
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*)

Елена Львовна Маланкина, Елена Николаевна Еремеева[✉],
Вера Ивановна Терехова

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]Автор, ответственный за переписку: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Аннотация

Содержание вторичных метаболитов в растениях сильно варьирует в зависимости от погодно-климатических условий. Поэтому актуальными проблемами лекарственного растениеводства являются оценка таксонов по стабильности содержания целевых соединений в разные по погодным условиям годы и выявление наиболее предсказуемых по этому параметру видов. Проведена оценка 14 хозяйственно значимых видов из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Многие представители семейства Яснотковые относятся к востребованным лекарственным, эфирномасличным и пряно-ароматическим культурам благодаря содержанию биологически активных веществ с многофункциональным действием. Целью работы является сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от погодно-климатических условий года. Для достижения поставленной цели было определено содержание фенольных соединений в изучаемых видах и приведена их сравнительная характеристика. Содержание фенольных соединений отражает суммарное количество различных групп вторичных метаболитов: это и простые фенолы, и флавоноиды, и дубильные вещества, и фенолкарбоновые кислоты. В результате 4-летних наблюдений как стабильные по содержанию фенольных соединений при различных погодно-климатических условиях следует отметить следующие виды: чабер садовый (коэффициент вариации – 3,48%), душица обыкновенная (коэффициент вариации – 4,11%), иссоп лекарственный (коэффициент вариации – 5,59%), тимьян обыкновенный (коэффициент вариации – 8,21%), монарда дудчатая (коэффициент вариации – 9,5%) и змеголовник молдавский (коэффициент вариации – 9,71%). Следовательно, именно у этих культур будут наиболее предсказуемыми показатели содержания фенольных соединений и, соответственно, качество сырья для дальнейшего применения и переработки.

Ключевые слова

Фенольные соединения, фенолы, Яснотковые, чабер садовый, душица обыкновенная, иссоп лекарственный, тимьян обыкновенный, монарда дудчатая, змеголовник молдавский, мята перечная

Для цитирования

Маланкина Е.Л., Еремеева Е.Н., Терехова В.И. Стабильность накопления фенольных соединений как видовая особенность представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 137–149.

Stability of phenolic compound accumulation as a species feature of the *Lamiaceae* family

Elena L. Malankina, Elena N. Ereemeeva[✉], Vera I. Terekhova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Abstract

The content of secondary metabolites in plants varies greatly depending on weather and climate conditions, therefore, an urgent problem in medicinal plant breeding is the assessment of taxa for the stability content of target compounds in different weather years and the identification of the most predictable species by this parameter. The work assesses 14 economically significant species from the *Lamiaceae* family. Many species of the *Lamiaceae* family are considered as popular medicinal, essential oil and spice-aromatic plants due to the content of biologically active compounds with multifunctional action. The aim of the work is a comparative assessment of *Lamiaceae* family representatives in terms of the stability of the raw material composition depending on the weather and climatic conditions of the year. To achieve this, the content of phenolic compounds in the studied species was determined and their comparative characteristics were provided. The content of phenolic compounds reflects the total amount of different groups of secondary metabolites. They include simple phenols, flavonoids, tannins, and phenolic carboxylic acids. As a result of 4-year observations, the following species should be noted as stable in terms of phenolic compound content under various weather and climate conditions: *Satureja hortensis* (coefficient of variation 3.48%), *Origanum vulgare* (coefficient of variation 4.11%), *Hyssopus officinalis* (coefficient of variation 5.59%), *Thymus vulgaris* (coefficient of variation 8.21%), *Monarda fistulosa* (coefficient of variation 9.5%) and *Dracocephalum moldavica* (coefficient of variation 9.71%). Consequently, these plants will have the most predictable indicators of phenolic compound content and raw material quality for further use and processing.

Keywords

Phenolic compounds, phenols, *Lamiaceae*, *Satureja hortensis*, *Origanum vulgare*, *Hyssopus officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Monarda fistulosa*, *Dracocephalum moldavica*, *Mentha piperita*

For citation

Malankina E.L., Ereemeeva E.N., Terekhova V.I. Stability of phenolic compound accumulation as a species feature of the *Lamiaceae* family. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 137–149.

