

УДК 633.88:582.675.1

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА *MONARDA CITRIODORA* CERV. EX LAG. ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО КРЫМА

Оксана Михайловна Шевчук, Сергей Александрович Феськов,
Наталья Александровна Луцай, Василий Дмитриевич Конобеев

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, м.о. Город-курорт Ялта,
тер. Никитский ботанический сад, зд. 1, стр. 1
E-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru

В статье представлены результаты многолетнего (2021-2024 гг.) интродукционного изучения монарды лимонной (*Monarda citriodora* Cerv. ex Lag.) в условиях умеренно континентального климата Степного Крыма (Северное Присивашье) с целью определения перспективности выращивания данной культуры как источника ценного лекарственного и эфиромасличного сырья. *Monarda citriodora* – однолетнее растение семейства Lamiaceae североамериканского происхождения. Растения выращивали на капельном орошении без минеральных удобрений, изучали особенности, фенологического развития продуктивности надземной массы, динамику содержания и компонентного состава эфирного масла. Выявлено, что в условиях Степного Крыма, вид проходит все фазы развития, вегетационный период составляет 152-163 дня, формирует жизнеспособные семена (всхожесть семян 95%), не повреждается вредителями и фитопатогенам. Средняя урожайность надземной массы составляет $168,6 \pm 19,9$ кг/м². Содержание эфирного масла в надземной массе растений в фазу массового цветения составляет 0,67–0,7% от сырой массы, выход масла – до 1,14 кг/м². Массовая доля мажорных компонентов эфирного масла – тимола (65,95-69,96%) и карвакрола (6,63-8,63%) – позволяют отнести его к тимольному хемотипу. Выявлено, что в эфирном масле из соцветий накапливается больше тимола (в среднем 68,93%) и карвакрола (9,20 %) по сравнению с листьями. Несмотря на контрастные погодные условия периода исследований, химический профиль эфирного масла остается стабильным, что указывает на его генетическую детерминированность. Полученные данные свидетельствуют о перспективности промышленного выращивания *M. citriodora* в степной зоне Крыма как высокоурожайную эфиромасличную культуру с ценным качеством растительного сырья фармакологического направления.

Ключевые слова: Степной Крым; интродукция; *Monarda citriodora*; эфирное масло; компонентный состав; тимол; карвакрол; хемотип; фенология; агрометеорологические условия

Введение

Род *Monarda* L. (семейство Lamiaceae) согласно современным таксономическим базам (POWO, GBIF) данных объединяет около 25 видов, произрастающих преимущественно в Северной Америке. Некоторые представители рода, такие как *Monarda didyma* L., *M. fistulosa* L. и *M. × hybrida* hort., уже продолжительное время культивируются в Европе и Азии в качестве декоративных, лекарственных и эфиромасличных растений [14]. Особый интерес для фармацевтической промышленности представляет *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. (монарда лимонная) – однолетнее травянистое растение, накапливающее в надземной массе эфирное масло с высокой долей фенольных монотерпеноидов [13].

Высокая антибактериальная активность эфирного масла видов рода *Monarda* обусловлена наличием изомерных монотерпеноидных фенолов – тимола и карвакрола [21]. Эти соединения проявляют выраженное антимикробное действие в отношении широкого спектра грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также патогенных микроорганизмов, включая *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Candida albicans* [11, 12, 15, 23]. Совместное действие карвакрола и тимола обуславливает синергетический эффект, при этом отмечено, что резистентность микроорганизмов к эфирному маслу монарды формируется

существенно медленнее по сравнению с традиционными антибиотиками, а у некоторых штаммов, в частности *Staphylococcus aureus*, устойчивость не развивается [7]. Помимо антимикробной активности, эфирное масло *M. citriodora* проявляет антиоксидантные, антисептические и противоопухолевые свойства [20, 23].

Компонентный состав эфирного масла *M. citriodora* вариабелен и зависит от региона культивирования, почвенно-климатических условий и фаз вегетации. В научной литературе описаны два основных хемотипа: тимольный и карвакрольный [24, 17]. В связи с этим особую актуальность приобретает оценка стабильности хемотипа и продуктивности вида при интродукции в новые регионы с иными экологическими условиями.

В Российской Федерации *M. citriodora* культивируется преимущественно как декоративное растение или как пряно-ароматическая культура [2]. Промышленное возделывание монарды лимонной в качестве эфиромасличного сырья фармакологического направления практически отсутствует, хотя Степной Крым обладает значительным потенциалом для выращивания эфиромасличных культур. В связи с этим актуальным представляется оценка перспективности выращивания монарды лимонной в данном регионе на основе всестороннего изучения особенностей развития, динамики основных хозяйственно-ценных признаков (урожайности надземной массы, содержания и компонентного состава эфирного масла).

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2021-2024 гг. на экспериментальных участках Джанкойского интродукционно-карантинного питомника (с. Медведевка Джанкойского района Республики Крым) - отделения ФГБУН «никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН).

