключевыми метаболитами организма, как правило, приводит к замене этих метаболитов на аллелопатические вещества за счет их более высокой конкурентоспособности. Синтез синильной кислоты, цианидов запускает реакции по свободно-радикальному механизму, что вызывает изменение пространственной структуры ключевых метаболитов. Синтез антивитаминов, антиферментов других функциональных аналогов метаболитов приводит к вытеснению «родных» веществ.

Накопление веществ разных химических классов вызывает увеличение (индукция) или уменьшение (депрессия) активности ферментов за счет того, что накапливаемые вещества выполняют роль субстратов действия ферментов. Хелаты и прочие вещества-комплексообразователи блокируют основные

ферменты. Полифенолы, гуминовые кислоты стимулируют окислительно-восстановительные реакции, что приводит в дальнейшем к изменению редокс потенциала и значений кислотности в клетке.

Все колины могут вызывать нарушение энергетического обмена в клетках, влияя на активность ферментов дыхательной цепи митохондрий.

3-й тип воздействия колинов меняет физиологию организма в целом. Это могут быть морфологические изменения или изменения внутреннего строения, различные уродства. Также к этой группе относят нарушения клеточного цикла, сбой в механизмах пролиферации и дифференцировки клеток, изменение интенсивности процессов питания и выделения, снижение адаптационного потенциала организма.

В аллелопатии важна не только концентрация действующего вещества, но и длительность воздействия, измеряемая периодом всей жизни растения [7].

Эталонным тест-организмом для проведения исследований по изучению влияния разнообразных химических веществ на живые системы является ветвистоусый рачок дафния (*Daphnia magna* Straus) [1].

Дафнии являются наиболее удобными организмами для проведения наших исследований, так как обладают коротким жизненным циклом, позволяющим не только проследить последствия кратковременного контакта организмов с токсическим веществом всей жизни интактных организмов, но и выявить отдаленные последствия на нескольких поколениях их потомства, если длительность опытов составляет не менее 40–60 суток. И, что особенно важно, дафнии проявляют высокую чувствительность к действию солей тяжелых металлов и других токсикантов [3]. Культура дафний выращивалась по классической методике [3]. Для получения достоверных результатов мы использовали дафний, полученных в лаборатории, начиная с четвертого поколения.

Для наших исследований мы выбрали 7 видов пряных растений: укроп огородный (*Anethum Graveolens*), петрушка кудрявая (*Petroselinum Crispum*), мелисса лекарственная (*Melissa Officinalis*), мята перечная (*Mentha Piperita*), лаванда узколистная (*Lavandula Angustifolia*), тимьян (чабрец) ползучий (*Thymus Serpyllum*), розмарин лекарственный (*Rosmarin Usofficialis*).

Растения выращивались в домашних условиях при одинаковой частоте полива, температуре и режиме освещенности. Семена проращивались в чашках Петри в течение семи дней (стадия проростков) и выращивались в грунте до наступления цветения (взрослые иматурные растения). Выбранные растения использовали на разных стадиях развития: проростки, взрослые растения.

Выделение эфирных масел осуществлялось в лаборатории без замораживания растительных образцов. Для экстрагирования летучих фракций из растительных тканей используют разные методики, которые базируются на перегонке. Одним из самых популярных методов является перегонка с водяным паром, водой или комбинированным способом, при котором сырье заливают водой или соляным раствором, а затем пропускают пар [2].

Методика основана на установлении поведенческих реакций дафний под действием эфирных масел в анализируемой пробе (опыт) и культивационной воде (контроль).

Мы помещали с помощью пипеток на стекло каплю с культурой дафний (брали определенное их количество), рядом помещали каплю с исследуемым маслом. Затем на каждое предметное стекло капали по 2 капли эфирного масла пряных растений. После этого капли соединяли мостиком и наблюдали под биноклем за поведением дафний. Продолжительность наблюдений была выбрана опытным путем и составляла 7 минут. По истечении времени подсчитывали количество погибших рачков и пересчитывали в процентах. Учитывали время появления реакции и высчитывали летальную дозу — до 50 % особей [2].

