

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕНЕТИКА РАСТЕНИЙ

УДК: 633.81:581.8:577.21

**МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *MONARDA* В
СВЯЗИ С ПОРАЖАЕМОСТЬЮ МИКОАГЕНТАМИ****Илья Владимирович Булавин^{1,2}, Денис Константинович Солдатов¹,
Сергей Александрович Феськов¹, Оксана Михайловна Шевчук^{1,2}**¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр,
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52²Севастопольский государственный университет,
299053, Республика Крым, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: cellbiolnbs@yandex.ru

Перспективными растениями семейства *Lamiaceae* являются представители рода *Monarda* L. – многолетние и однолетние травянистые растения, в надземной массе которых содержится эфирное масло, характеризующееся высокой биологической эффективностью против микроорганизмов, в частности противогрибковой. При этом отмечается поражаемость микоагентами самой монарды. Отбор устойчивых экземпляров растений в семенной популяции подразумевает структурные и генетические исследования, сведения о которых ограничены. В связи с этим целью нашей работы был сравнительный морфолого-анатомический анализ листовых пластинок *Monarda didyma* L., *M. fistulosa* L., *M. citriodora* Cerv. ex Lag. и определение генетической близости растений. Показано, что листья отличаются между собой морфологически по цвету, форме и размеру. Исследования поверхностных структур листовых пластинок выявили значительное преобладание папилл и пельтатных железок у *M. fistulosa* и *M. didyma*. В структуре листа *M. citriodora* выявили большую развитость кутикулы, более крупные клетки палисады и губчатого мезофилла, что влияло на толщину органов. Указанные различия подтверждаются генетическим анализом. Дендрограмма, построенная по результатам RAPD-ПЦР, показала отдельную кластеризацию *M. citriodora*, в то время как *M. didyma* и *M. fistulosa* имели большие значения генетической близости. На основе полученных результатов и сведений литературы предполагается наличие нескольких механизмов адаптации к внешним факторам, влияющих на степень поражаемости микопатогенами.

Ключевые слова: эфирносы; лист; световая микроскопия; генетическое сходство; RAPD-ПЦР; устойчивость к микопатогенам

Введение

Перспективными эфиромасличными растениями семейства *Lamiaceae*, сырье которых – источник ценного эфирного масла (ЭМ), являются представители рода *Monarda* L., насчитывающего 23 вида, происходящих из Северной Америки (WFO, 2025). В литературе отмечена универсальность использования ЭМ растений в медицине благодаря его мощной биологической активности (Харченко и др., 2015), обусловленной высоким содержанием фенолов (67–89% тимола и карвакрола) (Mastelic et al., 2008; Mehdi et al., 2011). Тимол имеет большую медицинскую ценность, в то время как карвакрол широко используется в качестве пищевой добавки при консервировании благодаря своей пряности. Значительное процентное содержание п-цимена и γ-терпинена в ЭМ монарды негативно сказывается на его запахе и биологических свойствах, делая непригодным для использования в парфюмерной и косметической промышленности (Mastelic et al., 2008; Mehdi et al., 2011). Несмотря на данный факт, ЭМ монарды находит применение в других направлениях. Установлено, что добавление ЭМ *M. didyma* L. и *M. fistulosa* L. в питательную среду в различных концентрациях и его нанесение на бумажные фильтры, помещенные в чашки Петри, ингибирует прорастание спор и рост мицелия возбудителя серой плесени *Botrytis*

cinerea Pers. (Adebayo et al., 2013). Ингибирующее действие ЭМ также показано в отношении *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary и почвенного патогена *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn (Fraternali et al., 2006; Ruark, Shew, 2010). Для растений ЭМ *M. didyma* может проявлять фитотоксическую активность, что актуально в связи с необходимостью разработки биогербицидов, способных контролировать рост сорняков, не создавая рисков для окружающей среды (Ricci et al., 2017).

Несмотря на активность ЭМ представителей рода *Monarda* против микроорганизмов (Fraternali et al., 2006; Ruark, Shew, 2010; Adebayo et al., 2013), сами они подвержены поражению микопатогенами. На органах растений обнаруживаются *Diploplenumdomus*, *Erysiphe*, *Phoma*, *Ophiobolus*, *Alternaria*, что может оказывать негативное влияние на декоративность, продуктивность и фитохимический состав исследуемых видов (Работягов и др., 2010; Исигов, 2016). Определение проявлений устойчивости к микопатогенам на морфолого-анатомическом, биохимическом и генетическом уровне имеет важное значение для селекционного процесса. В литературе имеются сведения о взаимосвязи поверхностных образований, слое кутикулы, устьицах (Sunkad, Kulkarni, 2006; Chattopadhyay et al., 2011; Li et al., 2018; Gupt et al., 2021), строении мезофилла (Li et al., 2018; Kärkliņa et al., 2021; Pshennikova, 2021) с резистентностью к фитомикозам растений. Для представителей рода *Monarda* подобные данные являются весьма ограниченными. На сегодня в сравнительных морфологических исследованиях указываются различия в высоте растений, форме листовой пластинки, ее крае, количестве цветков в соцветии и их окраске (Красюк и др., 2015). Для *M. fistulosa* выявлены анатомо-гистологические признаки листьев и стеблей, описаны их структура на поперечных срезах, трихомы осевых органов с целью диагностики лекарственного сырья (Лапина и др., 2019). Для *M. citriodora* изучены различные типы трихом, их относительная плотность (Sharma et al., 2023). У травы монарды выявлены микроскопические признаки с целью включения их в фармакопею (Красюк, 2020). Ввиду отсутствия комплексного сравнительного анализа представителей рода *Monarda*, целью данного исследования было определение морфолого-анатомических и генетических различий у *M. didyma*, *M. fistulosa* и *M. citriodora* в связи с поражаемостью микопатогенами.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования были три интродуцированных вида рода *Monarda*: *M. didyma* L., *M. fistulosa* L., *M. citriodora* Cerv. ex Lag., произрастающие на коллекционных участках ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» (НБС-ННЦ).

Органы исследуемых растений помещали в чашку Петри или на предметное стекло и исследовали при помощи стереомикроскопа МСП-1 (Ломо, Россия), оснащенного цифровой камерой TourCam E3ISPM12000KPA (TourTek, Китай) и программным обеспечением (ПО) ImageView v. x64, 4.11.20923.20220526. Цвет органов определяли согласно шкале А.С. Бондарцева (1954).

Для исследования поверхности, листовые пластинки отрезали от стебля, покрывали прозрачным лаком, оставляли на 1–3 ч. После высыхания лака, слепок эпидермы снимали препаровальной иглой (Барыкина и др., 2000) и переносили на предметное стекло в каплю воды, накрывали покровным стеклом. Определение количества поверхностных структур проводили на слепках адаксиальной и абаксиальной поверхности 10 разных листьев.

