

УДК: 581.135.51:633.8:632.937.31

АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА МОНАРДЫ И ЕГО ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Оксана Михайловна Шевчук¹, Сергей Александрович Феськов¹,
Ольга Константиновна Кустова²

¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru

²ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»
283023, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр-т Ильича, 110

Целью настоящего исследования было выявление связи между антимикробной активностью экстрактов и компонентным составом эфирного масла из растительного сырья *Monarda fistulosa* L., *M. didyma* L. и *M. x hybrida* hort. Установлено, что массовая доля эфирного масла в сухом сырье изучаемых видов составляет 2,49-2,50%, в нем преобладают монотерпеновые фенолы (тимол и карвакрол) и моноциклические монотерпены (γ -терпинен и *p*-цимен). Основными компонентами эфирного масла *M. fistulosa* являются тимол (массовая доля 60,95%) и γ -терпинен (16,6%), *M. didyma* – γ -терпинен (46,18%), тимол (18,73%), *p*-цимен (15,07%), *M. x hybrida* – карвакрол (28,83%), *p*-цимен (22,90%) тимол (22,85%). Результаты исследования антимикробной активности водных и спиртовых экстрактов из растительного сырья изучаемых видов на естественных светящихся бактериях *Aliivibrio fischeri* F1 и рекомбинантном штамме *Escherichia coli* MG1655 (pXen-lux), показали, что высокой антимикробной активностью отличаются экстракты *M. x hybrida*, что, на наш взгляд можно объяснить накоплением в надземной массе данного вида эфирного масла с высоким содержанием тимола и карвакрола, антибактериальный эффект воздействия которых, согласно литературных данным (Лапина и др., 2018; Духанина и др., 2019), заключается в разрушении цитоплазматической мембраны, что повышает ее проницаемость и деполяризует ее потенциал, а также присутствием тимогидрохинона (3,21%), обуславливающего противоопухолевый эффект. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения сырья *M. x hybrida* для создания фитопрепаратов с антимикробным, противовоспалительным, регенерирующим спектром активности.

Ключевые слова: *Monarda* L.; эфирное масло; экстракт; тимол; карвакрол; антимикробная активность

Введение

Растущая устойчивость патогенных микроорганизмов к антибиотикам является серьезной и очевидной мировой проблемой, которая обуславливает актуальность научных исследований по выявлению новых фитопрепаратов с широкой биологической активностью. Эфирные масла (ЭМ) содержат широкий спектр вторичных метаболитов, которые способны ингибировать или замедлять рост бактерий, дрожжей и плесени, обладают активностью, влияя на мембраны и цитоплазмы, а в некоторых случаях могут полностью изменить морфологию клеток. Монотерпены и фенолы, присутствующие в эфирных маслах, обладают заметной противомикробной, противогрибковой и противовирусной активностью (Gutierrez *et al.*, 2008). Большинство эфирных масел оказывают более мощное воздействие на грамположительные бактерии, чем на грамотрицательные виды, и этот эффект, скорее всего, обусловлен различиями в составе клеточных мембран (Nazzaro *et al.*, 2013).

Одними из перспективных лекарственных растений, обладающих высокой экологической пластичностью, с высокой антимикробной активностью, содержащих в надземной массе ценное по компонентному составу эфирное масло, являются представители североамериканского рода *Monarda* L. Лекарственные свойства сырья видов этого рода в значительной степени определяются содержанием в нем

определенных органических соединений. В оценке фармакологического действия препаратов из монарды особое внимание следует обратить на ЭМ, основу которых составляют различные классы терпенов, терпеноидов, фенолов, спиртов и других классов соединений. Основными компонентами ЭМ растений рода *Monarda* являются фенольные монотерпеноиды тимол и карвакрол (изомер тимола), монотерпен *p*-цимен и их производные (Никитина и др., 2018; Speranza *et al.*, 2023).

Результаты исследований Духаниной И.В. и др., а также Speranza В. и др. показали, что спиртовые извлечения из растительного сырья *Monarda fistulosa* тимольного хемотипа, проявили антибактериальную активность по отношению к энтеробактериям (*Escherichia coli* 055, *E. coli* 675, *E. coli* O157:H7) и к бациллам (*Bacillus subtilis* L2, *Bacillus anthracoides*-96), а к стафилококкам (*Staphylococcus aureus* (209), *S. epidermidis* Wood-46, *S. aureus* (Type) это свойство было выражено менее ярко (Духанина и др., 2019; Speranza *et al.*, 2023).

Целью настоящего исследования заключалась в выявлении связи между антимикробной активностью экстрактов и компонентным составом эфирного масла из растительного сырья *Monarda fistulosa* L., *M. didyma* L. и *M. x hybrida* hort.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужило сырье трех видов рода монарда: *Monarda fistulosa* L. (монарда трубчатая) и *M. didyma* L. (м. двойчатая) культивируемых на интродукционно-коллекционном участке Никитского ботанического сада в условиях субтропического климата средиземноморского типа, и *M. x hybrida* hort. (м. гибридная), культивируемая в Донецком ботаническом саду, расположенном в степной зоне с умеренно-континентальным климатом.

