

УДК 633.81:632.4:581.135.51

## ОЦЕНКА АНТИФУНГАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ГИДРОЛАТА И ЭФИРНОГО МАСЛА *MONARDA CITRIODORA* В ОТНОШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ И МИКОКОМПЛЕКСОВ

Денис Константинович Солдатов<sup>1</sup>, Илья Владимирович Булавин<sup>1,2</sup>,  
Сергей Александрович Феськов<sup>1</sup>, Оксана Михайловна Шевчук<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Никитский ботанический сад – Национальный научный центр  
298648, Республика Крым, м.о. город-курорт Ялта,  
тер. Никитский ботанический сад, зд. 1, стр. 1

<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет,  
299053, Республика Крым, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
E-mail: cellbiolnbs@yandex.ru

Проведена оценка антифунгальной активности гидролата и эфирного масла *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. против изолята *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., выделенного с поверхности листовых пластинок, пораженных растений *Monarda*, и микокомплекса, находящегося на боковых фотосинтетических органах эфирносов *Monarda didyma* L. и *Monarda fistulosa* L., культивируемых на коллекционных участках Никитского ботанического сада. В лабораторных экспериментах показано, что гидролат не оказывал существенного ингибирующего эффекта на фитопатоген. Эфирное масло тимольного хемотипа (тимол – 62,84 %, карвакрол – 7,20 %) полностью подавляло рост мицелия в концентрированном виде и разведениях в диапазоне от 1:1 до 1:50. В полевых испытаниях на растениях *M. didyma* и *M. fistulosa*, пораженных комплексом грибных патогенов, при опрыскивании составом, содержащим эфирное масло (1:25), существенного снижения развития инфекции не наблюдалось. Отмечена выраженная фитотоксичность (хлороз, усыхание и опадение листьев). Высокая антифунгальная активность эфирного масла *in vitro* обусловлена доминированием фенольных соединений. Результаты указывают на перспективность эссенциального масла как биофунгицида при условии оптимизации композиций для снижения фитотоксичности.

**Ключевые слова:** монарда лимонная; микоагент; поражение; тимол; карвакрол; антифунгальная активность; фитотоксичность

### Введение

Гриб *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. является одним из наиболее распространенных фитопатогенов, вызывающих пятнистость листьев и гнили на широком спектре сельскохозяйственных и лекарственных растений [19]. Микоагент вызывает некроз, снижение декоративных качеств и урожайности, что подчеркивает важность исследований по контролю патогена для сохранения биоразнообразия и экономических потерь в садоводстве [26].

Традиционные методы контроля *A. alternata* основаны на применении химических фунгицидов, однако их использование приводит к развитию резистентности и негативному воздействию на окружающую среду [27]. В связи с этим, поиск альтернативных, экологически безопасных средств на основе натуральных продуктов, таких как эфирное масло и гидролаты растений, приобретает особую значимость [8, 24]. Эфирное масло *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. демонстрирует выраженную антимикробную активность благодаря высокому содержанию фенольных соединений, таких как тимол (29–61%) и карвакрол (6–39%), которые нарушают целостность клеточных мембран патогенов [13, 23]. Недавние исследования подтверждают эффективность ароматического масла *M. citriodora* против *A. alternata in vitro* при концентрации 1,40 мкл/мл [11].

Гидролаты, получаемые как побочный продукт дистилляции эфирного масла, также обладают потенциальной антифунгальной активностью, хотя их эффективность

обычно ниже из-за меньшей концентрации активных веществ [10]. Например, гидролат *M. citriodora* проявляет слабую активность против плесневых грибов в отличие от эфирного масла, которое полностью ингибирует рост при низких разведениях [12]. Ввиду ограниченности сравнительных данных о влиянии эссенциального масла и продуктов дистилляции *Monarda* spp. на *A. alternata* и микокомплексы, развивающиеся на растениях данного рода, целью работы была оценка антифунгальной активности гидролата и эфирного масла *M. citriodora* в лабораторных и полевых условиях.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили гидролат и эфирное масло, полученные из надземной части растений *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag., культивируемых на коллекционных участках Никитского ботанического сада – Национального научного центра РАН (НБС-ННЦ). Растительный материал собирали в фазу массового цветения (июль–август 2024–2025 гг.).