Исследование анатомии проводили на фиксированном материале. Подготовку листовых пластинок осуществляли согласно общепринятым методам (Барыкина и др., 2000) и протоколу, разработанному в лаборатории (Солдатов и др., 2024). Листовые

пластинки растений отрезали, делали высечки из центральной части и переносили их в пенициллиновые флаконы, содержащие раствор формалина, ледяной уксусной кислоты, спирта этилового, воды (1:0,5:5:3,5), каплю Твин-20. Обезвоживание листьев осуществляли в спиртах восходящей концентрации, в качестве промежуточной жидкости использовали толуол. Уплотнение тканей проводили парафином последовательно при комнатной температуре и в термостате Digital Incubator 10L (Domel, Словения) (38, 58°C). Срезы толщиной 12 мкм изготавливали на полуавтоматическом ротационном микротоме Ротмик 2А (ОрионМедик, Россия), наклеивали на предметные стекла, обработанные раствором из белка куриного яйца и глицерина (1:1). Стекла со срезами сушили на нагревательном столике Микростат-30/80 (Техном, Россия), депарафинирование осуществляли толуолом. Окрашивание проводили прогрессивным способом, с применением водного раствора метиленовой сини (0,05%). В качестве монтирующей среды использовали раствор сахарозы (60%) (Барыкина и др., 2000).

Микропрепараты исследовали с применением светового микроскопа CX41 (Olympus, Япония), оснащённого цифровой камерой SC50 (Olympus, Германия) и ПО CellSens Imaging Software v 1.17. Анатомические исследования проводили на 10 разных образцах. Количество клеток – 30.

ДНК выделяли из листьев классическим способом с цетилтриметиламмоний бромидом (2×ЦТАБ) и 2%-ым поливинилпирролидоном (Солдатов и др., 2024). ПЦР проводили с применением набора с HS-Taq (Биолабмикс, Россия). Состав реакционной смеси: 5× ПЦР буфер – 5 мкл; 50× смесь dNTP – 0,25 мкл; 50 mM MgCl₂ – 1,5 мкл; HS-Taq DNA-полимераза, 5 ед. акт./мкл – 0,1 мкл; праймеры серии ОРА1-20 (Синтол, Россия) 20 пмоль – 1 мкл; ДНК-матрица 20 нг – 1 мкл, стерильная вода – 16,15 мкл. Общий объем – 25 мкл. Амплификацию проводили в термоциклере GeneExplorer™ GE-96S (Bioer, Китай). Условия реакции были следующими: начальная денатурация – 95°C (5 мин), денатурация – 95°C (15 с), отжиг – 36°C (20 с), элонгация – 72°C (1 мин) (35 циклов), с итоговой элонгацией при 72°C в течение 10 мин. В качестве маркера молекулярного веса использовали Step 100 Long (Биолабмикс, Россия). Амплифицированные фрагменты анализировали при помощи горизонтального электрофореза в 1,8% агарозном геле с ТБЭ-буфером (0,5×) при 65 В в течение 1 ч с использованием универсального источника питания Эльф-4 (ДНК-технология, Россия). Гель визуализировали с помощью системы документации GenoSens 2250 Touch (Clinx, Китай) и обрабатывали в ПО Image Lab™ версии 6.0 (Bio-Rad, США). Эксперимент повторяли трижды, анализировали воспроизводимые полосы.

Статистический анализ выполняли в ПО Past v. 4.03 (Hammer et al., 2001). Выборки проверяли на нормальность распределения и, в зависимости от полученного результата, использовали либо t-критерий, либо U-тест при $p \leq 0,05$. Табличные данные представлены как среднее арифметическое и его стандартная ошибка ($M \pm m$). Для построения дендрограмм был использован метод невзвешенного парно-группового кластерного анализа с арифметическим усреднением (UPGMA). Для более точной статистической оценки вероятностного распределения был использован анализ бутстрэппинг с числом реплик, равным 1000. Процент повторов, при котором каждый узел поддерживается после многократной генерации выборок, отображается на дендрограмме в соответствующем узле.

Результаты и их обсуждение

Проведен анализ морфологических характеристик листовых пластинок исследуемых видов. Показано, что листья *M. didyma* супротивные, простые, черешковые, овально-ланцетные, желтовато-зеленые (и2 – по шкале А.С. Бондарцева)

на адаксиальной стороне и зеленовато-желтые (с7) – на абаксиальной. Верхушка – острая или заострённая, край – пильчатый, основание – овальное, выемчатое или сердцевидное (рис. 1а, б). Латеральные фотосинтетические органы имеют на поверхности кроющие и железистые трихомы: многоклеточные волоски, папиллы (сосочки), пельтатные и головчатые железы, формирующиеся с обеих сторон. Наибольшая плотность пельтатных железок обнаруживается в области центральной и боковых жилок, а также по краю (рис. 2а, d, g). Отмечается г-образная изогнутость многоклеточных трихом в направлении верхушки листовых пластин. Листья гипостоматические, жилкование перистокраевое.

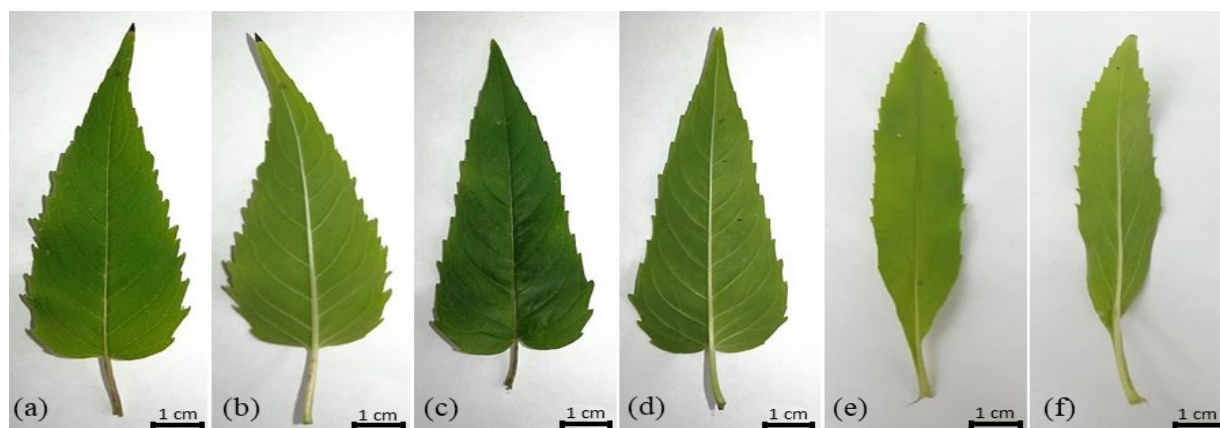


Рис. 1 Снимки листьев *M. didyma* (а, б), *M. fistulosa* (с, d) и *M. citriodora* (е, f)
Fig. 1 Leaf images of *M. didyma* (a, b), *M. fistulosa* (c, d) and *M. citriodora* (e, f)