Климат в Степном Крыму (Северный Присивашский агроклиматический район) умеренно-континентальный, засушливый, характеризуется неустойчивой умеренно мягкой зимой и умеренно жарким летом. Температура самого теплого месяца (июля) 23,3°C, самого холодного (января) -1,8°C. В июле в полдень температура воздуха поднимается до +27...30°C, в отдельные годы до 40°C. Переход среднесуточной температуры через 5°C, обеспечивающий начало вегетации сельскохозяйственных культур, начинается 29 марта и заканчивается 14 ноября. Период активной вегетации на данной территории – 187 229 дней. Сумма активных температур выше 10° составляет 3300°C. Весенние заморозки на территории района прекращаются в среднем 14 апреля. Первые осенние заморозки проявляются в среднем 21 октября. За вегетационный период выпадает 271 мм осадков [1].

Климатические условия периода исследований существенно различались (табл. 1, рис. 1). Вегетационный период 2021 г. отличался повышенной влажностью: в июне выпало 184,8 мм осадков, средняя температура июля составила +25,7°C. 2022 г. был наиболее засушливым: осадков в июле было всего 19,4 мм и 22,4 мм - в августе при достаточно высокой температуре летних месяцев – +22-24,3°C. 2023 г. характеризовался умеренным увлажнением (максимум 107,1 мм в мае), 2024 г. – самой высокой температурой июля (+27,9°C). Применение капельного орошения нивелировало дефицит осадков.

Минимальная температура на поверхности почвы в апреле в отдельные декады опускалась до -5,5°C (2022 г.), однако после середины апреля оставалась положительной. Отмеченные в отдельные декады 2022 г. и 2024 г. высокие температуры поверхности почвы (до 62,5°C) отражают пиковое прогревание под интенсивной инсоляцией и полностью коррелируют с периодами максимальной температуры воздуха и минимального увлажнения.

Таблица 1
Агрометеорологические показатели районы исследовании (по данным метеостанции Джанкой за 2021-2024 гг. (март-октябрь))

Месяц	2021 г.						2022 г.						2023 г.						2024 г.					
	Температура, °С			Осадки, мм	Температура, °С			Осадки, мм	Температура, °С			Осадки, мм	Температура, °С			Осадки, мм	Температура, °С			Осадки, мм				
	воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)			воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)	Осадки, мм		воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)	Осадки, мм		воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)	Осадки, мм		воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)	Осадки, мм		воздуха средняя, °С	на поверхности почвы (декады)	Осадки, мм	
		I	II	III				I				II				III				I				II
Март	4,0	-	-	39	-7,0	-11,0	-8,7	29,1	7,7	-6,0	-4,2	-3,0	17,6	6,9	-6,5	-3,0	-2,6	4,9						
Апрель	9,7	-2,4	0,2	28,8	-5,5	2,8	-1,5	63,0	11,3	1,0	3,2	3,1	62,0	16,5	0,5	5,0	0,9	5,3						
Май	17,1	1,5	1,5	64,1	2,5	4,7	6,4	40,8	16,1	0,2	1,0	8,0	107,1	16,4	0,6	1,4	59,8*	7,8						
Июнь	20,9	10,5	12,5	184,8	13,8	59,8*	11,0	67,1	21,6	8,5	15,0	12,0	66,6	25,0	11,5	15,0	13,7	36,6						
Июль	25,7	16,8	17,0	90,1	11,6	11,5	13,0	19,4	24,7	14,0	13,0	12,8	101,4	27,9	15,5	18,1	15,0	23,0						
Август	24,7	18,2	14,8	33,6	15,9	17,5	15,0	22,4	25,7	15,8	13,3	14,2	8,1	25,3	14,6	11,6	62,5*	47,2						
Сентябрь	16,4	3,5	6,0	30,7	2,5	6,0	4,1	4,3	20,5	7,0	8,0	8,0	0,4	21,0	14,0	10,6	5,6	55,9						
Октябрь	10,7	5,0	-4,5	35,5*	2,9	-1,8	-1,5	33,4	14,0	0,8	-2,0	3,0	29,2	13,6	7,2	2,5	-0,5	35,6						

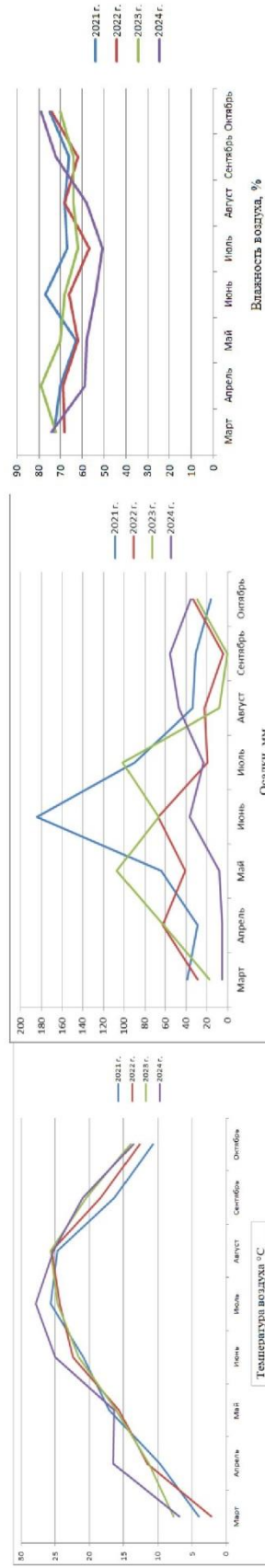


Рисунок 1. – Погодные условия 2021-2024 гг.