Введение Introduction

Накопление и состав вторичных метаболитов определяются как наследственными факторами, так и в значительной степени – условиями среды. Каждая группа фармакологически значимых соединений характеризуется определенными параметрами, необходимыми для синтеза в растении. Это прежде всего такие абиотические факторы, как температура, долгота дня, спектральный состав света, соотношение доступных элементов питания в почве и даже пораженность вредителями и болезнями. Исходя из этого их содержание будет сильно изменяться в зависимости от зоны

выращивания и условий года. Однако для каждого вида и даже сорта характерен свой диапазон нормы реакции. Следует также учитывать большое число соединений, синтезируемых в растении. Так, только фенольных соединений, по данным М.Н. Запромётова, насчитывается больше 5 тыс. Они представлены как достаточно простыми по структуре фенолами и фенолкарбоновыми кислотами, так и более сложными танинами и флавоноидами [1]. Соответственно их динамика накопления и соотношение зависят не только от наследственных факторов, определяющих прежде всего перечень соединений [2].

Влияние абиотических условий – таких, как температура, влажность воздуха, осадки, состав почвы, а также географические факторы, в частности, высота над уровнем моря, широтность и связанная с ней инсоляция, число солнечных дней и интенсивность ультрафиолетовой части спектра, – могут определять качественные показатели сырья [3–7]. По наблюдениям ряда авторов, на овощных культурах повышение температуры увеличивает накопление фенольных соединений у ряда растений – таких, как *Phaseolus vulgaris* [8], салат [9] и томат [10]. На содержание фенольных соединений оказывает влияние и фаза развития растений [6, 11]. Относительно накопления фенольных соединений в литературе встречается мнение о том, что во многих случаях они являются реакцией на стресс [12]. Стрессовые температуры могут влиять на метаболизм растений несколькими способами включая выработку фенольных соединений [13], создавая их запас в ответ на изменение макро- и микроэкологических условий [14, 15]. Биосинтез этой группы значительная доля исследователей считает адаптивной способностью растений справляться с фитопатогенами и вредителями [16–18].

Таким образом, стабильность содержания фармакологически значимых соединений в сырье является важным показателем, определяющим качество сырья и экономические показатели его производства. Оценка видов по стабильности содержания фармакологически значимых соединений является актуальной проблемой лекарственного растениеводства и позволит прогнозировать результат.

Среди представителей семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) много лекарственных, эфирномасличных и пряно-вкусовых культур. Они содержат как терпеноиды (эфирные масла), так и фенольные соединения (дубильные вещества, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, компоненты эфирных масел), а также другие вещества с антиоксидантной активностью [19–23]. Однако по нашим многолетним наблюдениям, показатели содержания этих соединений сильно варьировали по годам.

Цель исследований: сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от условий года.

Методика исследований

Research method

В наших опытах все растения выращивались в одной географической точке, на опытном поле Учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и, соответственно, в одинаковых условиях. Почва участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, хорошо оструктуренная с глубиной пахотного горизонта 20–22 см. Содержание гумуса – 2,9%, подвижного фосфора P_2O_5 –240 мг/кг, подвижного калия K_2O – 180 мг/кг, рН – 6,6. В качестве объектов исследований были выбраны 14 видов, сырьем которых является надземная часть: душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.), змееголовник молдавский (*Dracocephalum moldavica* L.), иссоп лекарственный (*Hysopus officinalis* L.), котовник крупноцветковый (*Nepeta garandiflora* Bieb.), лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), многоколосник фенхельный (*Agastache*