Содержание эфирных масел в растениях. Изучение процессов аккумуляции летучих фракций выращенных нами растений позволяет заключить, что укроп огородный (основной компонент эфирного масла — **карвон**), перечная мята (основной компонент эфирного масла — **ментол**), розмарин лекарственный (основной компонент эфирного масла — **пинен**), ползучий тимьян (основной компонент эфирного масла — **тимол**) реализуют синтетические процессы в мезофилле листа, однако чем старше становится растение, тем процессы синтеза идут медленнее. В листьях мелиссы (основной компонент эфирного масла — **цитраль**) и лаванды (основной компонент эфирного масла — **линалилацетат**) синтез летучих фракций локализован также в мезофилле листа, и чем больше поверхность листьев, тем больше эфирных масел экстрагируется. На основании этого можно предположить, что синтетические процессы идут с нарастанием в онтогенезе растения. И только у петрушки кудрявой (основной компонент эфирного масла — **апиол**, или **камфара петрушки**) количественный анализ выявляет одинаковую активность синтетических процессов на всех стадиях развития.

Действие эфирных масел растений на культуру дафний. Для изучения действия эфирных масел отдельных растений мы брали полученные экстракты из проростков и взрослых растений. Учитывая тот факт, что летучая фракция всех растений представлена многокомпонентным составом, мы предположили, что соотношение отдельных веществ в составе масла может меняться по мере роста растения и, соответственно, оказывать различное влияние на культуру дафний. Соответственно, влияние масел из проростков растений и взрослой стадии на культуру дафний будет неодинаковым.

Укроп огородный. При изучении действия масла укропа огородного мы наблюдали следующее. Летучая фракция, выделенная из проростков растений, вызывала смертность у 70 % особей, тогда как масла из взрослых растений оказывали более сильное влияние, приводя к смертности 60 % дафний.

При этом во взрослых растениях концентрация выделенных эфирных масел была меньше, чем в проростках. Однако такой процент смертности, возможно, обусловлен соотношением отдельных веществ в составе масла.

Мелисса лекарственная. Смертность дафний при действии масел мелиссы лекарственной была очень высокой, особенно при действии фракций, выделенных из взрослых растений.

Собственно, органолептический анализ используемых масел показал различное соотношение компонентов в масле на разных стадиях роста растения (интенсивность запаха), что позволяет сделать вывод о патогенном влиянии именно отдельных компонентов, преобладание которых выше у вегетирующих растений мелиссы.

Мята перечная. Изучение действия масел мяты перечной показало, что процент смертности дафний очень высок при действии фракций, полученных из проростков. Мы также можем наблюдать изменение интенсивности запаха у проростков и взрослых растений, что свидетельствует о разном соотношении компонентов. Именно проростки мяты наиболее богаты ментолом, который вызывает смертность дафний.

Лаванда узколистная. Эфирные масла лаванды почти не вызывают смертность дафний. Основным компонентом летучей фракции лаванды является линалоацетат, который обладает слабовыраженным литическим действием.

Розмарин лекарственный. Пинен, содержащийся в растениях розмарина, был выделен примерно в равных концентрациях из проростков и взрослых растений. Собственно, это полностью коррелирует и с процентом смертности дафний.

Мы наблюдали примерно одинаковый уровень смертности при использовании всех типов масел (порядка 40–50 %).

Тимьян ползучий. Тимол, являющийся основным компонентом эфирных масел тимьяна ползучего, обладает выраженным антимикробным действием, что позволило на его основе создать лекарственный препарат с аналогичным названием [1]. Наш эксперимент показал, что летучие фракции проростков обладают более ярко выраженным биоцидным действием по сравнению со взрослыми интенсивно вегетирующими растениями.

Петрушка кудрявая. Апиол, содержащийся в петрушке кудрявой, обладает биоцидным действием, меняя проницаемость мембран клеток.

Эфирные масла, выделенные из взрослых растений и проростков, оказывают одинаковое действие на культуру дафний, вызывая смертность половины особей. При этом количество летучих фракций, выделенных из этих возрастных состояний, также одинаково.

Таким образом, изучая влияние эфирных масел проростков и взрослых растений на выживаемость дафний, мы можем заключить следующее.