В качестве тест-объекта использовали изолят *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., выделенный с поверхности пораженных листьев *M. didyma* L. в 2024 г., идентифицированный морфологически и методом ПЦР с использованием специфических праймеров [2], и культивируемый на косяках с картофельно-морковным агаром в термостате ТС-80МУ4.2 (Одесский экспериментальный завод лабораторной медицинской техники, СССР) при температуре 21–22°C, 16-часовом фотопериоде и освещенности 2000–3000 люкс.

Эфирное масло извлекали методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга из свежесобранного сырья [5]. Компонентный состав эфирных масел устанавливали с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащённого масс-спектрометрическим детектором. Колонка капиллярная CR – 5ms, длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм. Фаза 5% фенил 95% полисилфениленсилоксан, толщина плёнки 0,25 мкм. Температура термостата программировалась от 75°C до 240°C со скоростью 4°C/мин. Температура испарителя 250°C. Газ-носитель – гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура переходной линии 250°C. Температура источника ионов 200°C. Электронная ионизация 70 эВ. Диапазон сканирования 20–450. Длительность скана 0,2. Идентификация выполнялась на основе сравнения полученных масс-спектров с данными библиотеки NIST 14 (Национальный Институт Стандартов и Технологий, США). Программа поиска и идентификации спектров – MS Search (США). Индексы удерживания получены путём логарифмической интерполяции приведённых времён удерживания с использованием аналитического стандарта смеси реперных n-алканов Sigma-Aldrich (Швейцария) и аналитических стандартов Supelco (США). Массовую долю компонентов в пробе определяли методом процентной нормализации [4, 7].

Гидролат собирали из водной фазы после отделения эфирного масла. Оба продукта (эфирное масло и гидролат) хранили в темных стеклянных флаконах при температуре 4–6°C.

Антифунгальную активность оценивали диско-диффузионным методом. Для этого с 7-суточного косяка культуры *A. alternata* делали смыв, используя 5 мл стерильного физиологического раствора. Полученную жидкость (0,3 мл) высевали шпателем Дригальского на поверхность картофельно-морковного агара, залитого в чашки Петри (d 90 мм). На засеянную поверхность стерильным пинцетом помещали на равном расстоянии друг от друга и от краев чашки бумажные диски (d 6 мм), пропитанные гидролатом (концентрированным, 1:1, 1:2, 1:4) и эфирным маслом (концентрированным, 1:1, 1:2, 1:4, 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:500, 1:700, 1:1000). Эфирное масло разводили в димексиде, гидролат – в стерильной дистиллированной

воде. На каждый диск наносили 15 мкл раствора. В качестве контроля для гидролатов выступала стерильная дистиллированная вода, для эфирного масла – стерильная дистиллированная вода и димексид. Засеянные чашки культивировали в термостате ТС-80МУ4.2. Диаметр зоны задержки роста, который соответствует степени чувствительности исследуемого микроорганизма к эфирному маслу (более 25–30 мм – высокая степень, менее 10 мм – слабой), измеряли на 7-е сутки [1, 3].

Полевые испытания проводили на *M. didyma* L. и *M. fistulosa* L., пораженных микокомплексами с доминированием *Golovinomyces biocellatus* (Ehrenb.) Heluta. Обработку растений проводили раствором, состоящим из эфирного масла, димексида, воды, прилипателя с использованием ручного опрыскивателя до полного смачивания листьев. Обработку повторяли однократно, наблюдения вели в течение семи суток после нанесения смеси. Оценку эффекта осуществляли визуально по изменению морфологического состояния листьев (наличие/отсутствие хлороза, некроза, усыхания, опадения листьев, изменения степени поражения грибной инфекцией).

Эксперименты выполняли в трех биологических и трех аналитических повторностях для *in vitro* тестов.

### Результаты и обсуждение

Проведена оценка антифунгальной активности гидролата и эфирного масла *M. citriodora* против изолята *A. alternata* диско-диффузным методом на агаризированном картофельно-морковном агаре. Гидролат *M. citriodora* и эфирное масло тестировали в концентрированном виде и в разведении.

Согласно полученным результатам, гидролат (концентрированный, 1:1–1:4) не оказывал существенного влияния на формирование колоний *A. alternata*. Рост мицелия был подобен контролю (вода) без заметных изменений в его морфологии (рис. 1).