foeniculum L.), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), монарда дудчатая (*Monarda fistulosa* L.), мята перечная (*Mentha × piperita* L.), тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.), тимьян лимонный (*Thymus × citriodorus* (Pers.) Schreb.), тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), чабер садовый (*Satureja hortensis* L.). Срезку сырья производили в период технической спелости, который у данных растений наступает в фазе массового цветения. Урожайность определяли в 4-кратной повторности, размер учетной делянки – 0,66 м² (1 пог. м при междурядьях 60 см). Содержание суммы фенольных соединений и дубильных веществ определяли модифицированным методом Фолина-Чокальтеу для анализа суммарного содержания полифенолов в сухих растительных экстрактах в пересчете на галловую кислоту. Масса навески сухого сырья составляла 0,5 г, объем растворителя (50%-ный этанол) – 50 мл, время экстракции на кипящей водяной бане – 30 мин. Затем раствор процеживали и определяли сумму фенольных соединений при длине волны 765 нм [24]. Статистическая обработка полученных результатов произведена с использованием программы Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Показатель урожайности для большинства культур может варьировать в широких пределах, определяясь как условиями, так и уровнем агротехники. На рисунке 1 представлена урожайность изучаемых видов в фазе технической спелости, то есть массового цветения для всех, кроме мелиссы лекарственной, которую убирали чуть раньше, до начала цветения. Как следует из данных рисунка, сбор сырья с единицы площади у изучаемых видов был ниже, чем указывается для южных регионов (Черноземье, Краснодарский край), но соответствовал таковому для Московской области [25] и других регионов Северо-Запада и Центральной России. У некоторых видов отмечены весьма существенные колебания этого показателя по годам.

Из данных рисунка 1 следует, что урожайность многолетников не всегда увеличивалась с возрастом растения, а в значительной степени зависела от погодных условий. При этом следует отметить, что наиболее благоприятные годы у разных видов были разными. Так, 2016 год был очень благоприятным для таких культур, как змееголовник (490 против 440 г/м² в контроле), лофант (390 и 345 г/м² соответственно), монарда (410 и 350 г/м² соответственно) и чабер (320 и 280 г/м² соответственно). В 2017 г. были холодными май и начало июня, что не позволило посеять однолетники в оптимальные сроки, а появившиеся всходы развивались медленно и недружно. С точки зрения накопления урожая это оказалось критичным, но в то же время для многолетних культур холодное и влажное начало лета было достаточно благоприятным, хотя у некоторых из них отмечены более поздние цветение и плодоношение. Урожайность в 2017 г. была выше средней многолетней у душицы, иссопа, котовника, мяты перечной и шалфея лекарственного.

При проведении анализа коэффициента вариации для всех культур (рис. 2) выявлено, что он находился в пределах от 5,6% у тимьяна лимонного до 18,4% у чабера садового. Однако в большинстве случаев независимо от культуры он укладывался в диапазон 11...18%.

Варьирование считается слабым при $C_v \leq 10\%$. В наших исследованиях таким коэффициентом вариации характеризовались 3 культуры: тимьян лимонный (5,6%), шалфей лекарственный (9,4%), лофант анисовый (9,9%). Это говорит о стабильности данных видов по показателю урожайности. Средним коэффициентом вариации (C_v от 11 до 25%) характеризовались все остальные культуры.