Наибольшие показатели гибели дафний показали эфирные масла, экстрагированные из проростков укропа огородного, мяты перечной, тимьяна ползучего. Также высокие значения смертности тест-объектов были зафиксированы для взрослых стадий растений таких видов, как мелисса и розмарин. Летучие фракции, выделенные из проростков и взрослых растений петрушки кудрявой, оказывают одинаковое по интенсивности действие на рачков.

При этом наблюдается прямая зависимость между объемом экстрагированных летучих фракций и интенсивностью биоцидного воздействия (кроме лаванды и розмарина, что может быть обусловлено погрешностью в измерениях).

На следующем этапе работы мы сравнивали действие летучих фракций выбранных растений, находящихся на одной стадии онтогенеза.

Результаты были получены следующие. Как видно из диаграммы (рис. 1), самые высокие показатели выживания модельных рачков зафиксированы при действии летучих компонентов, экстрагированных из лаванды и мелиссы. Абсолютно противоположная картина наблюдается при воздействии на дафний маслами проростков укропа.

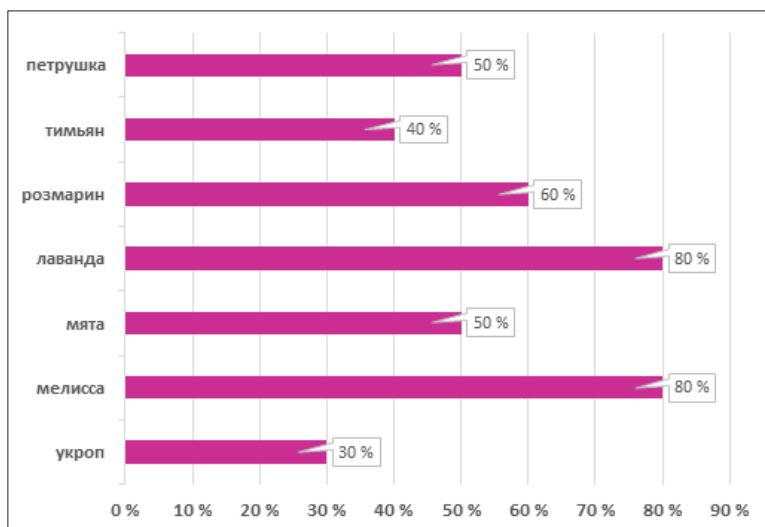


Рис. 1. Выживаемость дафний при действии эфирных масел проростков пряных растений, %

Содержание эфирных масел в проростках пряных растений показано на рисунке 2.

Представленные на диаграмме данные позволяют заключить, что зафиксированные нами высокие концентрации летучих фракций, экстрагированные из изучаемых растений на стадии проростков, оказывают более интенсивное воздействие на дафний, вызывая гибель рачков.

Сравнивая действие эфирных масел пряных растений, экстрагированных из иматурных стадий, можно зафиксировать разное по силе биоцидное действие летучих фракций. По этому показателю значительно выделяется лаванда узколистая (рис. 3 и 4).

Наши эксперименты показали, что масла лаванды практически не оказывают никакого воздействия на жизнедеятельность дафний. Добавление высококонцентрированных фракций из листьев взрослой лаванды сохраняет жизнь наибольшему количеству дафний и не меняет их активности.