Почвы участка - лугово-каштановые в различной степени солонцеватые, с различной глубиной залегания легкорастворимых солей и химизма засоления [5]. Посев семян монарды лимонной проводили в первой декаде апреля, однорядным способом, с междурядьем 70 см, на капельном орошении без внесения минеральных удобрений. Агротехника ухода за насаждениями была общепринятой и включала рыхление почвы, уборку сорняков и 2-х разовый полив в неделю в течении вегетационного полива, без несения удобрений. Сырье срезали на высоте 15 см от поверхности почвы в фазу массового цветения растений. Фенологические наблюдения вели по общепринятым методикам [8]. Массовую долю эфирного масла определяли в свежесобранном растительном материале методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга. Полученное масло хранили в темных флаконах при 4°C. Полученное масло хранили в темных флаконах при 4°C [23]. 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°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 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 [6, 9]. Агрометеорологические показатели описаны по метеостанции Джанкой (табл. 1).

Результаты и обсуждение

При посеве семян монарды в конце марта-начале апреля всходы появляются на 12-20 день (табл. 2, рис. 2). В фазу бутонизации растения вступают в конце июня-начале июля, начало цветения отмечается в начале июля, массовое – со второй половины июля и длится более 60 дней (до конца сентября). В фазу плодоношения растения вступают в конце сентября, созревание семян отмечается во второй декаде октября. Вегетационный период (от массовых всходов до полного созревания семян) составляет 152-163 дня.

Таблица 2

Фенологические фазы развития *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. в условиях Степного Крыма (2021-2024 гг.)

Фаза	Дата и продолжительность фенофаз, дни			
	2021	2022	2023	2024
посев – всходы	05.04-22.04 (17)	06.04-18.04 (12)	03.04-17.04 (14)	29.03-18.04 (20)
всходы – начало вегетации	23.04-11.05 (18)	19.04-29.04 (10)	16.04-08.05 (22)	19.04-13.05 (24)
вегетация	12.05-28.06 (48)	30.04-17.06 (48)	09.05-21.06 (43)	14.05-27.06 (44)
бутонизация	29.06-06.07 (7)	18.06-29.06 (11)	22.06-15.07 (23)	28.06-11.07 (13)
начало цветения	07.07-28.07 (21)	30.06-15.07 (15)	16.07-29.07 (13)	12.07-27.07 (15)
массовое цветение	29.07-29.09 (62)	16.07-20.09 (67)	30.07-30.09 (62)	28.07-27.09 (61)
плодоношения	30.09-21.10 (21)	21.09-14.10 (24)	01.10-21.10 (20)	28.09-18.10 (20)

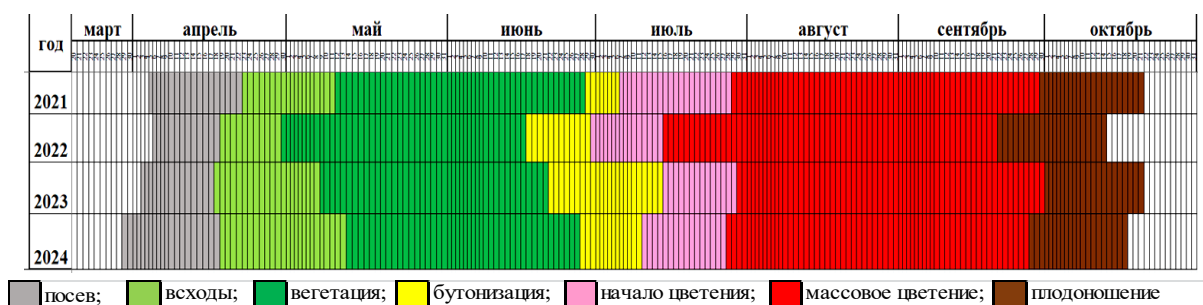


Рис. 2 Фенологический спектр *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. в условиях Степного Крыма (2021-2024 гг.)

Растения монарды лимонной в фазу массового цветения достигают высоты $75,0 \pm 8,25$ см, формирует разветвлённый куст (рис. 3). Листья супротивные, узколанцетные, длиной $8,0 \pm 0,69$ см, шириной $1,2 \pm 0,11$ см, опушённые, по краю зубчато-заострённые. Соцветие - ложная мутовка длиной $24,8 \pm 0,67$ см, состоящая из 5-7 мутовок диаметром 3,5-4 см. Цветки двугубые, трубчатые, собраны по 10-30 в мутовке, венчик лиловый (рис. 3).