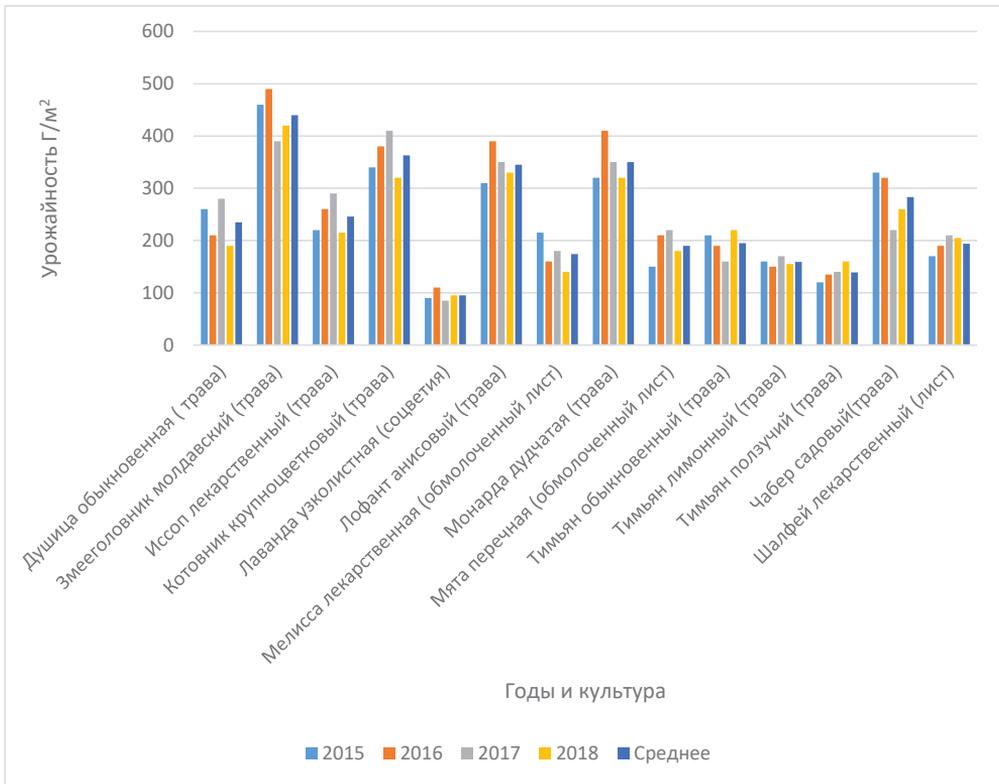


Рис. 1. Урожайность сырья изучаемых видов в фазу технической спелости
Figure 1. Yield of the raw materials of the studied species in the phase of technical maturity

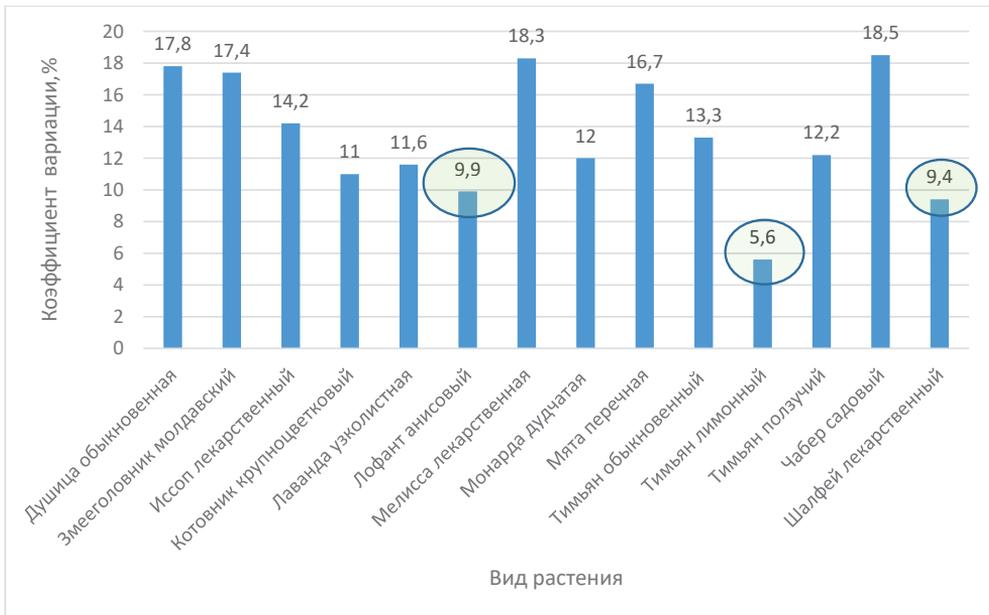


Рис. 2. Коэффициент вариации урожайности по годам, %
Figure 2. Variation coefficient of the yield by years, %

В комплекс фенольных соединений входят, как сказано выше, простые фенолы, флавоноиды и танины. Полученные результаты представлены в таблице. Вероятно, в связи с тем, что фенолы представлены в растении столь разнообразно, данные по условиям, влияющим на их накопление фенольных соединений, довольно противоречивы. Как сказано выше, их содержание во многих случаях было выше при экстремальных погодных условиях. Предполагается, что повышенный биосинтез вторичных метаболитов в стрессовых условиях защищает клеточные структуры от оксидативного стресса [26]. Следовательно, антиоксидантная активность сырья растений также будет существенно зависеть от условий роста и развития растений [27, 28].