Массовую долю эфирного масла определяли в сухом сырье, заготовленном в фазу массового цветения (2021 г.) методом гидродистилляции с использованием аппарата Гинзберга (Шевчук и др., 2022). Компонентный состав эфирных масел определяли 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 °С до 240 °С со скоростью 4 °С/мин. Температура испарителя 250 °С. Газ носитель – гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура переходной линии 250 °С. Температура источника ионов 200 °С. Электронная ионизация 70 eV. 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). Массовая доля компонентов в пробе определена методом процентной нормализации (Ткачев, 2008; Adams, 2007).

Результаты и обсуждение

В результате анализа качественного состава ЭМ у *Monarda didyma* идентифицировано – 27, *M. fistulosa* – 22, *M. x hybrida* – 30 компонентов. Массовая доля эфирного масла в сухом сырье изучаемых видов составляет 2,49-2,50%, в нем преобладают монотерпеновые фенолы (тимол и карвакрол) и моноциклические монотерпены (γ -терпинен и *p*-цимен) (табл.; рис. 1).

Таблица

Компонентный состав эфирных масел видов рода масла *Monarda* L.

Table

Component composition of essential oils of species of the genus of *Monarda* L.

Компоненты	RI	<i>Monarda didyma</i> L.	<i>Monarda fistulosa</i> L.	<i>Monarda x hybrida</i> hort.
		Массовая доля, % / Mass fraction, %		
(Z)-3-гексен-1-ол	855	0,05±0,01	0,03±0,01	-
α-туен	934	1,93±0,05	1,20±0,06	1,05±0,04
α-пинен	945	0,47±0,02	0,32±0,03	0,24±0,05
камфен	962	0,07±0,01	-	0,04±0,02
β-пинен	975	-	-	0,09±0,01
1-октен-3-ол	977	3,88±0,06	0,93±0,04	4,74±0,07
3-октанон	982	0,23±0,01	-	0,12±0,02
β-мирцен	990	2,73±0,03	1,88±0,06	0,80±0,03
3-октанол	993	0,26±0,04	-	0,21±0,01
α-фелландрен	1011	0,36±0,03	0,28±0,02	0,19±0,03
3-карен	1017	0,13±0,01	0,10±0,01	0,12±0,01
α-терпинен	1023	5,70±0,07	3,27±0,05	3,44±0,06
<i>p</i> -цимен	1029	15,07±1,75	5,40±0,24	22,90±1,00
лимонен	1035	0,84±0,01	0,61±0,01	1,14±0,1
β-оцимен	1047	0,08±0,01	0,05±0,001	-
γ-терпинен	1064	46,18±2,58	16,60±1,70	2,93±0,30
<i>цис</i> -сабинен гидрат	1072	0,66±0,02	0,88±0,07	1,330,05
1-нонен-3-ол	1076	0,03±0,01	-	0,050,01
α-терпинолен	1088	0,09±0,09	-	0,050,02
линалоол	1096	-	-	0,68±0,02
<i>транс</i> -сабинен гидрат	1099	0,10±0,01	0,14±0,02	0,23±0,01
эндоборнеол	1176	0,08±0,01	0,12±0,01	0,14±0,02
терпинен-4-ол	1184	0,51±0,02	0,45±0,02	0,70±0,01
α-терпинеол	1196	0,07±0,01	0,12±0,01	0,14±0,01
метил карвакрол	1231	-	-	2,88±0,08
тимол	1292	18,73±3,00	60,95±2,90	22,85±1,50
карвакрол	1300	1,10±0,06	5,78±0,08	28,83±1,10
β-кариофиллен	1434	0,32±0,02	0,32±0,02	0,26±0,02
гермакрен D	1494	0,31±0,01	0,56±0,01	0,28±0,01
β-боурбонен	1500	-	-	0,03±0,01
α-фарнезен	1506	0,03±0,01	-	-
тимогидрохинон	1522	-	-	3,21±0,05
δ-кадинен	1527	-	0,05±0,01	0,03±0,01
Идентифицировано компонентов, % Identified components, %		100	100	93,7
Массовая доля эфирного масла на абсолютно сухой вес, % Mass fraction of essential oil on dry weight, %		2,49±0,26	2,50±0,25	2,50±0,24

Было выявлено, что в ЭМ *M. fistulosa* сумма фенолов составляла 19,83%, а основными компонентами являлись тимол 60,95% и γ-терпинен 16,60%. В минорном количестве обнаружены карвакрол 5,78% и *p*-цимен 5,40%. У *M. didyma* сумма фенольных соединений составила 66,73%, доминирующее положение занимали γ-терпинен (46,18%), тимол (18,73%) и *p*-цимен (15,07%) (таблица; рис. 1). У *M. x hybrida* сумма фенолов в эфирном масле составляет до 54,56% (массовая доля карвакрол 28,83% и тимол 22,85), а также монотерпен *p*-цимен 22,90%. Известно, что присутствующий в ЭМ тимогидрохинон (до 3,21%) обладает антибактериальным, противовоспалительным, противогрибковым и противораковым действием (Mohamed, 2005; Гавриченко и др., 2022; Sovova *et al.*, 2015).