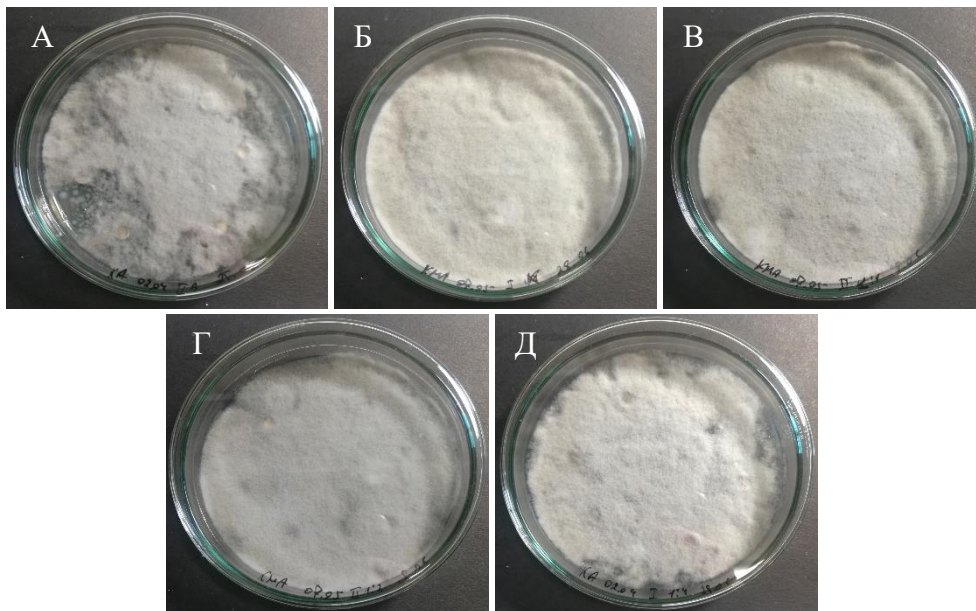


Рис. 1 Влияние гидролата *M. citriodora* Cerv. ex Lag. на *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.: А – контроль (вода), Б – концентрат, В – разведение 1:1, Г – разведение 1:2, Д – разведение 1:4.

Концентрированное эфирное масло и его разведения от 1:1 до 1:4 полностью подавляли формирование мицелия. Пороговое фунгистатическое действие установлено в диапазоне от 1:25 до 1:50. При дальнейшем разбавлении более 1:50 эффект отсутствовал (рис. 2).