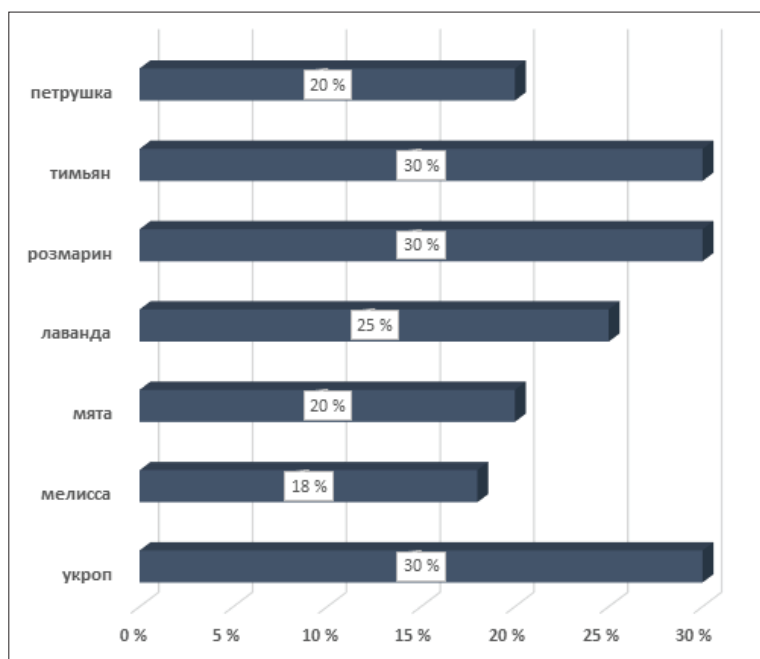


Рис. 2. Содержание эфирных масел в проростках пряных растений, %

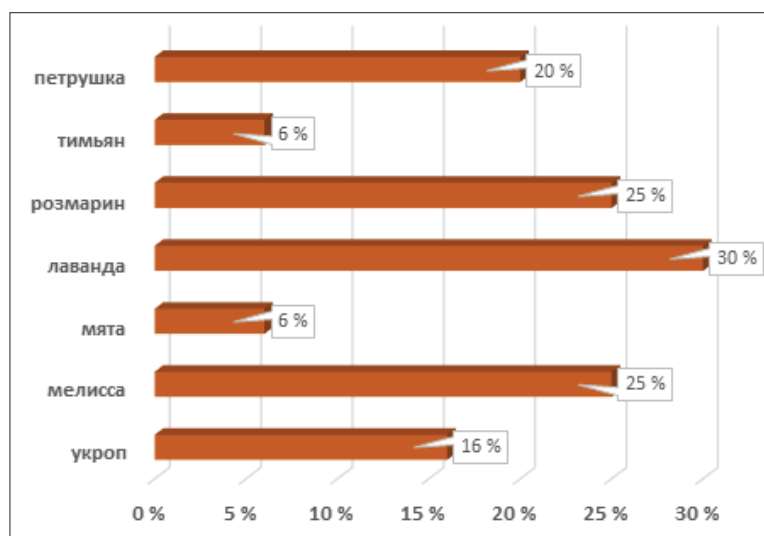


Рис. 3. Содержание эфирных масел во взрослых пряных растениях, %

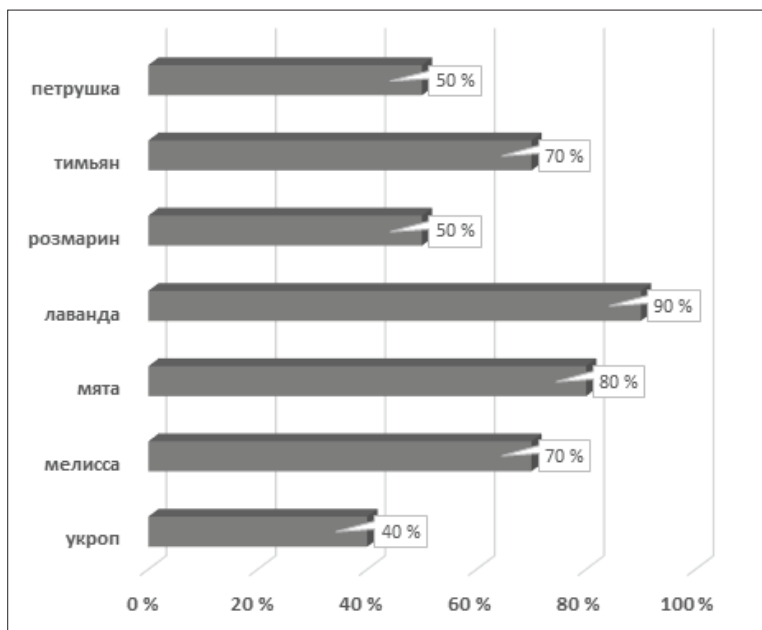


Рис. 4. Уровень выживаемости дафний при действии эфирных масел взрослых пряных растений, %

Прямая закономерность между содержанием летучих фракций и гибели организмов наблюдается также и при изучении эффекта эфирных масел мяты перечной.