Предшественником фенольных соединений является аминокислота фенилаланин, из которой далее по шикиматному пути происходит синтез фенольных соединений. На разных этапах этот процесс контролируется определенными ферментами и требует различных условий. Встречающиеся в литературе работы часто посвящены изучению сырья, собранного в различных регионах, что приводит к искаженной оценке при сравнении содержания фармакологически значимых соединений. Видимо, по этой причине имеющиеся сведения являются довольно противоречивыми.

Таблица

Сумма полифенолов в сырье изучаемых видов в фазе технической спелости, %

Table

**Sum of polyphenols in the raw materials of the studied species
in the phase of technical maturity, %**

Культура	По годам				Среднее много- летнее значение по культуре
	2015	2016	2017	2018	
Душица обыкновенная	7,05±0,06	6,82±0,0,3	7,11±0,03	13,06±0,06	8,51±3,04
Мята перечная	7,90±0,06	7,43±0,04	7,07±0,08	11,90±0,06	8,58±2,24
Мелисса лекарственная	6,60±0,05	7,02±0,05	7,77±0,04	11,27±0,14	8,16±2,13
Тимьян ползучий	6,45±0,04	6,35±0,04	6,68±0,04	8,46±0,03	6,98±0,99
Тимьян обыкновенный	6,63±0,08	6,45±0,05	6,98±0,05	7,74±0,04	6,95±0,571
Тимьян лимонный	7,35±0,05	5,87±0,05	6,25±0,05	7,82±0,04	6,83±0,92
Чабер садовый	6,23±0,05	6,36±0,05	6,57±0,06	6,74±0,04	6,48±0,23
Змееголовник молдавский	5,62±0,05	5,77±0,05	5,68±0,06	6,85±0,05	5,98±0,58
Монарда дудчатая	5,60±0,07	5,00±0,04	5,43±0,04	6,28±0,05	5,58±0,53
Шалфей лекарственный	4,60±0,07	5,85±0,05	5,35±0,03	5,88±0,05	5,42±0,59
Котовник крупноцветковый	4,50±0,06	5,82±0,04	7,29±0,06	4,05±0,03	5,41±1,46
Иссоп лекарственный	5,51±0,036	4,81±0,032	5,26±0,038	5,16±0,05	5,19±0,29
Лофант анисовый	4,21±0,059	4,05±0,051	4,17±0,099	3,10±0,13	3,88±0,53
Лаванда узколистная	2,90±0,061	3,04±0,049	1,92±0,046	2,23±0,04	2,52±0,54
Среднее значение по году	5,80	5,76	5,97	7,18	–

В работе было определено суммарное содержание фенольных соединений как интегральный показатель, который будет определять антиоксидантную активность сырья у растений, выращенных в одинаковых условиях, что позволяет провести сравнительную оценку стабильности видов по накоплению полифенолов. Как следует из данных таблицы, сумма фенольных соединений в изучаемых видах колеблется от 5 до 8,5%, за исключением лобанга и лаванды, у которых содержание полифенолов в среднем за 4 года составило всего 3,88 и 2,52% соответственно. У трех культур, а именно у душицы обыкновенной, мяты перечной и Melissa лекарственной, среднее значение за 4 года превысило 8%. Следует отметить 2018 год как наиболее благоприятный для накопления полифенолов: среднее значение для 14 культур составило 7,18%, в то время как, например, в 2016 г. – только 5,76%, то есть на 1,5% выше.