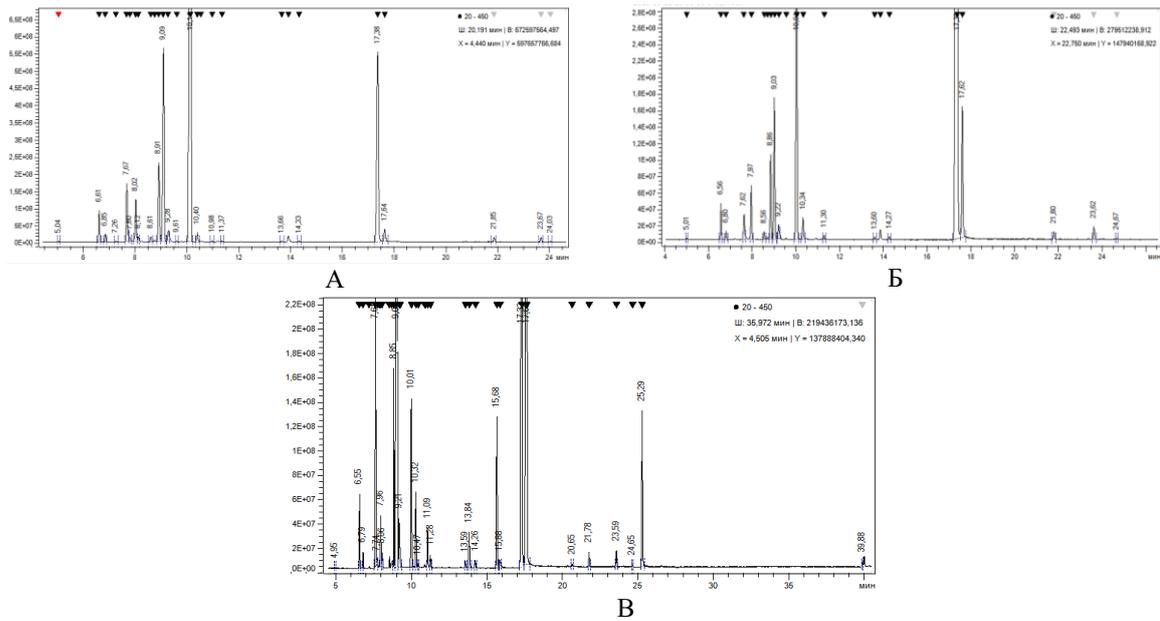
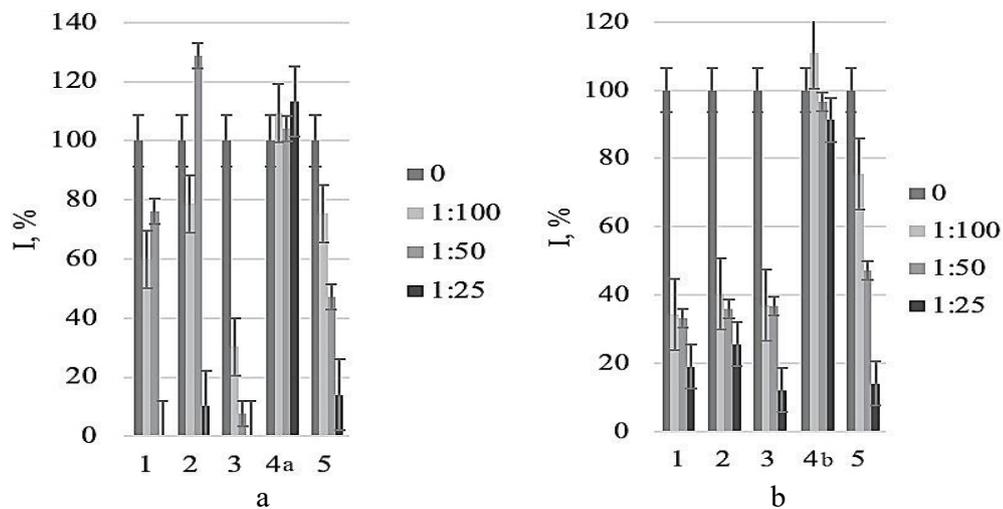


Рис. 1 Хроматографический профиль: А - *Monarda didyma* L., Б – *M. fistulosa* L., В - *M. x hybrida* hort.
 Fig. 1 Chromatographic profile А - *Monarda didyma* L., Б – *M. fistulosa* L., В - *M. x hybrida* hort.

Высокая антибактериальная активность видов рода Монарда подтверждается научными работами (Burt *et al.*, 2007; Никитина и др., 2018; Гавриченко и др., 2022, Xu *et al.*, 2008; Speranza *et al.*, 2023).