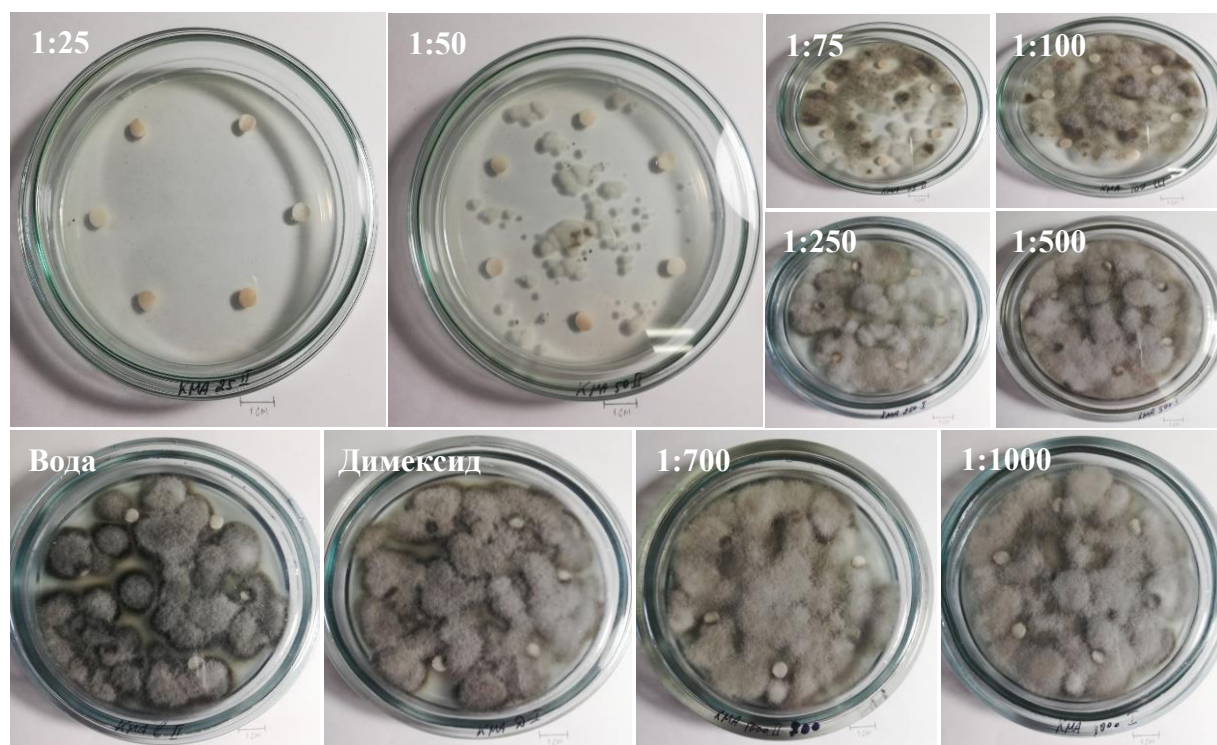


Рис. 2 Влияние эфирного масла *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. на рост *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, 1:250, 1:500, 1:700, 1:1000 – разведения; вода, димексид – контроль.



Рис. 3 Пораженные растения *Monarda didyma* L. и *Monarda fistulosa* L., обработанные составом, содержащим эфирное масло *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. (1:25). Вода, димексид – контроль.

В полевых испытаниях пораженные листья *M. didyma* и *M. fistulosa* обрабатывали эфирным маслом в разведении 1:25. При визуальной оценке листовых пластинок после нанесения раствора, содержащего эфирное масло, существенного влияния на микокомплексы с доминированием *G. biocellatus* установлено не было (рис. 3). Для исследуемых растений отмечена фитотоксичность. Листья изменяли свое физиологическое состояние. Наблюдали хлороз, усыхание, приводившее к опаданию латеральных фотосинтетических органов.

Для объяснения эффектов на микопатогены и анализируемые растения рода *Monarda* нами проведено исследование компонентного состава эфирного масла, полученного из здоровой надземной части *M. citriodora* (табл.).

Таблица

Компонентный состав эфирного масла *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag.

№	Компонент	RI, мин	Массовая доля, %
1	3-гексен-1-ол, (Z)-	3,20	0,07
2	$\alpha$ -туйен	4,38	1,12
3	$\alpha$ -пинен	4,56	0,32
4	1-октен-3-ол	5,27	2,02
5	$\beta$ -пинен	5,44	0,08
6	$\beta$ -мирцен	5,55	2,35
7	3-октанол	5,64	0,10
8	октаналь	5,75	0,32
9	$\alpha$ -фелландрен	6,01	0,31
10	3-карен	6,12	0,10
11	$\alpha$ -терпинен	6,27	3,30
12	<i>p</i> -цимен	6,42	6,35
13	D-лимонен	6,58	0,65
14	$\beta$ -фелландрен	6,62	следы
15	(Z)-оцимен	6,90	0,06
16	$\gamma$ -терпинен	7,29	8,16
17	1-октанол	7,47	0,14
18	<i>цис</i> -сабинен гидрат	7,56	1,32
19	линалоол	8,29	0,17
20	<i>транс</i> -сабинен гидрат	8,42	0,27
21	<i>эндо</i> -борнеол	10,52	0,27
22	терпинен-4-ол	10,78	0,86
23	метилкарвакрол	12,56	0,11
24	тимол	14,40	<b>62,84</b>
25	карвакрол	14,55	<b>7,20</b>
26	$\beta$ -Кариофиллен	18,38	0,73
27	гермакрен D	20,19	0,56
28	$\alpha$ -фарнезен	20,71	0,09
Монотерпеновые углеводороды			23,90
Оксигенированные монотерпеноиды			70,47
Сесквитерпеновые углеводороды			1,38
Другие, нетерпеноидные соединения			0,39
Идентифицировано компонентов, %			96,14