А



Б

Рис. 3 *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. в Степном Крыму
А – промышленные плантации, Б - соцветие

Масса 1000 семян составляет от 0,4 до 0,8 г, при этом их всхожесть достигает 95% [4]. Важно отметить, что на протяжении всех четырех лет исследований растения монарды лимонной не поражалась мучнистой росой.

Урожайность надземной массы составляет от 1,42 до 1,85 кг/м² (средняя за годы исследований $1,6,86 \pm 1,99$ т/га). Этот показатель выше, чем в Молдавии (1 кг/м²), но несколько ниже, отмеченных для Республики Адыгея (до 2,5 кг/м²) [7].

В надземной массе растений в период массового цветения накапливается эфирное масло светло-соломенного цвета с пряным горьковатым ароматом и парфюмерной оценкой 4,5 балла. Его содержание колеблется от $0,67 \pm 0,04$ до $0,70 \pm 0,01\%$ от сырой массы ($2,95 \pm 0,02$ – $3,09 \pm 0,02$ в пересчёте на абсолютно сухое вещество) (табл. 2).

Таблица 2

Компонентный состав эфирного масла *Monarda citriodora* Serv. ex Lag. при выращивании в условиях Степного Крыма

№	Компонент	RI	Массовая доля компонента, %											
			2021			2022			2023			2024		
			НМ	Л	С	НМ	Л	С	НМ	Л	С	НМ	Л	С
1	α -туйон	936	0,92	1,36	0,56	0,98	1,12	0,23	0,95	0,81	1,12	1,06	0,72	0,41
2	α -пинен	945	0,26	0,37	0,17	0,27	0,32	0,10	0,25	0,26	0,29	0,33	0,21	0,11
3	1-октен-3-ол	982	1,24	0,83	2,71	1,36	2,02	1,24	1,13	2,05	1,31	0,95	2,05	1,06
4	β -пинен	987	-	0,11	-	0,02	0,08	0,03	0,07	0,06	0,09	0,09	0,08	0,04
5	β -мирцен	994	2,44	3,02	1,62	2,21	2,35	0,85	1,83	1,63	2,16	1,96	1,88	1,34
6	3-октанол	997	-	-	-	0,02	0,10	0,06	0,04	-	0,06	0,03	0,07	0,06
7	октаналь	1005	0,17	-	0,48	0,20	0,32	0,20	0,13	0,39	0,07	0,10	0,55	0,08
8	α -фелландрен	1012	0,33	-	0,14	0,28	0,31	0,13	0,24	0,20	0,35	0,30	0,27	0,21
9	α -терпинен	1024	3,31	4,41	1,79	2,79	3,30	1,44	2,78	1,85	3,40	2,93	2,39	2,27
10	<i>p</i> -цимен	1033	5,80	6,31	5,96	5,83	6,35	3,26	5,67	5,09	5,09	5,28	5,75	3,98
11	D-лимонен	1037	0,60	0,78	0,51	0,51	0,65	0,35	0,54	0,43	0,57	0,63	0,71	0,49
12	γ -терпинен	1067	7,17	9,69	2,09	6,10	8,16	3,54	6,60	2,23	9,08	7,59	2,91	6,06
13	цис-сабинен гидрат	1076	1,26	1,01	1,19	1,02	1,32	1,55	0,94	0,87	1,32	1,21	1,37	1,78
14	линалоол	1103	0,24	0,13	0,22	0,10	0,17	0,10	0,11	0,13	0,23	0,10	0,08	0,28
15	транс-сабинен гидрат	1105	0,24	0,22	0,29	0,22	0,27	0,34	0,21	0,20	0,27	0,18	0,27	0,30
16	endo-борнсол	1176	0,26	0,26	0,30	0,24	0,27	0,29	0,15	0,19	0,22	0,21	0,22	0,25
17	терпинен-4-ол	1186	0,82	0,66	0,95	0,73	0,86	0,94	0,59	0,69	0,59	0,65	0,72	0,68
18	метил карвакрол	1251	0,19	-	0,65	0,42	0,11	0,53	0,33	1,82	0,48	0,25	1,07	0,02
19	тимол	1307	66,92	60,01	70,26	68,28	62,84	72,00	69,96	71,24	64,15	65,95	63,91	69,30
20	карвакрол	1313	6,86	7,57	8,30	7,41	7,20	11,03	6,63	7,39	7,47	8,63	12,45	9,99
21	β -карнофиллен	1430	0,52	1,33	0,98	0,55	0,73	0,51	0,28	1,04	0,70	0,47	0,62	0,36
22	гермакрен D	1490	0,34	0,56	0,06	0,41	0,56	0,26	0,11	0,34	0,60	0,03	0,23	0,37
Монотерпеновые углеводороды			20,83	27,17	12,84	19,05	22,74	10,05	19,12	12,64	22,29	20,31	15,17	15,10
Оксигенированные монотерпеноиды			76,79	70,03	82,29	78,42	73,04	87,23	79,14	82,89	74,96	77,18	80,64	82,76
Сесквитерпеновые углеводороды			0,97	1,97	1,04	0,96	1,38	0,83	0,39	1,38	1,30	0,52	0,93	0,73
Другие, не-терпеноидные соединения			1,41	0,83	3,58	1,56	2,65	1,58	1,34	2,51	1,44	1,08	2,87	1,29
Идентифицированно компонентов, %			100	100	99,75	99,99	99,82	99,69	99,99	99,43	100	99,09	99,60	99,98
Массовая доля эфирного масла:			0,75 \pm 0,03	0,93 \pm 0,04	1,31 \pm 0,01	0,68 \pm 0,01	0,72 \pm 0,04	0,81 \pm 0,02	0,62 \pm 0,03	0,71 \pm 0,02	0,77 \pm 0,03	0,71 \pm 0,04	0,87 \pm 0,10	1,21 \pm 0,10
от сырой массы / на абс. сух. вес, %			3,27 \pm 0,09	4,82 \pm 0,03	4,57 \pm 0,02	2,72 \pm 0,10	3,65 \pm 0,35	3,51 \pm 0,12	2,96 \pm 0,04	3,95 \pm 0,04	3,86 \pm 0,61	3,13 \pm 0,23	4,44 \pm 0,48	4,53 \pm 0,81