1 – *Monarda fistulosa* L.; 2 – *Monarda didyma* L.; 3 – *Monarda x hybrida* hort.;
 4 а – вода; 4 б – спирт этиловый 70%; 5 – гентамицина сульфат

Рис. 2 Зависимость активности биолюминесценции штамма *Aliivibrio fischeri* F1 от концентрации водных (а) и спиртовых (б) экстрактов из растительного сырья (Гавриченко и др., 2022).

1 – *Monarda fistulosa* L.; 2 – *Monarda didyma* L.; 3 – *Monarda x hybrida* hort.;
 4 а – вода; 4 б – этил спирт 70%; 5 – гентамицин сульфат

Fig. 2 Dependence of the bioluminescence intensity of the strain (*Aliivibrio fischeri* F1) on the dilution of aqueous (a) and alcoholic (b) extracts from plant materials

Проведенное ранее изучение воздействия водных и спиртовых экстрактов исследуемых видов монарды на природные светящиеся бактерии *Aliivibrio fischeri* F1 и рекомбинантный штамм *Escherichia coli* MG1655 (pXen-lux) показало, что обработка бактериальных культур экстрактами монарды трубчатой и монарды двойчатой снижает их биолюминесценцию на 50%.

Выявленный эффект возрастает при использовании разведения 1:25. Установлено, что экстракт монарды гибридной в разведении 1:100 обладает аналогичным действием (см. рис. 2-а) (Гавриченко и др., 2022). Спиртовые экстракты отличаются более высокой биологической активностью по отношению к *A. fischeri*, о чем свидетельствует ингибирование биолюминесценции бактерий на 50% и более (см. рис. 2-б). При максимальном разведении (1:100) данные экстракты снижали биолюминесценцию более чем на 75% (в сравнении: контроль – 25%).

Обработка водными экстрактами *M. fistulosa* и *M. didyma*, в разведении 1:25, снижали биолюминесценцию генно-инженерного тест-штамма *E. coli* (Xen: lux) на 50%. При использовании водного экстракта *M. didyma* в разведении 1:50 этот эффект сохранялся (рис. 3-а).

Спиртовые экстракты из растительного сырья видов рода монарда, как и в предыдущем случае, снижали интенсивность люминесценции более чем на 50% при максимальном разведении 1:100 (см. рис. 3-б) (Гавриченко и др., 2022). Таким образом, установлено, что спиртовые экстракты (с использованием 70% этилового спирта) более эффективны в извлечении биологически активных веществ, обладающих антимикробной активностью.

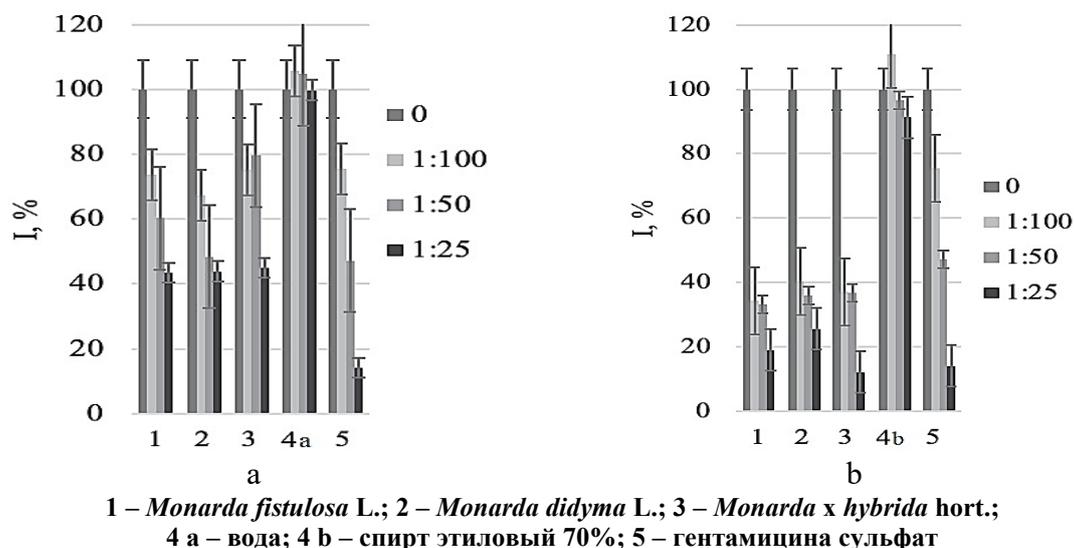


Рис. 3 Зависимость интенсивности биолюминесценции штамма *Escherichia coli* (Xen: lux) от разведения водных (а) и спиртовых (б) извлечений из растительного сырья (Гавриченко и др., 2022)

1 – *Monarda fistulosa* L.; 2 – *Monarda didyma* L.; 3 – *Monarda x hybrida hort.*;

Fig. 3 Dependence of the bioluminescence intensity of the *Escherichia coli* strain (Xen: lux) on the dilution of aqueous (a) and alcoholic (b) extracts from plant materials (Gavrichenko et al., 2022)

4 a – water; 4 b – ethyl alcohol 70%; 5 – gentamicin sulfate.