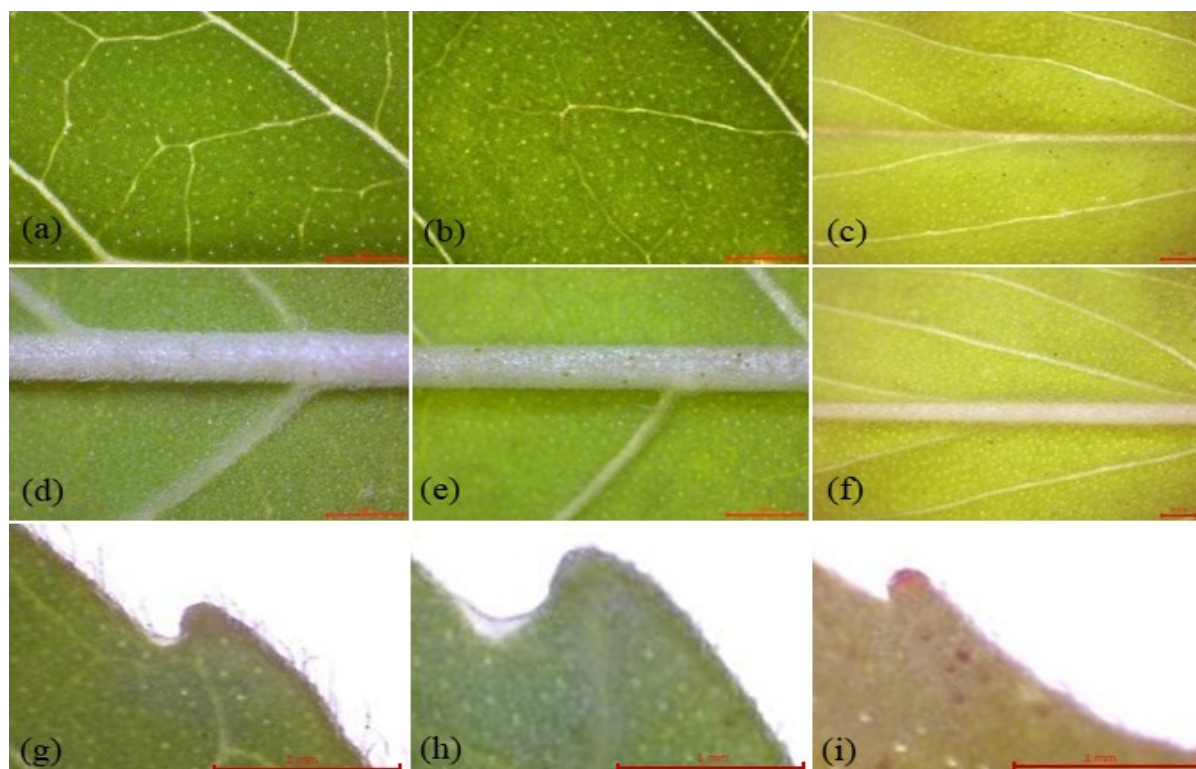


Рис. 2 Снимки адаксиальной (а–с), абаксиальной (d–f) поверхности и края листовых пластинок (g–h) *M. didyma* (a, d, g), *M. fistulosa* (b, e, h) и *M. citriodora* (c, f, i)
Fig. 2 Adaxial (a–c), abaxial (d–f) surface images and leaf margins (g–h) of *M. didyma* (a, d, g), *M. fistulosa* (b, e, h) and *M. citriodora* (c, f, i)

Листья *M. fistulosa* были сходны с таковыми *M. didyma* по расположению, способу прикреплению, цвету абаксиальной поверхности, форме, верхушке, краю, основанию, жилкованию и расположению устьиц. Отличительным признаком был темно-зеленый цвет (ж7) адаксиальной стороны листовой пластинки (рис. 1с, d) и редкие кроющие трихомы только на ее поверхности, с наибольшей концентрацией в области жилок и по краю листа (рис. 2b, e, h).

Характерными признаками листовых пластинок *M. citriodora* были желто-зеленый цвет (и2), ланцетная форма, оттянутое основание (рис. 1е, f) и его цельный край, постепенно переходящий в пильчатый в направлении верхушки листа, относительно редкое опушение (рис. 2с, f, i), амфистоматичность.

Изучены морфометрические показатели листовых пластинок. Наибольшая длина и ширина листа была характерна для *M. fistulosa*, наименьшая – *M. citriodora* (табл. 1). Максимальное количество трихом определено у *M. citriodora* на адаксиальной и абаксиальной поверхности органов, минимальное – у *M. fistulosa*, в то время как папиллы (сосочки) преобладали у *M. fistulosa* и *M. didyma*. Пельтатные железы, суммарно, в большем количестве, отмечали у *M. fistulosa*, *M. didyma* и *M. citriodora*. Наибольшее количество устьиц на нижней стороне листа установлено у *M. didyma*.

Таблица 1

Количественные признаки листовых пластинок и их поверхностных структур представителей рода *Monarda*

Table 1

Leaf blade quantitative characteristics and surface structures of the *Monarda* representatives

Параметр / Parameter		<i>M. didyma</i>	<i>M. fistulosa</i>	<i>M. citriodora</i>
Длина листовой пластинки (см) / Leaf length (cm)		7,58±0,18 ^{bc}	8,38±0,29 ^{ac}	6,58±0,31 ^{ab}
Ширина листовой пластинки (см) / Leaf width (cm)		2,99±0,15 ^{bc}	3,98±0,11 ^{ac}	1,39±0,09 ^{ab}
Трихомы (шт/мм ²) / Trichomes (pcs/mm ²)	Верхняя сторона / Upper side	7,50±0,43 ^b	2,60±0,50 ^{ac}	10,00±1,46 ^b
Папиллы (шт/мм ²) / Papillae (pcs/mm ²)		369,80±49,89	375,20±63,85	— ^{ab}
Пельтатные железы (шт/мм ²) / Peltate glands (pcs/mm ²)		13,70±0,37	17,70±1,74	14,30±0,94
Устьица (шт/мм ²) / Stomata (pcs/mm ²)		— ^c	— ^c	96,40±5,32
Трихомы (шт/мм ²) / Trichomes (pcs/mm ²)	Нижняя сторона / Lower side	3,70±0,47 ^{bc}	1,00±0,30 ^{ac}	39,10±2,92 ^{ab}
Папиллы (шт/мм ²) / Papillae (pcs/mm ²)		613,40±42,05 ^{bc}	892,50±49,71 ^{ac}	— ^{ab}
Пельтатные железы (шт/мм ²) / Peltate glands (pcs/mm ²)		15,70±1,82 ^{bc}	24,30±1,36 ^{ac}	12,20±0,81 ^{ab}
Устьица (шт/мм ²) / Stomata (pcs/mm ²)		146,70±11,65 ^c	134,80±10,14	104,20±12,23 ^a

Примечание: ^a, ^b, ^c – статистически достоверные различия между одинаковыми параметрами в строке.

Note: ^a, ^b, ^c – statistically significant differences between the same parameters in a row.

На поперечных срезах листьев трех видов рода *Monarda* в области центральной жилки дифференцировали эпидерму с кутикулой, несколько субэпидермальных слоев колленхимы в верхней и нижней частях, проводящий закрытый коллатеральный пучок, состоящий из ксилемы и флоэмы, клетки паренхимы (рис. 3а–с).

В боковой части листа (рис. 3d–f) выделяли однорядную верхнюю и нижнюю эпидерму, составленную клетками овально-прямоугольной/прямоугольной формы, покрытые кутикулой, однослойный столбчатый мезофилл, вытянутый в радиальном направлении. Губчатый мезофилл – трех-четырёхслойный. Проанализированы количественные анатомические показатели у листовых пластинок исследуемых видов. Выявлено, что *M. didyma* характеризуется мелкоклеточностью в сравнении с

M. fistulosa и *M. citriodora*, при этом последняя имеет наибольшую толщину листа в боковой части, развитый слой кутикулы, крупные клетки эпидермы и мезофилла (табл. 2).