• Сокращениями обозначены: RI – индекс удерживания; НМ – надземная масса; Л – листья; С – соцветия

Выход эфирного масла в среднем составляет 11,39 г/м², что существенно превышает данные по Молдавии (до 3,7 г/м²) и Республике Адыгея (до 9,64 г/м²) [4; 7]. В надземной массе идентифицировано 25 компонентов (рис. 4).

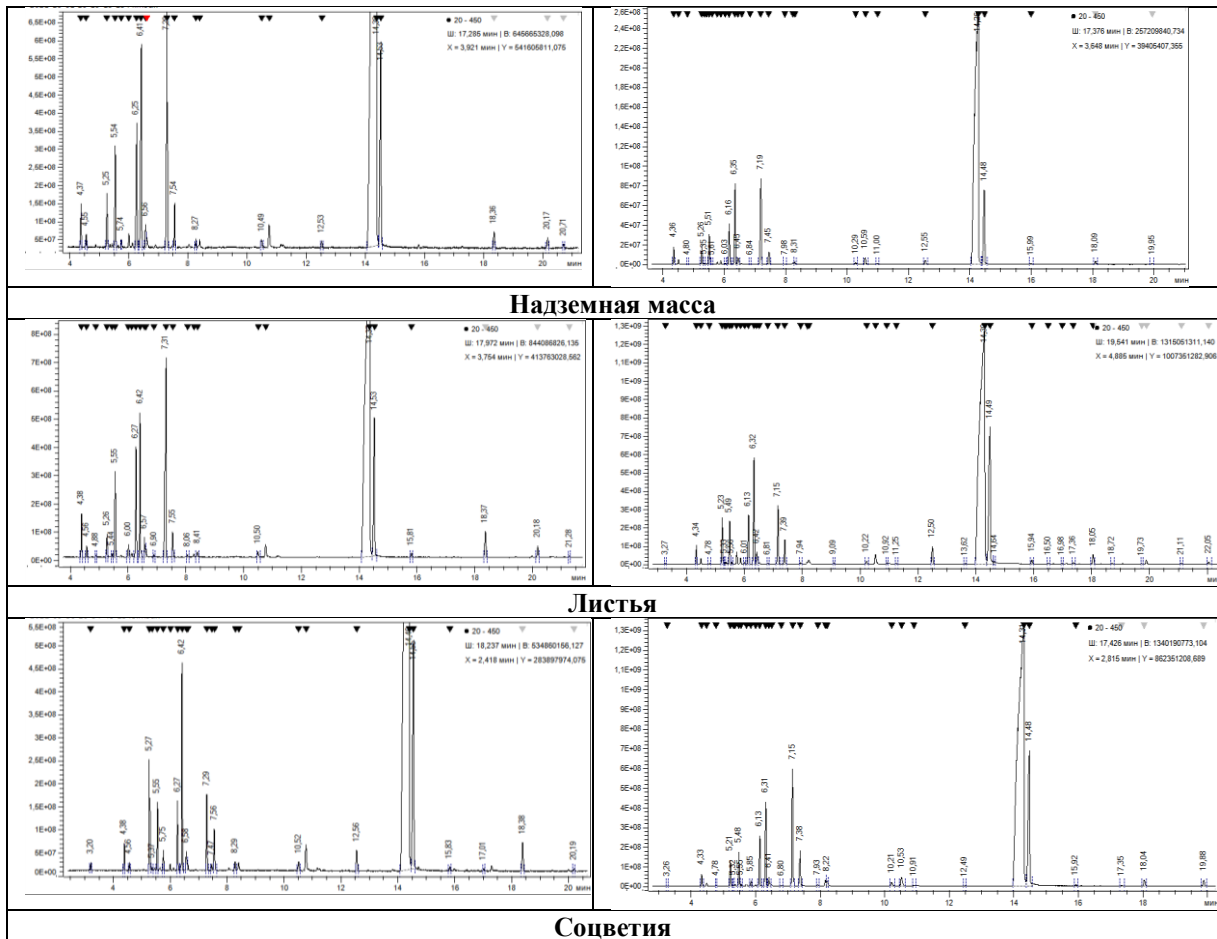


Рис. 4 Хроматографический профиль эфирного масла *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. (2021 и 2024 гг.)

Сумма фенольных монотерпеноидов в эфирном масле из надземной массы растений монарды лимонной составляет 74-76%. Мажорными компонентами являются тимол, массовая доля которого колеблется в пределах 65,95-69,96% и карвакрол (6,63-8,63%). Биосинтетические предшественники тимола и карвакрола - γ -терпинен и p -цимен - присутствуют в количестве 6,10-7,5% и 5,28-5,83% соответственно. Анализ особенностей накопления эфирного масла в разных органах растений выявил существенные различия (см. табл. 2). Максимальное накопление эфирного масла отмечено в соцветиях - до 1,31% от сырой массы (4,5% в пересчете на абсолютно сухое вещество). Полученные данные согласуются с данными других авторов: так, при выращивании в Польше, из сухого сырья соцветий монарды в фазу полного цветения было получено 3,83% эфирного масла и 3,34% - в листьях [14]. Анализ компонентного состава эфирного масла из соцветий по сравнению с таковым в листьях показал более высокое содержание в нем как тимола (64,5-68,93%), так и карвакрола (8,6-9,2%). Аналогичная закономерность была выявлена в условиях Индии: содержание тимола было выше именно в соцветиях, тогда как в листьях и стеблях преобладали его биосинтетические предшественники [16].

Хроматографический профиль эфирного масла монарды лимонной как из надземной массы, так и с других органов растений, стабилен на протяжении всего периода исследований (см. табл. 2), что для данного вида подтверждено и другими исследованиями [24; 12]. Массовая доля основных компонентов, а также стабильность компонентного состава эфирного масла по годам позволяет отнести его к тимольному хемотипу.