Проведенные исследования позволяют говорить о сильном ингибирующем действии как у водного, так и спиртового экстракта *M. x hybrida* что, на наш взгляд, связано с накоплением в надземной массе эфирного масла с высоким содержанием фенолов карвакрола (28,83%) и тимола (22,85%), а также монотерпена *p*-цимен (22,90%). Присутствующий в ЭМ тимогидрохинон до 3,21%, так же обладает антибактериальным, противовоспалительным, противогрибковым и противораковым действием (Гавриченко и др., 2022; Mohamed, 2005; Sovova et al., 2015). Необходимо

отметить, что экстаркты из монарды трубчатой и монарды двойчатой оказывали умеренную ингибирующую активность. С нашей точки зрения это связано с тем, что в составе эфирного масла этих видов, карвакрол либо отсутствовал, либо обнаруживался в минорном количестве.

Из научной литературы известно, что тимол и карвакрол обладают противомикробной и противогрибковой активностью, а также противовоспалительным, антиоксидантным, антимуtagenным, ларвицидным, анальгетическим и радиозащитным действием, применяются в стоматологии в качестве дезинфицирующего средства (Aznar *et al.*, 2015; Никитина и др., 2018, Духанина и др., 2019). Кроме того, эти вещества рассматривают в качестве альтернативных противомикробных средств против устойчивых к антибиотикам патогенных бактерий, а также в качестве возможного пищевого консерванта или компонентов полимерных пленок для антимикробной упаковки пищевых продуктов (Sobotta, 2019). Ряд авторов отмечает, что тимол и *p*-цимен оказывают противовирусное, антиоксидантное и противоопухолевое действие (Aeschbach *et al.*, 1994, Mastelic *et al.*, 2008; Ose *et al.*, 2020); а карвакрол и тимол обладают противоопухолевой активностью по отношению к плоскоклеточному раку полости рта (Mehdi *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2021). Компонент γ -терпинен является молекулой-предшественником как тимолола, так и карвакрола, для него установлена способность подавлять развитие глистных и простейших инфекций. В литературных источниках есть информация о том, что γ -терпинен обладает противовоспалительными свойствами, сходными с карвакролом и тимолом, но за счет другого механизма (Soković *et al.*, 2010). Создание эффективных и мягко действующих фитопрепаратов с антимикробным, противовоспалительным, регенерирующим спектром активности актуально для стоматологической, дерматологической практики (Кисленко и др., 2011; Лапина и др., 2018; Духанина и др., 2019).

Как правило, грамположительные и грамотрицательные бактерии по-разному восприимчивы к действию эфирного масла из-за структурных различий их клеточной стенки (Nazzaro *et al.*, 2020). Структура клеточной стенки грамположительных бактерий позволяет гидрофобным молекулам легко проникать в клетки и действовать как на клеточную стенку, так и внутри цитоплазмы. Фенольные соединения, присутствующие в эфирных маслах, обычно проявляют противомикробную активность в отношении грамположительных бактерий. Их эффект зависит от количества присутствующих соединений, в низких концентрациях они могут вмешиваться в работу ферментов, участвующих в производстве энергии, а в более высоких – денатурировать белки (Tiwari *et al.*, 2009).

Механизмы действия эфирных масел зависят от их химического состава. Например, тимол и карвакрол обладают сходным антимикробным действием, а также противомикробными и противогрибковыми свойствами, но имеют разные механизмы действия против грамположительных и грамотрицательных бактерий. Тимол структурно аналогичен карвакролу, но расположение гидроксильных групп этих двух молекул различается. Однако эти различия не оказывают влияние на их противомикробную активность (Dorman, Deans, 2000).

Карвакрол и тимол – это изомерные фенольные соединения, а *p*-цимен представляет собой циклогексан, который является предшественником (La Stora *et al.*, 2011). Гидроксильная группа увеличивает их гидрофильную способность, что приводит к разрушению цитоплазматической мембраны, повышает ее проницаемость и деполаризует ее потенциал (Sikkema *et al.*, 1995; Nychas, 1995; Ultee *et al.*, 1999; Lambert *et al.*, 2001; Aznar *et al.*, 2015; Nazzaro *et al.*, 2013).

Тимол и карвакрол эффективен как против грамположительных, так и грамотрицательных бактерий (La Stora *et al.*, 2011; Thosar *et al.*, 2013). Тосар (Thosar) с

соавторами протестировали различные эфирные масла, богатые фенолами, и выявили их эффективность по отношению к *E. coli* (Thosar *et al.*, 2013). Было проведено несколько исследований по изучению влияния карвакрола, экстрагированного из разных видов тимьяна, на различные штаммы бактерий. Установлено, что карвакрольный хемотип *Thymus vulgaris* L., проявляет сильную антибактериальную активность против нескольких штаммов бактерий, включая *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* (Chami *et al.*, 2005, Soković *et al.*, 2010; Mehdi *et al.*, 2011).