В составе идентифицировано 96,14 % компонентов, при выходе 0,66 % от сырой массы (2,97 % в пересчете на абсолютно сухое вещество). Доминирующим классом соединений были оксигенированные монотерпеноиды, суммарная доля которых составила 70,47%. В качестве основных фенольных соединений определены тимол (62,84 %) и карвакрол (7,20%). Доля других оксигенированных производных (спиртов, таких как терпинен-4-ол, сабиненгидрат, 1-октен-3-ол) незначительна. Сумма

монотерпеновых углеводов составила 23,90 % ( $\gamma$ -терпинен 8,16; *p*-цимен 6,35 и  $\alpha$ -терпинен 3,30%), которые являются непосредственными биогенетическими предшественниками тимола. Содержание сесквитерпеновых углеводов минимально (1,38%) и представлено в основном  $\beta$ -кариофилленом (0,73%) и гермакреном D (0,56%). На долю прочих не-терпеноидных соединений (алифатические альдегиды и спирты) приходилось 0,39%.

Полученные нами данные показали отсутствие антифунгального эффекта гидролата *M. citriodora in vitro* в отношении выделенного изолята *A. alternata*, в то время как эфирное масло обладало более выраженными противогрибковыми свойствами с пороговым эффектом 1:25–1:50, что согласуется с данными литературы [11]. В подобных исследованиях, проведенных на *Penicillium chrysogenum* Thom и *Aspergillus niger* Tiegh. показана минимальная ингибирующая концентрация (МИК) эфирного масла *M. citriodora* – 32 мкг/мл, при которой отмечено подавление роста микроорганизмов [28]. В наших экспериментах данные значения находятся в диапазоне от 20 до 40 мкл/мл.

Компонентный состав эфирного масла *M. citriodora* напрямую определяет его антифунгальную активность против *A. alternata*. Доминирующие фенольные соединения – тимол (62,84 %) и карвакрол (7,20 %) – обладают выраженными фунгицидными свойствами. Недавние исследования подтверждают, что тимол ингибирует рост *A. alternata* с МИК 250 мкг/мл, вызывая окислительный стресс и нарушение эргостерола в мембранах [9]. Аналогично, карвакрол полностью подавляет мицелиальный рост *A. alternata*, нарушая целостность клеточной стенки и снижает содержание полисахаридов (хитин,  $\beta$ -1,3-глюкан) [29]. В наших исследованиях высокое содержание тимола объясняет полное подавление мицелия при низких разведениях эфирного масла, что согласуется с данными литературы при исследовании синергического эффекта эвгенола, карвакрола, тимола, *p*-цимена и  $\gamma$ -терпинена на подавление лекарственной устойчивости и образования биопленок бактерий [20]. Минимальная доля сесквитерпенов (1,38 %) не играет значимой роли в активности, подчеркивая фенольный механизм действия [21].

В полевых испытаниях на листьях *M. didyma* и *M. fistulosa*, поражённых микокомплексом с преобладанием *G. biocellatus*, обработка эфирным маслом *M. citriodora* тимольного типа в концентрациях 40 мкл/мл не привела к подавлению развития патогенов (визуальная оценка). Нами отмечен выраженный фитотоксический эффект в виде хлороза и преждевременного опадения листьев. В литературе имеются сведения о чувствительности некоторых мучнисторосяных грибов к фенолам. На примере *Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoff показано, что карвакрол демонстрирует высокую эффективность при фолиарном применении в концентрации 0,5–1,0 мМ [17]. В то же время, повышенная толерантность присутствующих на поверхности микоагентов *Aureobasidium pullulans* (de Bary & Löwenthal) G.Arnaud, *Filobasidium* spp. (L.S. Olive) [15, 18] и *Aureobasidium quisqualis* Viala & Bayer [22] (согласно не представленным данным секвенирования) к антифунгальным соединениям объясняет устойчивость микокомплекса и подчёркивает необходимость дифференцированного подхода к подбору концентраций и формуляций эфирного масла для защиты *Monarda* от смешанных инфекций.

В полевых и тепличных условиях эффективность эфирных масел существенно снижается по сравнению с лабораторными тестами в закрытых системах. Это обусловлено быстрой потерей летучих компонентов под действием ветра, ультрафиолета, осадков и температурных колебаний, даже при использовании прилипателей. В результате наблюдается значительное сокращение продолжительности защитного действия и часто происходит переоценка потенциала эфирных масел при

прямой экстраполяции результатов *in vitro* на реальные агроэкосистемы [25]. В связи с этим активно разрабатываются современные лекарственные формы – наноэмульсии, инкапсулированные системы и композиции с контролируемым высвобождением, которые повышают стабильность, биодоступность и антифунгальную активность эфирных масел в условиях окружающей среды [14].