Из данных рисунка 3 следует, что у таких культур, как душица обыкновенная, мята перечная, Melissa лекарственная, котовник крупноцветковый, наблюдались весьма большие различия по годам: например, у душицы разница составила 2 раза, то есть 6,82 и 13,06%, в зависимости от года. В то же время иссоп лекарственный и чабер садовый отличались стабильным содержанием фенольных соединений в сырье, значения максимально приближены друг к другу на диаграмме. По данным литературы, их содержание может находиться в пределах 7...12% [29]. Это говорит о том, что полученные в условиях Московской области значения укладываются в средние показатели, указанные другими авторами. В литературе встречаются данные о значительном увеличении содержания фенолов в растении под действием тех или иных факторов [30, 31], но, вероятно, подобная реакция все же является видоспецифичной.



Рис. 3. Вариабельность суммы фенольных соединений у изучаемых видов в зависимости от года
Figure 3. Variability of the sum of phenolic compounds in the studied species depending on the year

Вероятнее всего, изменение содержания фенольных соединений в сырье связано с погодными условиями, и прежде всего – суммой осадков и среднесуточными температурами. Период уборки в зависимости от культуры приходился на последнюю декаду июня (все виды тимьяна и мелисса), вторую декаду июля (остальные культуры, кроме чабера садового, уборка которого приходилась на первую декаду августа). В 2015 и 2016 гг. этот период характеризовался высокими среднесуточными температурами (+21,6...+21,9°C) на фоне отсутствия осадков в 2015 г. и большим количеством осадков в 2016 г. В 2017 г. среднесуточные температуры в этот период были ниже +20°C, а сумма осадков за декаду превышала 40 мм. 2018 год по своим параметрам приближался к средним многолетним показателям для Москвы.

Стабильность содержания фенолов хорошо отражена коэффициентом вариации (рис. 4).

Как следует из диаграммы (рис. 4), по показателю содержания фенольных соединений в сырье 6 видов имеют слабое варьирование ($C_v \leq 10\%$), 5 видов – среднее варьирование (C_v от 11 до 25%), и только 3 вида характеризовались сильным варьированием ($C_v > 25\%$): котовник крупноцветковый, мята перечная и мелисса лекарственная.

По результатам четырехлетних исследований можно предположить, что у представителей семейства Яснотковые реакция на погодные условия является видоспецифичной, но для большинства изучаемых видов для накопления суммы фенольных соединений в сырье предпочтительны среднесуточные температуры +21,5...+22°C и среднее количество осадков около 40 мм за предшествующие две декады. Как избыточно высокие, так и слишком низкие среднесуточные температуры отрицательно влияли на суммарное накопление фенольных соединений [32].