Сравнительный анализ компонентного состава эфирного масла монарды лимонной, культивируемой в условиях Степного Крыма, с литературными данными по различным регионам мира, выявил как общие закономерности, так и региональные особенности. Отмечается наибольшее сходство с образцами из Великобритании, где содержание тимола варьирует от 56,9 до 70,6% [10], и Индии, где его доля достигает 82,3% [20]. Похожие показатели зафиксированы также в Молдавии (56,1%) [7] и Ленинградской области РФ (62,4%) [3]. В условиях Египта отмечена сопоставимая вариабельность: доля тимола колеблется от 32,7 до 63,9%, содержание карвакрола – от 6,5 до 29,6% [22]. Иную картину демонстрируют образцы монарды, культивируемой из США (Алабама); здесь тимол и карвакрол присутствуют практически в равных соотношениях (около 38% каждого), формируя смешанный тимольно-карвакрольный хемотип эфирного масла [18]. Другой хемотип выявлен в Китае (провинция Хэйлунцзян): одним из мажорных компонентов в эфирном масле *M. citriodora* помимо тимола (44,6%), является 1,8-цинеол (23,6%), что существенно отличает его от средиземноморских образцов и даёт основание выделить цинеольно-тимольный хемотип [19]. Для итальянского образца (Эмилия-Романья) характерно накопление предшественников биосинтеза тимола и карвакрола: *p*-цимена (15,6%) и γ -терпинена (13,5%), тогда как содержание самих фенолов составляет всего лишь 19,6 и 9,3% соответственно, что, вероятно, является «следствием незавершённого биосинтеза фенолов в местных эколого-географических условиях» [12]. Таким образом, обобщение литературных данных позволяет выделить четыре хемотипа *M. citriodora*: тимольный, тимол-карвакрольный, 1,8-цинеол-тимольный и *p*-цимен- γ -терпиненовый. Наблюдаемая вариабельность компонентного состава эфирного масла обусловлена комплексом факторов, включающих генетические особенности, почвенно-климатические условия и фазу вегетации. Формирование тимольного хемотипа эфирного масла монарды лимонной в условиях Степного Крыма, по-видимому, связано с высокой инсоляцией, продолжительным вегетационным периодом и умеренной засушливостью, что способствует интенсификации и полному завершению синтеза фенольных монотерпеноидов. В противоположность этому, в условиях прохладного климата северного Китая (провинция Хэйлунцзян) доминирующим компонентом выступает 1,8-цинеол, соединение, относящееся к иному биогенетическому пути [19]. Полученные результаты согласуются с литературными данными о влиянии экологических факторов на направленность терпенового метаболизма у представителей семейства Lamiaceae [12, 21, 24].