Фитотоксичность эфирного масла в полевых условиях может быть связана с высокой концентрацией фенолов. На примере растений *Olea europaea* L. (сорт Leccino) показано, что карвакрол при фолиарном применении в концентрациях МИК (1,25 мг/мл) и 2×МИК (2,50 мг/мл) вызывает некротические поражения преимущественно на молодых листьях верхних побегов [16]. Мы предполагаем, что более выраженный эффект у *M. didyma* и *M. fistulosa*, сравнительно с *O. europaea*, возможно, связан со структурой листовой пластинки, формированием тканей, их плотностью и размерами клеток, при которых на один и тот же объем, сравнительно с другими растениями, внешние вторичные метаболиты будут по-разному распределяться и влиять на функциональное состояние органов. Применение наноэмульсий, антифунгальная активность которых способствует снижению тяжести болезни до 72% без оказания негативного воздействия на растение-хозяина, может рассматриваться как альтернатива применения чистых эфирных масел как биопрепаратов [6].

### Выводы

Проведенные нами исследования показали, что гидролат *M. citriodora* в концентрированном виде и разведениях 1:1–1:4 не проявляет заметного ингибирующего действия на рост *A. alternata*, что свидетельствует о низкой концентрации активных антифунгальных компонентов в водной фазе дистилляции.

Эфирное масло обладает выраженным действием *in vitro* против изолята *A. alternata*. Полное подавление роста мицелия микоагента наблюдается при применении эссенциального масла в виде концентрата и разведении от 1:25 до 1:50. Установленные эффекты объясняются присутствием в эфирном масле в качестве мажорных компонентов фенолов – тимола (62,84%) и карвакрола (7,20%), что определяет его высокую фунгицидную/фунгистатическую активность.

При полевом применении эфирного масла в разведении 1:25 на пораженных растениях *M. didyma* и *M. fistulosa* существенного подавления развития микокомплекса с преобладанием *G. biocellatus* не отмечено, однако выявлена выраженная фитотоксичность, проявляющаяся в виде хлороза, усыхания и опадения листьев.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности эфирного масла *M. citriodora* как потенциального биофунгицида против *A. alternata* в контролируемых условиях, однако для практического применения в полевых условиях необходима дальнейшая оптимизация композиций (эмульсии, наноэмульсии, комбинированные препараты) с целью минимизации фитотоксического действия при сохранении антифунгальной активности.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР «Совершенствование приемов селекции и паспортизации некоторых сельскохозяйственных культур с использованием анатомических, цитологических исследований и генетических маркеров» (FNNS-2024-0004).

Анализ компонентного состава эфирного масла *M. citriodora* был выполнен на базе Центра коллективного пользования «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ЦКП ФБИ РО) ФГБУН «НБС-ННЦ».