Полученные нами результаты согласуются с данными Шутовой А.Г., которая установила, что фенольные соединения тимола и карвакрола, содержащиеся в эфирном масле *M. fistulosa*, характеризуются наибольшей антирадикальной активностью. При этом их ранжирование по уровню антирадикальной активности сохранялось как в водной, так и в водно-этанольной среде (Никитина и др., 2018).

Burt S.A. с соавторами продемонстрировали, что терпен *p*-цимен подобен карвакролу, но лишен гидроксильных групп, он также может снижать мембранный потенциал, однако для достижения такого же результата, как при использовании карвакрола, необходимы более высокие его концентрации (Ultee *et al.*, 2002; Burt *et al.*, 2007). В тоже время Cristani M. и др. указывают что *p*-цимен не влияет на проницаемость мембраны, но может снижать энтальпию и температуру плавления мембраны (Cristani *et al.*, 2007; Nazzaro *et al.*, 2013).

Некоторые авторы в результате своих исследований показали, что клетки *E. coli*, выращенные в присутствии сублетальной концентрации карвакрола, продуцируют значительно больше GroEL, что свидетельствует о том, что карвакрол усиливает денатурацию белка. Кроме того, карвакрол также ингибировал синтез микробного белка, флагеллина, что приводило к образованию клеток без жгутиков, и, как следствие, снижало их подвижность (Gabel, Berg, 2003; Burt *et al.*, 2007). В ряде работ ученые отмечено, что высокое содержание *p*-цимена и γ -терпинена в эфирном масле различных видов рода *Monarda* снижает бактерицидную активность (Nazzaro *et al.*, 2013).

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что как в водные, так и спиртовые экстракты из растительного сырья *M. x hybrida hort.* обладают высокой антимикробной активностью, в отношении естественных светящихся бактерий *Aliivibrio fischeri* F1 и рекомбинантного штамма *Escherichia coli* MG1655 (pXen-lux). Данный вид характеризуется высоким содержанием в эфирном масле тимола и карвакрола, антибактериальный эффект которых, согласно литературным данным обусловлен способностью этих веществ нарушать целостность цитоплазматической мембраны и увеличивать ее проницаемость (Лапина и др. 2018; Духанина и др. 2019; La Stora *et al.*, 2011). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения сырья *M. x hybrida* для создания фитопрепаратов с антимикробным, противовоспалительным, регенерирующим спектром активности.

Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР «Создание сортов эфиромасличных и лекарственных растений, содержащих значимые для здоровья человека биологически активные вещества, разработка на их основе и испытание средств для улучшения качества жизни человека» (FNNS-2022-0006) и «Интродукционное изучение растений мировой флоры и их полифункциональное использование в степной зоне» (№ 123101300192 – 1)

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН "НБС-ННЦ" (г. Ялта, Россия)

Литература / References

Гавриченко Ю.Ю., Сафронюк С.Л., Кацев А.М., Шевчук О.М., Логвиненко Л.А., Феськов С.А. Скрининг антимикробной активности водных и спиртовых извлечений из растительного сырья с использованием биолюминесцентных бактерий // Вестник Воронежского государственного университета. 2022. № 1. С. 60-69.

[Gavrichenko Yu.Yu., Safronyuk S.L., Katsev A.M., Shevchuk O.M., Logvinenko L.A., Feskov S.A. Screening of antimicrobial activity of aqueous and alcoholic extracts from plant raw materials using bioluminescent bacteria // *Bulletin of the Voronezh State University*. 2022. No.1. P. 60-69.]

Духанина И.В., Никитина А.С., Никитина Н.В., Феськов С.А., Романов В.А. Обоснование антибактериального действия стоматологических гелей на основе *Monarda fistulosa* L. экстракта жидкого // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2019. 22(1). Р. 48-53. doi: 10.29296/25877313-2019-01-07

[Dukhanina I.V., Nikitina A.S., Nikitina N.V., Feskov S.A., Romanov V.A. Justification of the antibacterial action of dental gels based on *Monarda fistulosa* L. liquid extract // *Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2019. 22(1). P. 48-53. DOI: 10.29296/25877313-2019-01-07]

Кисленко В.Н., Реймер В.А., Черемушкина В.А., Высочина Г.И. и др. Некоторые фармакологические свойства монарды дудчатой и солянки холмовой // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2011. Т. 2. № 18. С. 87-91.

[Kislenko V.N., Reimer V.A., Cheremushkina V.A., Vysochina G.I. et al. Some pharmacological properties of *Monarda fistulosa* and *Salsola collina* // *Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*. 2011. Vol. 2. No. 18. P. 87-91.]

Лапина А.С., Варина Н.Р., Куркин В.А., Владимировна А.Е. и др. Монарда дудчатая как перспективный источник получения лекарственных препаратов // Сборник научных трудов ГНБС. 2018. Том 146. С. 175-178.

[Lapina A.S., Varina N.R., Kurkin V.A., Vladimirovna A.E. et al. *Monarda fistulosa* as a promising source for obtaining medicinal products // *Collection of scientific papers of the SNBG*. 2018. Vol. 146. P. 175-178.]