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

В условиях умеренно-континентального климата степной зоны Крыма (Северное Присивашье) *Monarda citriodora* успешно проходит полный цикл развития, характеризуется длительным периодом массового цветения, формирует жизнеспособные семена (всхожесть 95%), не повреждается болезнями и вредителями.

Показатели продуктивности *M. citriodora* (урожайность надземной массы в среднем за четырехлетний период составляет $1,69 \pm 0,19$ кг/м², выход эфирного масла до 113,9 кг/га) свидетельствуют о высокой хозяйственной ценности культуры.

Компонентный состав эфирного масла характеризуется устойчивым доминированием тимола (65,95-69,96%) при меньшей доле карвакрола (6,63-8,63%) и сохранением стабильных предшественников (γ -терпинен и *p*-цимен), что позволяет отнести его к ценному в фармакологическом отношении тимольному хемотипу.

Выявлены четкие орган-специфические различия: максимальное накопление эфирного масла, тимола и карвакрола происходит в соцветиях, тогда как в листьях преобладают их биосинтетические предшественники. Межгодовая стабильность содержания основных компонентов на фоне значительных колебаний погодных условий подтверждает генетически детерминированный характер формирования тимольного хемотипа в почвенно-климатических условиях Степного Крыма.

Несмотря на широкий диапазон метеорологических факторов в период исследований, урожайность надземной массы и компонентный состав эфирного масла монарды лимонной оставались стабильными, что указывает на высокую экологическую пластичность вида. Высокая инсоляция и продолжительный жаркий и засушливый период Степного Крыма дополнительно усиливают синтез фенольных соединений и, как следствие, увеличивают фармакологическую ценность эфирного масла.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности промышленного выращивания монарды лимонной в степной зоне Крыма как источника тимолсодержащего эфиромасличного сырья для создания фитопрепаратов с высокой антимикробной активностью.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках НИР «Выявление закономерностей синтеза биологически активных веществ как основы создания сортов эфиромасличных и лекарственных растений – источников ценного растительного сырья и средств для улучшения качества жизни человека в рамках реализации программы импортозамещения» (FNNS-2025-0001)

Список литературы

1. Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 136 с.
2. Беспалько Л.В., Пинчук Е.В., Ушакова И.Т. Монарда лимонная (*Monarda citriodora* L.) – ценная пряно-ароматическая овощная культура для открытого и защищенного грунта // Овощи России. – 2018. – № 5. – С. 57-60. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-57-60
3. Вишневецкая О.Е., Шаварда А.Л., Соловьева А.Е., Зверева О.А. Исследование компонентного состава эфирного масла растений рода *Monarda* (Lamiaceae), культивируемых в условиях северо-западного региона // Аграрная Россия. – 2006. – № 6. – С. 60-62.
4. Луцай Н.А., Шевчук О.М., Феськов С.А. Компонентный состав эфирного масла *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. // Ароматические, лекарственные и овощные растения: интродукция, селекция, агротехника, биологически активные вещества, влияние на человека: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Ялта, 26-30 июня 2023 г.). – Симферополь, 2023. – С. 43.
5. Опаасенко Н.Е., Костенко И.В., Евтушенко А.П. Об агроэкологическом районировании Степного и Предгорного Крыма под плодовые культуры на современном этапе // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2014. – Т. 139. – С. 169-178.
6. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. – Новосибирск: Офсет, 2008. – 969 с.