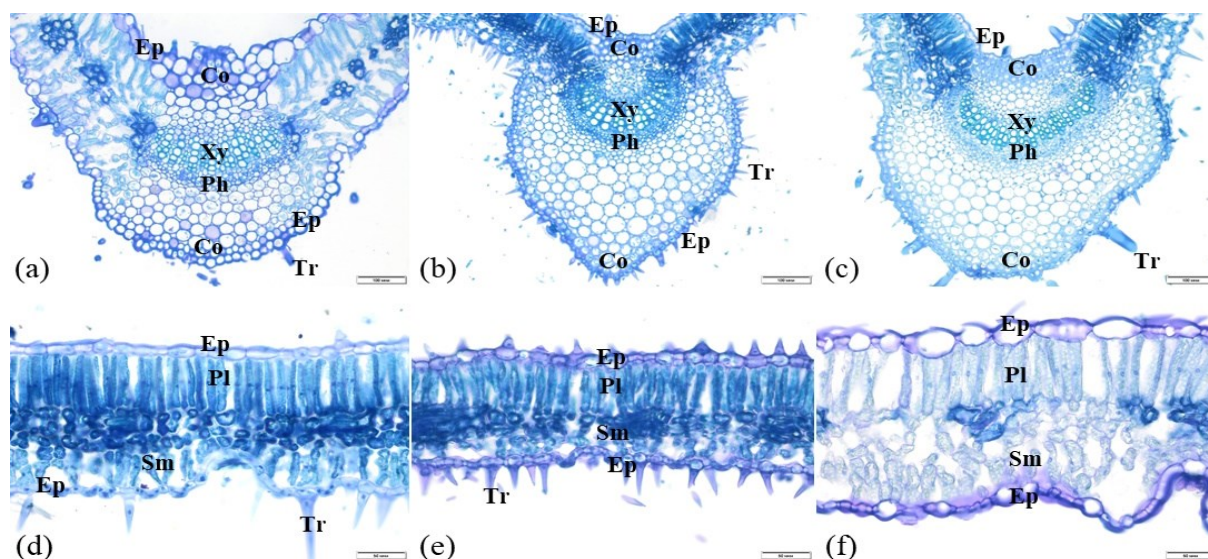


Рис. 3 Поперечные срезы центральной жилки (а–с) и боковой части листа (d–f) *M. didyma* (a, d), *M. fistulosa* (b, e) и *M. citriodora* (c, f). Co – колленхима, Ep – эпидерма, Ph – флоэма, Pl – столбчатый мезофилл, Sm – губчатый мезофилл, Tr – трихом, Xy – ксилема. Световая микроскопия, окрашивание метиленовой синью

Fig. 3 Central vein (a–c) and leaf lateral part cross-sections (d–f) of *M. didyma* (a, d), *M. fistulosa* (b, e), and *M. citriodora* (c, f). Co – collenchyma, Ep – epidermis, Ph – phloem, Pl – palisade, Sm – spongy mesophyll, Tr – trichome, Xy – xylem. Light microscopy, methylene blue staining

Исследование генетического сходства проводили между растениями, выращенными в лабораторных условиях. Для анализа использовали RAPD-праймеры, которые были полиморфными (OPA1, 3, 4, 6, 7, 10–12, 18, 20), давали воспроизводимые полосы в количестве от 1 до 3 (OPA11) в диапазоне от 474 пн (OPA1) до 1566 пн (OPA18) (рис. 4).

Анализ генетической близости показал, что *M. citriodora* формировала отдельный кластер, при этом коэффициент близости с *M. fistulosa* составлял 0,31, с *M. didyma* – 0,28, а между двумя последними видами – 0,69.

В литературе существуют отдельные сведения, посвященные описательной морфологии растений *Monarda* (Красюк, 2020; Цибина, 2020; Dudchenko et al., 2020; Цибина, Куркин, 2021), поверхностных структур их вегетативных и генеративных органов с целью диагностики лекарственного сырья (Лапина и др., 2019) и включения характерных признаков в фармакопею (Красюк, 2020). В нашей работе проведены комплексные морфолого-анатомические и генетические исследования *M. didyma*, *M. fistulosa*, *M. citriodora* в условиях Южного берега Крыма для выявления различий между растениями в связи с поражаемостью микопатогенами. Анализ морфологии листовых пластинок продемонстрировал сходность таковых у *M. didyma* и *M. fistulosa*, сравнительно с *M. citriodora*, латеральные фотосинтетические органы которой резко выделялись как по цвету, так и по форме. Результаты количественного анализа морфологических параметров листовой пластинки изученных видов демонстрируют выраженные видоспецифические различия, которые могут определять адаптивные стратегии растений в условиях интродукции и взаимодействия с биотическими стрессорами. Среди анализируемых объектов *M. fistulosa* выделяется по размеру

листовых пластинок, что согласуется с её описанием как наиболее продуктивного вида в условиях умеренного климата (Dudchenko et al., 2020). Большие размеры листьев могут способствовать усилению фотосинтетической поверхности (Yang et al., 2018), что отражается на габитусе растений.

Таблица 2

Количественные анатомические показатели листовых пластинок представителей рода *Monarda*

Table 2

Quantitative anatomical parameters of leaf blades of *Monarda* representatives

Параметр (мкм, шт) / Parameter (μm, pcs)	<i>M. didyma</i>	<i>M. fistulosa</i>	<i>M. citriodora</i>
Высота центральной жилки / Central vein height	406,86±23,72 ^b	542,92±15,22 ^{ac}	458,80±19,67 ^b
Высота листа в боковой части / Leaf lateral part height	124,55±10,67 ^{bc}	148,66±3,49 ^{ac}	224,76±6,23 ^{ab}
Высота слоя верхней кутикулы / Upper cuticular layer height	4,44±0,40 ^{bc}	4,08±0,19 ^{ac}	5,49±0,46 ^{ab}
Высота слоя нижней кутикулы / Lower cuticular layer height	3,25±0,24 ^{bc}	3,89±0,26 ^{ac}	4,31±0,23 ^{ab}
Высота клеток верхней эпидермы / Upper epidermis cells' height	12,5±0,66 ^{bc}	14,75±0,44 ^{ac}	19,56±0,89 ^{ab}
Ширина клеток верхней эпидермы / Upper epidermis cells' width	22,96±1,38 ^c	23,63±0,86 ^c	38,26±1,86 ^{ab}
Высота клеток нижней эпидермы / Lower epidermis cells' height	9,93±0,54 ^{bc}	11,25±0,46 ^{ac}	18,10±0,81 ^{ab}
Ширина клеток нижней эпидермы / Lower epidermis cells' width	18,60±0,77 ^c	18,05±0,92 ^c	27,74±1,51 ^{ab}
Количество слоев столбчатого мезофилла / Palisade layers' number	1,00±0,00	1,00±0,00	1,00±0,00
Высота клеток столбчатого мезофилла / Palisade cells' height	47,95±1,98 ^{bc}	55,50±0,84 ^{ac}	69,92±2,23 ^{ab}
Ширина клеток столбчатого мезофилла / Palisade cells' width	8,97±0,43 ^c	9,08±0,30 ^c	13,57±0,57 ^{ab}
Высота слоя столбчатого мезофилла / Palisade layer height	52,23±3,11 ^{bc}	56,61±1,35 ^{ac}	73,94±4,49 ^{ab}
Количество слоев губчатого мезофилла / Spongy mesophyll layers' number	3,80±0,13 ^c	3,90±0,10 ^c	3,20±0,13 ^{ab}
Высота клеток губчатого мезофилла / Spongy mesophyll cells' height	7,63±0,40 ^{bc}	11,31±0,29 ^{ac}	14,47±0,69 ^{ab}
Ширина клеток губчатого мезофилла / Spongy mesophyll cells' width	9,61±0,47 ^{bc}	12,30±0,44 ^{ac}	16,20±0,73 ^{ab}
Высота слоев губчатого мезофилла / Spongy mesophyll layers' height	35,96±2,23 ^{bc}	63,83±3,01 ^{ac}	106,33±5,63 ^{ab}

Примечание: ^{a, b, c} – статистически достоверные различия между одинаковыми параметрами в строке.