Никитина А.С., Алиев А.М., Феськов С.А., Никитина Н.В. Компонентный состав эфирного масла травы *Monarda fistulosa* L. из коллекции Никитского ботанического сада // Химия растительного сырья. 2018. № 2. С. 55-62. DOI: 10.14258/jcprm.2018023295

[Nikitina A.S., Aliev A.M., Feskov S.A., Nikitina N.V. Component composition of the essential oil of the herb *Monarda fistulosa* L. from the collection of the Nikitsky Botanical Gardens // *Chemistry of plant raw materials*. 2018. No. 2. P. 55-62. DOI: 10.14258/jcprm.2018023295]

Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: «Офсет». 2008. 969 с.

[Tkachev A.V. Study of plant volatiles. Novosibirsk: "Offset", 2008. 969 p.]

Шевчук О.М., Исигов В.П., Логвиненко Л.А. Методологические и методические аспекты интродукции ароматических и лекарственных растений / Под ред. Ю.В. Пругатаря. Симферополь: ИТ «Ареал». 2022. 140 с.

[Shevchuk O.M., Isikov V.P., Logvinenko L.A. Methodological and methodical aspects of the introduction and selection of aromatic and medicinal plants / Ed. Yu.V. Plugatar. Simferopol: Arial, 2022. 140 p.]

Adams R.P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. USA: 4th Edition. Allured Pub. Corp, 2007. 804 p.

Aeschbach R., Loliger J., Scott B.C. Antioxidant actions of thymol, carvacrol, 6-gingerol, zingerone and hydroxytyrosol // *Food and Chemical Toxicology*. 1994. Vol. 1. № 32. P. 31-36.

Aznar A., Fernández P.S., Periago P.M., Palop A. Antimicrobial activity of nisin, thymol, carvacrol and cymene against growth of *Candida lusitanae* // Food Science and Technology International. 2015. Vol. 21. №1. P. 72-79. DOI: 10.1177/1082013213514593

Burt S.A., Van der Zee R., Koets A.P., de Graaff A.M. et al. Carvacrol induces heat shock protein and inhibits synthesis of flagellin in *Escherichia coli* O157:H7 // Appl. Environ. Microbiol. 2007. Vol. 73. № 14. P. 4484-4490. DOI: 10.1128/AEM.00340-07

Chami N., Bennis S., Chami F. Study of anticandidal activity of carvacrol and eugenol in vitro and in vivo // Oral Microbiology and Immunology. 2005. Vol. 2. № 20. P. 106-111.

Cristani M., D'Arrigo M., Mandalari G., Castelli F. et al. Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications for their antibacterial activity // J. Agric. Food Chem. 2007. Vol. 55(15). P. 6300-6308. DOI: 10.1021/jf070094x

Dorman H.J.D., Deans S.G. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils // J. Appl. Microbiol. 2000. Vol. 88. № 2. P. 308-316. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2000.00969.x

Gabel C.V., Berg H.C. The speed of the flagellar rotary motor of *Escherichia coli* varies linearly with proton motive force // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. Vol. 100. № 15. P. 8748-8751. DOI: 10.1073/pnas.1533395100

Gutierrez J., Barry-Ryan C., Bourke P. The anti-microbial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients // Int. J. Food Microbiol. 2008. Vol. 124. № 1. P. 91-97. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2008.02.028

La Storia A., Ercolini D., Marinello F., di Pasqua R., Villani F., Mauriello G. Atomic force microscopy analysis shows surface structure changes in carvacrol-treated bacterial cells // Res. Microbiol. 2011. Vol. 162. № 2. P. 164-172. DOI: 10.1016/j.resmic.2010.11.006

Lambert R.J.W., Skandamis P.N., Coote P.J., Nychas G.J.E. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol // J. Appl. Microbiol. 2001. Vol. 91. № 3. P. 453-462. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2001.01428.x

Liu H., Xu X., Wu R., Bi L., Zhang C., Chen H., Yang Y. Antioral squamous cell carcinoma effects of carvacrol via Inhibiting inflammation, proliferation, and migration related to Nrf2/Keap1 Pathway // Biomed Res Int. 2021. PMID: 34212035. DOI: 10.1155/2021/6616547

Mastelic J., Jerkovic I., Blazevic I. Comparative study on the antioxidant and biological activities of carvacrol, thymol, and eugenol derivatives // J. of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 1. № 56. P. 3989-3996. DOI: 10.1021/jf073272v

Mehdi S.J., Ahmad A., Irshad M. Cytotoxic effect of carvacrol on human cervical cancer cells // Biology and Medicine. 2011. Vol. 2. № 3. P. 307-312. DOI: 10.4172/0974-8369.10000119

Mohamed L.S. Immunomodulatory and therapeutic properties of the *Nigella sativa* L. seed // J. Intern. Immunopharmacology. 2005. №5. P. 1749-1770. DOI: 10.1016/j.intimp.2005.06.008

Nazzaro F., Fratianni F., De Martino L., Coppola R., De Feo V. Effect of essential oils on pathogenic bacteria // Pharmaceuticals. 2013. 6. № 12. P. 1451-1474. DOI: 10.3390/ph6121451

Nazzaro F., Fratianni F., d'Acerno A. et al. Essential oils and microbial communication // Essential Oils – Oils of Nature. London. Intech Open. 2020. P. 1-26. DOI: 10.5772/intechopen.85638.