Таким образом, каждое из изученных растений имеет свою индивидуальную динамику накопления летучих веществ.

У некоторых объектов по мере роста концентрация эфирных масел снижается (укроп, мята, розмарин, тимьян). У других видов, наоборот, с ростом биомассы наблюдается и увеличение концентрации масел (мелисса и лаванда).

Наибольшим биоцидным действием на стадии проростков обладают летучие фракции укропа огородного, мяты перечной, лаванды узколистной и тимьяна ползучего. Высокую смертность дафний вызывают фракции из взрослых растений мелиссы лекарственной и розмарина лекарственного. Петрушка кудрявая характеризуется одинаковой интенсивностью синтеза эфирных масел на протяжении всего онтогенеза. Наблюдается прямая закономерность между количеством масел и интенсивностью вызываемого летального эффекта.

Наибольший процент дафний выживает при воздействии на них эфирных масел лаванды и мелиссы, тогда как масло укропа приводит к высокой смертности рачков.

Таким образом, проведенное исследование показало, что показатель **аллелопатической активности** отражает интенсивность синтеза и накопления активных веществ в растениях, которые в дальнейшем оказывают влияние на другие объекты. У некоторых растений по мере роста концентрация эфирных масел снижается (укроп, мята, розмарин, тимьян). У других видов,

наоборот, с ростом биомассы наблюдается и увеличение концентрации масел (мелисса и лаванда). Наибольшим аллелопатическим потенциалом обладают проростки укропа огородного, мяты перечной, лаванды узколистной и тимьяна ползучего. Среди взрослых растений высокую аллелопатическую активность проявили мелисса лекарственная и розмарин лекарственный.

Список источников

1. Брагинский Л. П. Методологические аспекты токсикологического биотестирования на *Daphnia magna* Str. и других ветвистоусых ракообразных (критический обзор) // Гидробиологический журнал. 2000. Т. 36. № 5. 66 с.
2. Вартанян Р. С. Синтез основных лекарственных средств. М.: МИА, 2004. 845 с.
3. Гудимов А. В., Денисов В. В. Многоуровневая биоиндикация в системе современной технологии мониторинга ... 2002 // ДАН. 2008. Т. 418. № 1.
4. Димитриев А. Д. Амбросьева Е. Д. Биохимия. М.: Дашков и Ко, 2009. 168 с.
5. Ивлева И. В. Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных. М.: Наука, 1999. 382 с.
6. Райс Э. Аллелопатия / пер. с англ., под ред. А. М. Гродзинского. М.: Мир, 2008. 394 с.
7. Федорова А. И., Никольская А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: ВЛАДОС, 2003. 398 с.
8. Экспериментальная аллелопатия / А. М. Гродзинский, Э. А. Головко, С. А. Горобец и др. Киев: Наукова думка, 1987. 236 с.

References

1. Braginsky L. P. Methodological aspects of toxicological biotesting on *Daphnia magna* Str. and other veterinary crustaceans (critical review) // Hydrobiological Journal. 2000. Vol. 36. № 5. 66 p.
2. Vartanyan R. S. Synthesis of essential drugs. Moscow: MIA, 2004. 845 p.
3. Gudimov A. V., Denisov V. V. Multi-level bioindication in the system of modern monitoring technology... 2002 // DAN. 2008. T. 418. № 1.
4. Dimitriev A. D. Ambrosieva E. D. Biochemistry. Moscow: Dashkov and Co., 2009. 168 p.
5. Ivleva I. V. Biological foundations and methods of mass cultivation of fodder invertebrates. Moscow: Science, 1999. 382 p.
6. Rice E. Allelopathy. Translation from English; edited by A. M. Grodzinsky. Moscow: World, 2008. 394 p.
7. Fedorova A. I., Nikolskaya A. I. Workshop on Ecology and Environmental Protection: Textbook for students of higher educational institutions. Moscow: VLADOS Center, 2003. 398 p.
8. Experimental allelopathy / A. M. Grodzinsky, E. A. Golovko, S. A. Gorobets et al. Kiev: Naukova Dumka, 1987. 236 p.