Note: ^{a, b, c} – statistically significant differences between the same parameters in a row.

Согласно сравнительным характеристикам видов монарды по морфологическим признакам, приведенным в работе Е.В. Красюк (2020), высота растений *M. fistulosa* составляет 100–110 см, *M. didyma* – 70–120 см, *M. citriodora* – 60–80 см. В условиях ЮБК *M. fistulosa* – травянистое многолетнее поликарпическое растение с многочисленными побегами, высотой 65–120 см, *M. didyma* – травянистое многолетнее растение, высотой 80–90 см (Феськов, Шевчук, 2017). Известно, что высота растений, являясь ключевым компонентом строения побегов, контролируется как генетическими, так и экологическими факторами (Yang et al., 2021)

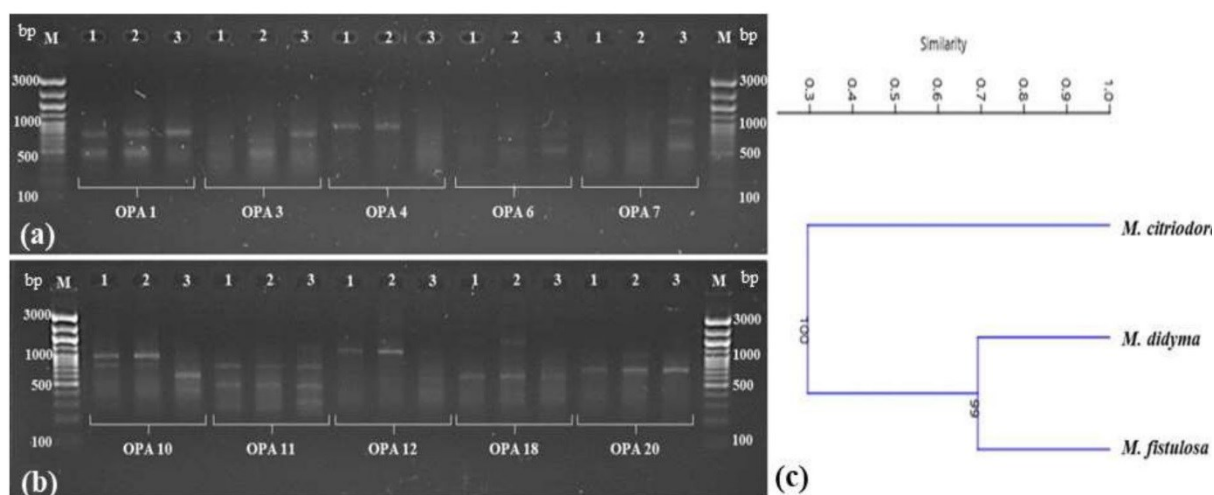


Рис. 4 Электрофореграммы продуктов амплификации с праймерами RAPD (a, b) и ДНК, выделенной из листьев растений *M. fistulosa* (1), *M. didyma* (2), *M. citriodora* (3), а также дендрограмма (c), построенная по результатам ПЦР-анализа; М – маркер, bp – пары оснований

Fig. 4 Electrophoregrams of amplification products with RAPD primers (a, b) and DNA isolated from the leaves of *M. fistulosa* (1), *M. didyma* (2), *M. citriodora* (3) plants, as well as a dendrogram (c) constructed on the results of PCR analysis; M – marker, bp – base pair

Внутренняя анатомия и особенности поверхности листьев часто определяют устойчивость растений к биотрофным патогенным инфекциям. Среди таких признаков, особенности морфологии устьиц, кутикулы и трихом могут влиять на устойчивость к заболеваниям (Chattopadhyay et al., 2011). Трихомы и кутикула часто действуют как физический барьер, препятствуя прямому контакту спор гриба с эпидермой растения, в то время как устьица являются местом проникновения микопатогенов (Chattopadhyay et al., 2011). Полученные нами данные выявили отличия в распределении кроющих трихом и папилл не только между поверхностью листовой пластинки (адаксиальной и абаксиальной), но и между видами. По плотности папилл на абаксиальной поверхности выделяется *M. fistulosa*, у которой их количество на мм² в 1,45 раза выше, чем у *M. didyma*, при этом у *M. citriodora* они отсутствуют. Такие короткие не железистые трихомы могут формировать барьер, минимизирующий проникновение гиф патогенов. С другой стороны, трихомы также могут служить дополнительными сайтами улавливания спор гриба и создавать защищенную среду для их прорастания и дальнейшего роста и развития (Calo et al., 2006).

По плотности пельтатных железок *M. fistulosa* также выделяется среди других изученных растений. Указанные структуры накапливают ЭМ (Svidenko et al., 2018), в составе которого, в качестве мажорных компонентов, могут присутствовать тимол и карвакрол (Работягов и др., 2010; Коваленко и др., 2021; Gontar et al., 2024). Присутствие вторичных метаболитов не исключает обеспечение дополнительной химической защиты при высвобождении содержимого железистых образований, ввиду антифунгальных эффектов указанных выше соединений (Fraternal et al., 2006; Ruark, Shew, 2010; Adebayo et al., 2013).

В отличие от *M. fistulosa* и *M. didyma*, *M. citriodora* выделяется отличной морфологией листа и амфистоматичностью. Литературные данные подтверждают отсутствие устьиц на адаксиальной поверхности у *M. didyma* (Самойленко, Янченко, 2016) и *M. fistulosa* (Шанайда и др., 2016), в то время как *M. citriodora* характеризуется их наличием на обеих сторонах листовой пластинки. Отсутствие папилл у *M. citriodora* компенсируется большим развитием кутикулы.

Существуют работы, демонстрирующие определенные взаимосвязи между трихомами, устьицами и кутикулой при развитии фитомикозов растений. Анализируя