Nychas G.J.E. Natural antimicrobials from plants // New Methods of Food Preservation / Ed. Gould G.W. London: Blackie Academic Professional. 1995. P. 58-89.

Ose R., Tu J., Schink A., Maxeiner J., Schuster P. et al. Cinnamon extract inhibits allergen-specific immune responses in human and murine allergy models // Clin. Exp. Allergy. 2020. №50. P. 41-50. DOI: 10.1111/cea.13507.

Thosar N., Basak S., Bahadure R.N., Rajurkar M. Antimicrobial efficacy of five essential oils against oral pathogens: An in vitro study // Eur. J. Dent. 2013. 07(S 01). S071-S077. DOI: 10.4103/1305-7456.119078.

Sikkema J., de Bont J.A.M., Poolman B. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons // Microbiol. Rev. 1995. Vol. 59. № 2. P. 201-222. DOI: 10.1128/mr.59.2.201-222.1995

Sobotta L., Lijewski S., Długaszewska J. et al. Photodynamic inactivation of *Enterococcus faecalis* by conjugates of zinc (II) phthalocyanines with thymol and carvacrol loaded into lipid vesicles // Inorganica Chimica Acta. 2019. Vol. 489. P. 180-190. DOI: 10.1016/j.ica.2019.02.031

Soković M., Glamočlija J., Marin P.D., Brkić D., van Griensven L.J. Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model // Molecules. 2010. Vol. 15. P. 7532-7546. DOI: 10.3390/molecules15117532.

Sovova H., Sajfrtova M., Topiar M. Supercritical CO₂ extraction of volatile thymoquinone from *Monarda didyma* and *M. fistulosa* herbs // J. Supercrit. Fluids. 2015. Vol. 105. P. 29-34. DOI: 10.1016/j.supflu.2015.01.004.

Speranza B., Bevilacqua A., Campaniello D., Altieri C. et al. Minimal inhibitory concentrations of thymol and carvacrol: toward a unified statistical approach to find common trends // Microorganisms. 2023. 11. № 7. P. 1774-1786.

DOI: 10.3390/microorganisms11071774

Ultee A., Bennik M.H., Moezelaar R. The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus* // Appl. Environ. Microbiol. 2002. Vol. 68. № 4. P. 1561-1568. DOI: 10.1128/AEM.68.4.1561-1568.2002

Zhang L., Gao F., Ge J., Li H., et al. Potential of aromatic plant-derived essential oils for the control of foodborne bacteria and antibiotic resistance in animal production: A review // Antibiotics. 2022. Vol. 11. P. 1673-1700. DOI: 10.3390/antibiotics11111673.

Статья поступила 30.08.2024 г.

Shevchuk O.M., Feskov S.A., Kustova O.K. Antimicrobial properties of essential oil of the *Monarda L.* and its main components // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2024. № 3 (172). P. 87-96

The purpose of this study was to identify the relationship between the antimicrobial activity of extracts and the component composition of essential oils from plant materials *Monarda fistulosa* L., *M. didyma* L. and *M. x hybrida* hort. It was found that the mass fraction of essential oil in dry raw materials of the studied species is 2.49-2.50%, monoterpene phenols (thymol and carvacrol) and monocyclic monoterpenes (γ -terpinene and *p*-cymene) predominate in it. The main components of the essential oil of *M. fistulosa* are thymol (mass fraction 60.95%) and γ -terpinene (16.6%), *M. didyma* – γ -terpinene (46.18%), thymol (18.73%), *p*-cymene (15.07%), *M. x hybrida* – carvacrol (28.83%), *p*-cymene (22.90%) thymol (22.85%). The results of the study of the antimicrobial activity of aqueous and alcoholic extracts from plant raw materials of the studied species on natural luminous bacteria *Aliivibrio fischeri* F1 and the recombinant strain *Escherichia coli* MG1655 (pXen-lux) showed that *M. x hybrida* extracts have high antimicrobial activity, which, in our opinion, can be explained by the accumulation of essential oil with a high content of thymol and carvacrol in the aboveground mass of this species, the antibacterial effect of which, according to literary data (Lapina et al., 2018; Dukhanina et al., 2019) consists in the destruction of the cytoplasmic membrane, which increases its permeability and depolarizes its potential, as well as the presence of thymohydroquinone (3.21%), which causes the antitumor effect. The obtained results indicate the potential of using *M. x hybrida* raw materials for the creation of herbal preparations with antimicrobial, anti-inflammatory, and regenerative activity.

Key words: *Monarda L.*; essential oil; thymol; carvacrol; antimicrobial activity