7. Федотов С.В. Эфирные масла монард видов *Monarda fistulosa* L., *Monarda didyma* L., *Monarda citriodora* Cervantes ex Lag., их хемотипы и биологическая активность // Сборник научных трудов ГНБС. – 2015. – Т. 141. – С. 131-147.
8. Шевчук О.М., Исиков В.П., Логвиненко Л.А. Методологические и методические аспекты интродукции ароматических и лекарственных растений / Под ред. Ю.В. Плугатаря. – Симферополь: Ариал, 2022. – 140 с.
9. Adams R.P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. – 4th ed. – USA: Allured Pub. Corp., 2007. – 804 p.
10. Collins J.E., Bishop C.D., Deans S.G., Svoboda K.P. Composition of the Essential Oil from the Leaves and Flowers of *Monarda citriodora* var. *citriodora* Grown in the United Kingdom // Journal of Essential Oil Research. – 1994. – Vol. 6, No. 1. – P. 27-29. DOI: 10.1080/10412905.1994.9698320
11. Deepika, Singh A., Chaudhari A.K., Das S., Dubey N.K. Nanoencapsulated *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. essential oil as potential antifungal and antiaflatoxicogenic agent against deterioration of stored functional foods // Journal of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 57. – P. 2863-2876. DOI: 10.1007/s13197-020-04318-2
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 antimicrobial applications // Industrial Crops and Products. – 2019. – Vol. 128. – P. 206-212. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.11.007
13. Escobar A., Pérez M., Romanelli G., Blustein G. Thymol bioactivity: a review focusing on practical applications // Arabian Journal of Chemistry. – 2020. – Vol. 13, No. 12. – P. 9243-9269.
14. Gontar Ł., Geszprych A., Przybył J., Buła M., Osińska E. Chemical variability of lemon beebalm (*Monarda citriodora* Cerv. ex Lag.) during plant phenology // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. – 2022. – Vol. 31.
15. Grzeszczuk M., Wesółowska A., Stefaniak A. Biological value and essential oil composition of two *Monarda* species // Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. – 2020. – Vol. 19. – P. 105-119.
16. Jeet S., Verma R., Yadav G.K., Bhagat S., Tabassum S., Kumar K., Bhanwaria R. Morphological and phenological characteristic, oil yield, quality and economics of Lemon bee balm (*Monarda citriodora* Cerv. ex-Lag) at diverse environment condition, India // Journal of Essential Oil Bearing Plants. – 2024. – Vol. 27, No. 4. – P. 1079-1101.
17. Lawrence B.M. *Monarda* oil chemistry and distribution of terpenoids // Journal of Essential Oil Research. – 1986. – Vol. 8. – P. 123-130.
18. Lawson S.K., Satyal P., Setzer W.N. The Volatile Phytochemistry of *Monarda* Species Growing in South Alabama // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – P. 482. DOI: 10.3390/plants10030482
19. Lu Z.G., Li X.H., Li W. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil from *Monarda citriodora* flowers // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 183–185. – P. 920-923. Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.183-185.920
20. Pathania A.S., Guru S.K., Verma M.K., Sharma C., Abdullah S.T., Malik F., Chandra S., Katoch M., Bhushan S. Disruption of the PI3K/AKT/mTOR signaling cascade and induction of apoptosis in HL-60 cells by an essential oil from *Monarda citriodora* // Food and Chemical Toxicology. – 2013. – No. 62. – P. 246-254.
21. Rúa J., Del Valle P., de Arriaga D., Fernández-Álvarez L., García-Armesto M.R. Combination of carvacrol and thymol: antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and antioxidant activity // Foodborne Pathogens and Disease. – 2019. – Vol. 16, No. 9. – P. 622-629.

22. Salama A., Sabry R.M., Sharaf Eldin M. Response of the newly introduced plant species *Monarda citriodora* in Egypt to nitrogen fertilization and plant density // International Journal of PharmTech Research. – 2016. – Vol. 9, No. 7. – P. 67-77.

23. Shevchuk O., Sataeva T., Postnikova O., Bakova N., Suslova A. Antimicrobial activity of essential oil of *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 121. – 03015.

24. Werker E., Putievsky E., Ravid U. The essential oil and glandular hairs in different chemotypes of *Monarda citriodora* // Phytochemistry. – 1985. – Vol. 24. – P. 1349-1351.

Статья поступила в редакцию 15.11.2025 г.

Shevchuk O.M., Feskov S.A., Lutsai N.A., Konobeev V.D. Component composition of the essential oil of *Monarda citriodora* Cerv. ex Lag. under cultivation in the conditions of the Steppe Crimea // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2026. – № 158. – P. 97-107

This article presents the results of a multi-year (2021-2024) introduction study of lemon balm (*Monarda citriodora* Cerv. ex Lag.) in the temperate continental climate of the Crimean Steppe (Northern Sivash region) to determine the potential for cultivating this crop as a source of valuable medicinal and essential oil raw materials. *Monarda citriodora* is an annual plant of the Lamiaceae family, native to North America. Plants were grown under drip irrigation without mineral fertilizers. The phenological development of the aboveground mass productivity, as well as the dynamics of the essential oil content and component composition, were studied. It was found that, in the conditions of the Crimean Steppe, the species goes through all stages of development, the vegetation period is 152-163 days, forms viable seeds (seed germination rate of 95%), and is not damaged by pests and phytopathogens. The average yield of the aboveground mass is 168.6 ± 19.9 kg/m². The content of essential oil in the aboveground mass of plants during the mass flowering phase is 0.67–0.7% of the fresh weight, the oil yield is up to 1.14 kg/m². The mass fraction of the major components of the essential oil - thymol (65.95-69.96%) and carvacrol (6.63-8.63%) - allow us to classify it as belonging to the thymol chemotype. It was found that the essential oil from inflorescences accumulates more thymol (on average 68.93%) and carvacrol (9.20%) compared to the leaves. Despite the contrasting weather conditions of the study period, the chemical profile of the essential oil remains stable, which indicates its genetic determination. The data obtained demonstrate the potential for industrial cultivation of *M. citriodora* in the Crimean steppe zone as a high-yielding essential oil crop with valuable pharmaceutical-grade plant material.

Key words: *Crimean steppe; introduction; Monarda citriodora; essential oil; component composition; thymol; carvacrol; chemotype; phenology; agrometeorological conditions*