представителей рода *Morus* sp. и степень пораженности мучнистой росой были установлены высокосignимые и одинаково сильные корреляции между распространенностью микоеинфекции и тремя микроморфологическими параметрами: устьичным индексом, плотностью устьиц и трихом. Отмечено, что эти три показателя имеют потенциальную ценность при селекции на устойчивость к мучнистой росе (Chattopadhyay et al., 2011). В аналогичных работах, исследованиями взаимосвязи между трихомами, плотностью устьиц и восприимчивостью к пятнистости мягкой пшеницы, вызванной *Bipolaris sorokiniana* Shoem. показано, что более высокая плотность первых на адаксиальной поверхности листьев была отрицательно связана с развитием болезни, однако способствовала большему улавливанию спор, но ограничивала размер капель росы, предотвращая прямой контакт между ними и эпидермой листа, в то время как плотность устьиц, наоборот, имела положительную корреляцию с развитием болезни (Gupt et al., 2021). У генотипов арахиса, устойчивых и умеренно устойчивых к ржавчине, обнаруживали большую толщину кутикулы и эпидермальных клеток при их меньших размерах (длине, ширине), количестве устьиц и большем содержании воска на поздних стадиях развития растений (Sunkad, Kulkarni, 2006). В то же время, у устойчивых к ржавчине растений *Zoysia japonica* Steud. отмечали большее количество устьиц, но они были мельче и с более узкой устьичной щелью, чем восприимчивые (Li et al., 2018). Исходя из полученных нами данных о морфологии и анатомии исследуемых видов, литературных сведениях, можно предположить, что растения *M. didyma* и *M. fistulosa* развили подобные системы адаптации к биотическим и абиотическим стрессам, заключающиеся в формировании большого количества папилл на нижней стороне листа, что возможно служит защитой устьиц в сухую погоду. Во влажной среде споры, закоренные на выростах эпидермы, могут развиваться, используя сайты прикрепления в качестве мест проникновения. У *M. citriodora* папиллы отсутствуют, развиты трихомы и устьица находятся с обеих сторон листа. При этом растение для защиты формирует более толстый слой кутикулы.

В количественной анатомии листа *M. citriodora* обращает внимание его толщина за счет увеличения размеров клеток палисады и губчатой ткани. В литературе на примере *Z. japonica* показано, что столбчатый мезофилл устойчивых растений был толще, чем у восприимчивых, а CTR (cell tense ratio) – значение отношения палисады к общей толщине листа, рассчитанное с множителем 100, было выше. Губчатый мезофилл восприимчивых растений был толще, а значение SR (spongy ratio) – отношения губчатой паренхимы к толщине листа, рассчитанное с множителем 100 – выше (Li et al., 2018). При анализе анатомического строения листовой пластинки представителей рода *Syringa* из подсекции *Euvulgaris* установлено, что наличие губчатой паренхимы из четырех рядов, является показателем степени их устойчивости к *Pseudocercospora lilacis* (Desm.) Deighton на юге Приморского края (Pshennikova, 2021). В открытых источниках отмечается взаимосвязь между устойчивостью к патогенам и более толстой и плотной тканью мезофилла (Kärklina et al., 2021). В наших исследованиях показано, что слой палисады листьев *M. citriodora* превосходит таковой *M. fistulosa* и *M. didyma* в 1,3 и 1,4 раза, соответственно, посредством увеличения размеров клеток. При этом наибольшее количество слоев губчатого мезофилла отмечали у *M. fistulosa* и *M. didyma*, что объясняется меньшими линейными значениями клеток. Более толстый мезофилл был характерен для *M. citriodora*, в то время как более плотную губчатую ткань отмечали у *M. fistulosa* и *M. didyma*.

Полученные нами данные о морфолого-анатомических различиях подтверждаются молекулярно-генетическим анализом на основе RAPD-ПЦР, при котором после построения дендрограммы показана отдельная кластеризация *M. citriodora*, в то время как *M. fistulosa* и *M. didyma* имеют более близкое генетическое

сходство. На данный момент имеются ограниченные сведения о родстве исследуемых растений. Так, например, в работе J.M. Žiarovská (2014) впервые сообщается об оптимизации условий ПЦР для RAPD-анализа с целью создания быстрого, надежного и воспроизводимого метода скрининга генетической стабильности растений *M. didyma*, полученных *in vitro*. При филогенетическом анализе на основе секвенирования участка гена рибосомальной РНК (ITS) показано нахождение *M. citriodora* и *M. fistulosa* в разных кладах (Prather et al., 2002), что согласуется и с результатами наших исследований. Известно, что проявление того или иного признака обусловлено генетически и находится под влиянием экологических факторов. Вероятно, разница в морфологии и анатомии органов, закрепленная генетически, определяет иную степень поражаемости растений *Monarda* sp. в комплексе с вариантами защитных биохимических реакций. Для полного понимания отличительных особенностей по поражаемости микоагентами *M. citriodora*, *M. fistulosa* и *M. didyma* и др. существует потребность в идентификации гена(ов), отвечающих за резистентность к микопатогенам, а также в определении их последовательности с целью выявления различий.

Выводы

Проведенный сравнительный морфолого-анатомический анализ листовых пластинок *M. didyma*, *M. fistulosa* и *M. citriodora* показал, что органы у видов различаются по цвету, форме и размеру. Исследование поверхностных структур выявило значительное преобладание папилл и пельтатных железок у *M. fistulosa* и *M. didyma*, в то время как у *M. citriodora* среди не железистых образований трихомы формировались в большем количестве. Определена амфистоматичность листьев *M. citriodora*, что отличает ее от таковых *M. didyma* и *M. fistulosa*. Наиболее развитый кутикулярный слой также был присущ *M. citriodora*, как и более выраженная палисада и губчатый мезофилл, при этом плотность губчатой ткани отмечали у *M. fistulosa* и *M. didyma*. Выявленные нами различия на морфологическом и анатомическом уровне подтверждаются генетическим анализом, с отдельной кластеризацией *M. citriodora* и большими значениями генетической близости между *M. didyma*, *M. fistulosa*. Ввиду отсутствия четкой дифференциации по критериям, имеющимся в литературе относительно устойчивости к микоагентам, а иногда их некой противоречивой интеграции, предполагается наличие нескольких механизмов адаптации к внешним факторам, влияющих на степень поражаемости микопатогенами: 1) г-образная загнутость трихом, направленная к верхушке листа, развитость папилл, пельтатных железок, гипостоматичность, большее количество слоев губчатого мезофилла с меньшим размером клеток (*M. fistulosa*, *M. didyma*); 2) г-образная загнутость трихом, большая развитость кутикулярного слоя, палисады, увеличение толщины тканей листа (*M. citriodora*). Вследствие выявленных различий на микроморфологическом и генетическом уровнях, существует потребность в идентификации гена(ов), отвечающих за резистентность к микопатогенам и определении их последовательностей.

Благодарности / Acknowledgements

Работа выполнена в рамках ГЗ №1023041300067-1-4.1.1 (FNNS 2024-0004) ФГБУН “НБС-НИИ РАН”.

Литература / References

Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Основы микротехнических исследований в ботанике. Справочное руководство. М.: Изд. каф. высш. растений биол. ф-та Моск. гос. ун-та, 2000. 127 с.

[Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G., Dzhililova Kh.Kh., Ilyina G.M., Chubatova N.V. Fundamentals of microtechnical research in botany. Reference guide. Moscow: Publ. of the Department of Higher Plant Biol. Faculty of Moscow State University, 2000. 127 p.]

Бондарцев А.С. Шкала цветов. Пособие для биологов при научных и научно-прикладных исследованиях. М.-Л.: Издательство академии наук СССР, 1954. 28 с.

[Bondartsev A.S. Color scale. A manual for biologists in scientific and applied research. M.-L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1954. 28 p.]

Исиков В.П. Аннотированный список грибов на ароматических и лекарственных растениях Крыма // Сборник научных трудов ГНБС. 2016. № 142. С. 44–68.

[Isikov V.P. Annotates list of fungi found on aromatic and medical plants in the Crimea // Works of Nikit. Botan. Gard. 2016. 142:44–68.]

Коваленко Н.А., Леонтьев В.Н., Супиченко Г.Н., Ахрамович Т.И., Феськова Е.В., Шутова А.Г. Антимикробные свойства эфирного масла растений рода *Monarda*, культивируемых в Беларуси // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 137–144. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021027638>.