### Список литературы

1. Лысак В.В., Желдакова Р.А., Фомина О.В. Микробиология. Практикум: пособие. – Минск: БГУ, 2015. – 115 с.
2. Булавин И.В., Солдатов Д.К., Феськов С.А. Структурные и генетические аспекты взаимодействия некоторых представителей рода *Monarda* с микоагентами // Международная научная конференция молодых ученых «Современные проблемы экспериментальной ботаники»: сборник материалов (г. Минск, Браслав, 16–18 сентября 2025 г.). – Минск: «ИВЦ Минфина», 2025. – С. 242–244.
3. *Российские рекомендации*. Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам. Версия 2024-02. – Смоленск: МАКМАХ, СГМУ, 2024. – 192 с.
4. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: ИПП «Офсет», 2008. – 969 с.
5. Шевчук О.М., Исиков В.П., Логвиненко Л.А. Методологические и методические аспекты интродукции и селекции ароматических и лекарственных растений / под ред. Ю.В. Плугатаря. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 140 с.
6. Abbasi A.T., Ebrahimi L., Farzaneh M. Antifungal efficacy of plant essential oil nanoemulsions against cucumber powdery mildew // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – Art. 40291. DOI: 10.1038/s41598-025-24039-y
7. Adams R.P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography, mass spectrometry, 4th edition. Carol Stream: Allured Pub. Corp., 2007. – 804 p.
8. Boyraz N., Özcan M. Inhibition of phytopathogenic fungi by essential oil, hydrosol, ground material and extract of summer savory (*Satureja hortensis* L.) growing wild in Turkey // *International journal of food microbiology*. – 2006. – Vol. 107, No. 3. – P. 238–242. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.10.002.
9. Chen C., Liu L., Tang S., Li D., Dai C. Antifungal activity of natural thymol: Advances on molecular mechanisms and therapeutic potential // *Biomolecules*. – 2026. – Vol. 16, No. 1. – Art. 149. DOI: 10.3390/biom16010149.
10. D'Amato S., Serio A., López C.C., Paparella A. Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications // *Food Control*. – 2018. – Vol. 86. – P. 126–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.10.030>
11. Deepika, Singh A., Chaudhari A.K., Das S., Dubey N.K. Nanoencapsulated *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. essential oil as potential antifungal and antiaflatoxigenic agent against deterioration of stored functional foods // *Journal of Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 57, No. 8. – P. 2863–2876. DOI: 10.1007/s13197-020-04318-4.
12. Di Vito M., Bellardi M.G., Mondello F., Modesto M., Michelozzi M., Bugli F., Sanguinetti M., Sclocchi M.C., Sebastiani M.L., Biffi S., Barbanti L., Mattarelli P. *Monarda citriodora* hydrolate vs essential oil comparison in several anti-microbial applications // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 128. – P. 206–212. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.11.007.
13. Jung K.W., Chung M.S., Bai H.W., Chung B.Y., Lee S. Investigation of antifungal mechanisms of thymol in the human fungal pathogen, *Cryptococcus neoformans* // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, No. 11. – Art. 3476. DOI: 10.3390/molecules26113476.
14. Kapustová M., Granata G., Napoli E., Puškárová A., Bučková M., Pangallo D., Geraci C. Nanoencapsulated essential oils with enhanced antifungal activity for potential application on agri-food, material and environmental fields // *Antibiotics*. – 2021. – Vol. 10, No. 1. – Art. 31. DOI: 10.3390/antibiotics10010031.

15. Kim W.Y., Park S.G., Park H.K. Antimicrobial composition comprising *Filobasidium*-suppressing agent derived from natural substance: patent No. 9801920 US. Date of patent: Oct. 31, 2017.

16. Koščak L., Lamovšek J., Dermić E., Godena S. The antibacterial effect of selected essential oils and their bioactive constituents on *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*: Phytotoxic properties and potential for future olive disease control // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, No. 11. – Art. 2735. DOI: 10.3390/microorganisms11112735.

17. Liu Q., Qiao K., Zhang S. Potential of a small molecule carvacrol in management of vegetable diseases // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, No. 10. – Art. 1932. DOI: 10.3390/molecules24101932.

18. Magoye E., Hilber-Bodmer M., Pfister M., Freimoser F.M. Unconventional yeasts are tolerant to common antifungals, and *Aureobasidium pullulans* has low baseline sensitivity to captan, cyprodinil, and difenoconazole // *Antibiotics*. – 2020. – Vol. 9, No. 9. – Art. 602. DOI: 10.3390/antibiotics9090602.

19. Matić S., Tabone G., Garibaldi A., Gullino M.L. *Alternaria* leaf spot caused by *Alternaria* species: an emerging problem on ornamental plants in Italy // *Plant Disease*. – 2020. – Vol. 104, No. 8. – P. 2275–2287. DOI: 10.1094/PDIS-02-20-0399-RE.

20. Miladi H., Zmantar T., Kouidhi B., Al Qurashi Y.M.A., Bakhrouf A., Chaabouni Y., Mahdouani K., Chaieb K. Synergistic effect of eugenol, carvacrol, thymol, *p*-cymene and  $\gamma$ -terpinene on inhibition of drug resistance and biofilm formation of oral bacteria // *Microbial Pathogenesis*. – 2017. – Vol. 112. – P. 156–163. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.09.057.

21. Nazzaro F., Fratianni F., Coppola R., De Feo V. Essential oils and antifungal activity // *Pharmaceuticals*. – 2017. – Vol. 10, No. 4. – Art. 86. DOI: 10.3390/ph10040086.