[Kovalenko N.A., Leontiev V.N., Supichenko G.N., Ahramovich T.I., Feskova E.V., Shutova A.G. Antimicrobial properties of essential oils of the genus *Monarda* plants cultivated in Belarus // Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya. 2021. (2):137–144. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021027638>10.14258/jcprm.2021027638.]

Красюк Е.В., Пупыкина К.А., Анищенко И.Е. Отличия морфологических признаков видов монарды, интродуцированных в республике Башкортостан // Молодые учёные и фармация XXI века: Сборник научных трудов третьей научно-практической конференции с международным участием (15 декабря 2015 года). Москва: ВИЛАР, 2015. С. 291–293.

[Krasyyuk E.V., Pupykina K.A., Anischenko I.E. The differences in morphological features of bee balm species, introduced in the Republic of Bashkortostan // Young scientists and pharmacy in the 21st century: Collection of scientific papers of the third scientific and practical conference with international participation (December 15, 2015). Moscow: VILAR; 2015. P. 291–293.]

Красюк Е.В. Фармакогностическое исследование видов монарды, интродуцируемых на территории республики Башкортостан // Диссертация на соиск. уч. степени канд. биол. наук: 14.04.02. Уфа, 2020. 197 с. Режим доступа: https://www.pfa.ru/images/stories/Diss/info_o_zach_2020/Krasyuk/Diss-KrasyukEV.pdf

[Krasyyuk E.V. Pharmacognostic study of *Monarda* species introduced in the Republic of Bashkortostan // Diss. Cand. of Biol. Sci.: 14.04.02. Ufa, 2020. 197 p. Access: https://www.pfa.ru/images/stories/Diss/info_o_zach_2020/Krasyuk/Diss-KrasyukEV.pdf]

Лапина А.С., Куркин В.А., Рыжов В.М., Тарасенко Л.В. Новые аспекты в морфолого-анатомической диагностике травы монарды дудчатой (*Monarda fistulosa* L.) // Аспирантский вестник Поволжья. 2019. Т. 19. № 1–2. С. 19–26. <https://doi.org/10.17816/2072-2354.2019.19.1.19-26>.

[Lapina A.S., Kurkin V.A., Ryzhov V.M., Tarasenko L.V. The new aspect in morphological and anatomical diagnostics of the herb *Monarda fistulosa* L. // Aspirantskiy Vestnik Povolzh'ya. 2019. 19 (1–2):19–26. <https://doi.org/10.17816/2072-2354.2019.19.1.19-26>.]

Работягов В.Д., Исиков В.П., Овчаренко Н.С., Лопотова О.В. Состав эфирного масла у *Monarda fistulosa* L., пораженной мучнисто-росяным грибом *Golovinomyces biocellatus* (Ehreb.) Gel // Чорномор. Ботан. журн. 2010. Т. 6. № 3. С. 373–377. [Rabotyagov V.D., Isikov V.P., Ovcharenko N.S., Lopotova O.V. Composition of essential oils from *Monarda fistulosa* L. affected by the fungal pathogen *Golovinomyces biocellatus* (Erysiphales) // Chornomors'k. bot. z. 2010. 6 (3):373–377.]

Самойленко Т.Г., Янченко И.А. Структурные особенности и водоудерживающая способность листового аппарата монарды двойчатой (*Monarda didyma* L.) при выращивании в условиях Южной степи Украины // Вестник БГСХА. 2016. № 4. С. 55–57. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnye-osobennosti-i-vodouderzhivayuschaya-sposobnost-listovogo-apparata-monardy-dvoychatoy-monarda-didyma-l-pri-vyraschivanii-v>

[Samoilenko T.G., Ianchenko I.A. Structural features and water-holding capacity of leaf apparatus of *Monarda didyma* L. while growing in the conditions of southern steppe of Ukraine // Bulletin of the BSAA. 2016. (4):55–57. Access: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnye-osobennosti-i-vodouderzhivayuschaya-sposobnost-listovogo-apparata-monardy-dvoychatoy-monarda-didyma-l-pri-vyraschivanii-v>]

Солдатов Д.К., Булавин И.В., Калмыкова Д.И., Логвиненко Л.А., Шевчук О.М. Структура листовой пластинки некоторых представителей рода *Echinacea* Moench в условиях интродукции на Южном берегу Крыма // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2024. № 3. С. 66–78.

[Soldatov D.K., Bulavin I.V., Kalmykova D.I., Logvinenko L.A., Shevchuk O.M. Leaf structure of some *Echinacea* species introduced in the Southern Coast of Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2024. (3):66–78.]

Феськов С.А., Шевчук О.М. Идентификация растений видов рода *Monarda* по комплексу морфологических признаков при интродукции в Никитском ботаническом саду // Бюллетень ГНБС. 2017. Вып. 124. С. 81–89.

[Feskov S.A., Shevchuk O.M. Identification of plants' species of genus *Monarda* L. according to the complex of morphological indications on introduction in the Nikitsky Botanical Gardens // Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. 2017. (124):81–89.]

Харченко В.А., Беспалько Л.В., Гинс В.К., Гинс М.С., Байков А.А. Монарда – ценный источник биологически активных соединений // Овощи России. 2015. Вып. 1 (26). С. 31–35. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-1-31-35>.

[Kharchenko V.A., Bepalko L.V., Gins V.K., Gins M.S., Baikov A.A. *Monarda* – a valuable source of biologically active compounds // Vegetable crops of Russia. 2015. 1(26):31–35. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-1-31-35>.]

Цибина А.С., Куркин В.А. Актуальные аспекты фармакогностического исследования травы монарды дудчатой (*Monarda fistulosa* L.) // Аспирантский вестник Поволжья. 2021. № 5–6. С. 132–140. <https://doi.org/10.55531/2072-2354.2021.21.3.132-140>.

[Tsibina A.S., Kurkin V.A. Current issues of the pharmacognostic study *Monarda fistulosa* L. herb // Aspirantskiy Vestnik Povolzhia. 2021. (5–6):132–140. <https://doi.org/10.55531/2072-2354.2021.21.3.132-140>.]

Цибина А.С. Фармакогностическое исследование травы монарды дудчатой (*Monarda fistulosa* L.) // Диссертация на соиск. степени канд. фармацевт. наук: 14.04.02. Самара, 2020. 209 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44704750>.

[Tsibina A.S. Pharmacognostic study of the herb *Monarda fistulosa* L. // Diss. Cand. of Pharm. Sci.: 14.04.02. Samara, 2020. 209 p. Access: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44704750>]

Шанайда М.И., Сира Л.М., Машталер В.В. Мікроскопічний аналіз трави монарди трубчастої (*Monarda fistulosa* L.) родини Lamiaceae // Фармацевтичний журнал. 2016. № 5. С. 76–85.

[Shanaida M.I., Sira L.M., Mashtaler V.V. Microscopical analysis of *Monarda fistulosa* L. herb // Farmatsevtychnyi zhurnal. 2016. (5):76–85.]

Adebayo O., Bèlanger A., Khanizadeh S. Variable inhibitory activities of essential oils of three *Monarda* species on the growth of *Botrytis cinerea* // Can. J. Plant. Sci. 2013. Vol. 93 (6). P. 987–995. <https://doi.org/10.4141/CJPS2013-044>.