22. Németh M.Z., Mizuno Y., Kobayashi H., Seress D., Shishido N., Kimura Y., Takamatsu S., Suzuki T., Takikawa Y., Kakutani K., Matsuda Y., Kiss L., Nonomura T. *Ampelomyces* strains isolated from diverse powdery mildew hosts in Japan: Their phylogeny and mycoparasitic activity, including timing and quantifying mycoparasitism of *Pseudoidium neolycopersici* on tomato // *PLoS One*. – 2021. – Vol. 16, No. 5. – e0251444. DOI: 10.1371/journal.pone.0251444.

23. Rao A., Zhang Y., Muend S., Rao R. Mechanism of antifungal activity of terpenoid phenols resembles calcium stress and inhibition of the TOR pathway // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. – 2010. – Vol. 54, No. 12. – P. 5062–5069. DOI: 10.1128/AAC.01050-10.

24. Sarkhosh A., Schaffer B., Vargas A.I., Palmateer A.J., Lopez P., Soleymani A. *In vitro* evaluation of eight plant essential oils for controlling *Colletotrichum*, *Botryosphaeria*, *Fusarium* and *Phytophthora* fruit rots of avocado, mango and papaya // *Plant Protection Science*. – 2018. – Vol. 54, No. 3. – P. 153–162. DOI: 10.17221/49/2017-PPS.

25. Soylu E.M., Kurt Ş., Soylu S. *In vitro* and *in vivo* antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea* // *International journal of food microbiology*. – 2010. – Vol. 143, No. 3. – P. 183–189.

26. Thambi N.P., Sharma M., Gochar R., Katoch M. *Alternaria* sp., a new pathogen causing leaf spot in broccoli, and its management with *Monarda citriodora* essential oil (MEO) and isoeugenol combination // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. – 2024. – Vol. 131. – Art. 102293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2024.102293>.

27. Wang F., Saito S., Michailides T.J., Xiao C.L. Fungicide resistance in *Alternaria alternata* from blueberry in California and its impact on control of *Alternaria* rot // Plant Disease. – 2022. – Vol. 106, No. 5. – P.1446–1453. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1971-RE>.

28. Wani A.R., Yadav K. Chemical characterization, antimicrobial, antiproliferative and antioxidant activities of the essential oil of *Monarda citriodora* growing in Kashmir // International Journal of Pharmaceutical Investigation. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – P. 170–175.

29. Zhao L., Wang J., Zhang H., Wang P, Wang C., Zhou Y., Li H., Yu S., Wu R. Inhibitory effect of carvacrol against *Alternaria alternata* causing goji fruit rot by disrupting the integrity and composition of cell wall // Frontiers in Microbiology. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1139749. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1139749.

*Статья поступила в редакцию 15.12.2025 г.*

**Soldatov D.K., Bulavin I.V., Feskov S.A., Shevchuk O.M. Evaluation of antifungal properties of *Monarda citriodora* hydrolate and essential oil against certain phytopathogens and mycocomplexes // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2026. – № 158. – P. 87–96**

The antifungal activity of the *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. hydrolate and essential oil against an *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. isolate, obtained from infected *Monarda* leaves, as well as mycocomplex, developed on the lateral photosynthetic organs of the essential oil-bearing plants *M. didyma* L. and *M. fistulosa* L., grown in the collection plots of the Nikita Botanical Gardens, was evaluated. In laboratory studies were performed that hydrolat showed no significant inhibitory effect on fungal phytopathogen. The essential oil of the thymol chemotype (thymol 62.84%, carvacrol 7.20%) completely inhibited mycelial growth as concentrate and in the diluted form of 1:25 to 1:50. In the field experiments conducted on *M. didyma* and *M. fistulosa* plants naturally infected with a complex of fungal pathogens, treated the composition, comprising the diluted essential oil (1:25), did not result in a significant reduction in infection development. Phytotoxicity was observed (chlorosis, drying, leaf drop). The high antifungal activity of the essential oil *in vitro* is due to the dominance of phenolic compounds. The results indicate the potential of the essential oil as a biofungicide, provided that formulations are optimized to reduce phytotoxicity.

**Key words:** *lemon beebalm; mycoagent; infection; thymol; carvacrol; antifungal activity; phytotoxicity*