Calo L., Garcia I., Gotor C., Romero L.C. Leaf hairs influence phytopathogenic fungus infection and confer an increased resistance when expressing a Trichoderma a-1,3-glucanase // J. Exp. Bot. 2006. Vol. 57 (14). P. 3911–3920. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl155>.

Chattopadhyay S., Ali K.A., Doss S.G., Das N.K., Aggarwal R.K., Bandopadhyay T.K., Sarkar A., Bajpai A.K. Association of leaf micro-morphological characters with powdery mildew resistance in field-grown mulberry (*Morus* spp.) germplasm // AoB Plants. 2011. Art. plr002. <https://doi.org/10.1093/AOBPLA/PLR002>.

Dudchenko V.V., Svydenko L.V., Markovska O.Y. Morphobiological and biochemical characteristics of *Monarda* L. varieties under conditions of the Southern Steppe of Ukraine // J. Ecol. Eng. 2020. Vol. 21 (8). P. 99–107. <https://doi.org/10.12911/22998993/127093>.

Fraternal D., Giamperi L., Bucchini A., Ricci B., Epifano F., Burini G., Curini M. Chemical composition, antifungal and *in vitro* antioxidant properties of *Monarda didyma* L. essential oil // J. Essent. Oil Res. 2006. Vol. 18. P. 581–585. <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699174>.

Gontar Ł., Geszprych A., Sitarek-Andrzejczyk M., Osińska E. Influence of plant phenology on chemical composition of *Monarda fistulosa* L. organs and their bioactive properties // Plant Foods Hum. Nutr. 2024. Vol. 79 (4). P. 920–925. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01238-y>.

Gupt S.K., Chand R., Mishra V.K., Ahirwar R.N., Bhatta M., Joshi A.K. Spot blotch disease of wheat as influenced by foliar trichome and stomata density // J. Agric. Food. 2021. Vol. 6. Art. 100227. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100227>.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4 (1). Art. 4.

Kārklīņa K., Lācis G., Lāce B. Differences in leaf morphological parameters of pear (*Pyrus communis* L.) based on their susceptibility to european pear rust caused by *Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) // Oerst. Plants. 2021. Vol. 10 (5). Art. 1024. <https://doi.org/10.3390/plants10051024>.

Li M., Li W., Sun Y., Mao P., Qi X., Wang Y. Analysis of leaf tissue structures between rust-resistant and rust-susceptible *Zoysia* grass (*Zoysia japonica*) // Acta Physiol. Plant. 2018. Vol. 40. Art. 75. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2643-6>.

Mastelic J., Jerkovic I., Blazevic I. Comparative study on the antioxidant and biological activities of carvacrol, thymol, and eugenol derivatives // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56 (11). P. 3989–3996. <https://doi.org/10.1021/jf073272v>.

Mehdi S.J., Ahmad A., Irshad M. Cytotoxic effect of carvacrol on human cervical cancer cells // Biol. Med. 2011. Vol. 2 (3). P. 307–312. DOI:10.4172/0974-8369.10000119.

Prather A.L., Monfils A.K., Posto A.L., Williams R.A. Monophyly and phylogeny of *Monarda* (Lamiaceae): Evidence from the internal transcribed spacer (ITS) region of nuclear ribosomal DNA // Syst. Bot. 2002. Vol. 27 (1). P. 127–137. DOI: 10.1043/0363-6445-27.1.127.

Pshennikova L.M. The implication of leaf anatomical structure for the selective breeding of lilacs // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii=Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. 25 (5). P. 534–542. DOI: 10.18699/VJ21.06.

Ricci D., Epifano F., Fraternal D. The essential oil of *Monarda didyma* L. (Lamiaceae) exerts phytotoxic activity *in vitro* against various weed seed // Molecules. 2017. Vol. 22 (2). Art. 222. DOI: 10.3390/molecules22020222.

Ruark S.J., Shew B.B. Evaluation of microbial, botanical, and organic treatments for control of peanut seedling diseases // Plant Dis. 2010. Vol. 94 (4). P. 445–454. DOI: 10.1094/PDIS-94-4-0445.

Sharma P., Wajid M.A., Fayaz M., Bhat S., Nautiyal A.K., Jeet S., Yadav A.K., Singh D., Shankar R., Gairola S., Misra P. Morphological, phytochemical, and transcriptome analyses provide insights into the biosynthesis of monoterpenes in *Monarda citriodora* // Planta. 2023. Vol. 258 (3). Art. 49. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04207-y>.

Sunkad G., Kulkarni S. Studies on structural and biochemical mechanism of resistance in groundnut to *Puccinia arachidis* // Indian Phytopathol. 2006. Vol. 59 (3). P. 323–328.

Svidenko L., Grygorieva O., Vergun O., Hudz N., Horčinová Sedláčková V., Šimková J., Brindza J. Characteristic of leaf peltate glandular trichomes and their variability of some Lamiaceae Martinov family species // Agr. bio. div. Impr. Nut., Health Life Qual. 2018. (2). P. 124–132. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2018.2585-8246.124-132.

WFO (2025): *Monarda* L. [Electronic resource]. Access: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000024632>.

Yang Q., Lin G., Lv H., Wang C., Yang Y., Liao H. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean // BMC Plant Biol. 2021. Vol. 21 (1). Art. 63. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02836-7>.

Yang L., Wen K.-Sh., Ruan X., Zhao Y.-X., Wei F., Wang Q. Response of plant secondary metabolites to environmental factors // Molecules. 2018. Vol. 23 (4). Art. 762. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>.

Žiarovská J., Bežo M., Hrdlicková M., Fernández E. Standardization and reproducibility of random marker based analysis of micropropagated crimson beebalm // Genetika. 2014. Vol. 46 (3). P. 855–864.

Статья поступила в редакцию: 21.11.2025 г.

Bulavin I.V., Soldatov D.K., Feskov S.A., Shevchuk O.M. Morphological, anatomical and genetic characteristics of some *Monarda* representatives in relation to their susceptibility to mycoagents // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2025. № 4 (177) P. 130-143.

Promising plants of the Lamiaceae family include representatives of the genus *Monarda* L. that are perennial and annual herbaceous plants, which contain essential oil in their above-ground mass characterized by high biological effectiveness against microorganisms, particularly antifungal. However, *Monarda* itself is susceptible to fungal agents. Selection of the resistant plant from the seed population involves structural and genetic studies, information about which is limited. Therefore, the aim of our work was a comparative morphological and anatomical analysis of *Monarda didyma* L., *M. fistulosa* L., *M. citriodora* Cerv. ex Lag. leaf blades, and determining the genetic similarity of the plants. It was shown that the leaves differed morphologically in color, shape, and size. Surface structures' investigation revealed a significant predominance of papillae and peltate trichomes in *M. fistulosa* and *M. didyma* L. Leaves of *M. citriodora* had better developed cuticle, palisade and spongy mesophyll cells, affecting the organs' thickness. These differences are confirmed by genetic analysis. The dendrogram constructed on RAPD-PCR results showed a separate clustering of *M. citriodora*, while *M. didyma* and *M. fistulosa* had high values of genetic similarity. Based on the obtained results and literature sources, it is assumed that there are several mechanisms of adaptation to external factors affecting to mycopathogens' susceptibility.

Key words: essential oil plants; leaf; light microscopy; genetic similarity; RAPD-PCR; resistance to mycopathogens