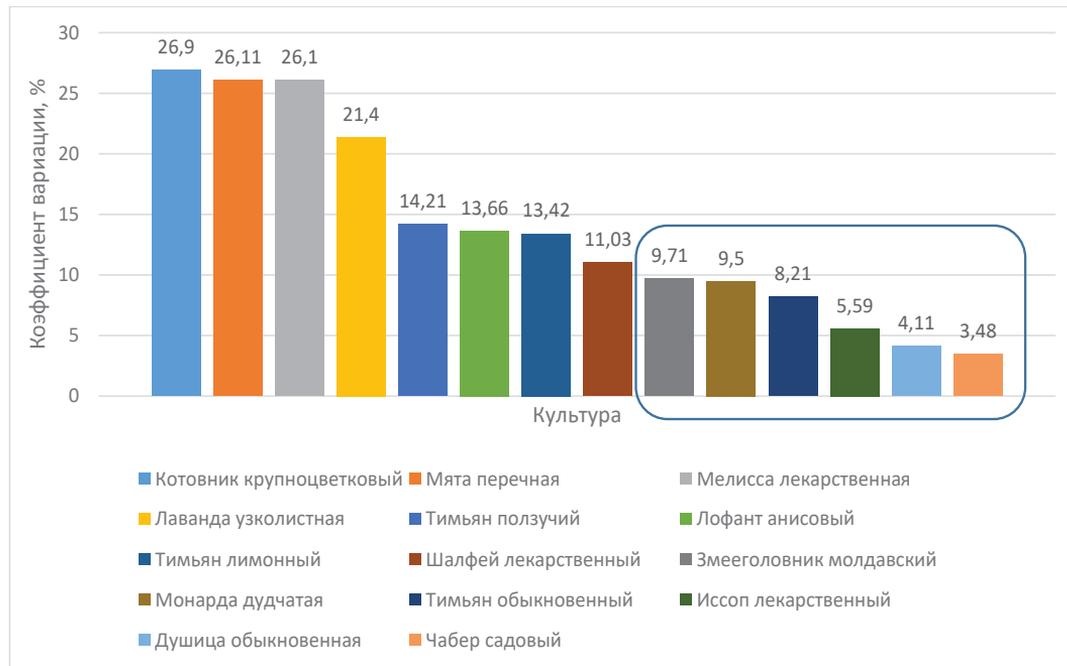


Рис. 4. Коэффициент вариации показателя «Содержание фенольных соединений» в зависимости от культуры

Fig. 4. Variation coefficient of the indicator “phenolic compound content” depending on the crop

Выводы Conclusions

Как стабильные по содержанию фенольных соединений при различных погодноклиматических условиях, следует отметить виды: чабер садовый (коэффициент вариации – 3,48%); душица обыкновенная (коэффициент вариации – 4,11%); иссоп лекарственный (5,59%); тимьян обыкновенный (8,21%); монарда дудчатая (9,5%); змееголовник молдавский (9,71%). Следовательно, именно у этих культур будут наиболее предсказуемыми показатели содержания фенольных соединений в сырье.

Список источников

1. Запрометов М.Н. *Фенольные соединения и их роль в жизни растения*. М.: Наука, 1996. 45 с.
2. Антоненко М.С., Меснянкина В.С., Маланкина Е.Л. Вариабельность содержания фенольных соединений в листьях кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в зависимости от условий произрастания // *Овощи России*. 2024. № 3. С. 36-44. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>
3. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M., Hemmerich I., Rauh C., et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hort.* 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
4. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Kovalyov V., Desenko V., Ivanauskas L., Bezruk I. et al. Effect of Ecological Factors on the Accumulation of Phenolic Compounds in Iris Species from Latvia, Lithuania and Ukraine. *Phytochem. Anal.* 2020;31(5):545-563. <https://doi.org/10.1002/pca.2918>
5. Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Макаров П.М., Гулакова Н.М., Кузнецова И.Б. Особенности размножения эстрагона (*Artemisia dracunculoides* L.) в культуре in vitro и ex vitro // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 3 (101). С. 77-83. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
6. Макаров С.С., Макарова Т.А., Бердышева Е.А. *Способы получения растительного сырья кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) в условиях таежной зоны Западной Сибири*: Монография. Москва: Колос-с, 2023. 72 с. EDN: ВУХSCF.
7. Макаров П.Н., Макаров С.С., Макарова Т.А., Самойленко З.А., Гулакова Н.М. Микроклональное размножение наперстянки пурпурной (*Digitalis purpurea* L.) и адаптация регенерантов методом гидропоники // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 4. С. 53-69. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
8. Ampofo J., Ngadi M., Ramaswamy H.S. The Impact of Temperature Treatments on Elicitation of the Phenylpropanoid Pathway, Phenolic Accumulations and Antioxidative Capacities of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Sprouts. *Food. Bioprocess. Technol.* 2020;13(9):1544-1555. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02496-9>
9. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M., Hemmerich I., Rauh C., et al. (2018). Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hort.* 239, 193-204. Doi: 10.1016/j.scienta.2018.05.020.
10. Alhailthloul H.A.S., Galal F.H., Seufi A.M. Effect of Extreme Temperature Changes on Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ*. 2021;9: e11193. <https://doi.org/10.7717/peerj.11193>
11. Жукова О.Л., Абрамов А.А., Даргаева Т.Д., Маркарян А.А. Изучение фенольного состава подземных органов сабельника болотного // *Вестник МГУ. Серия «Химия»*. 2006. Т. 47, № 5. С. 342-345. EDN: JVHDQN.

12. Isah T. Stress and Defense Responses in Plant Secondary Metabolites Production. *Biological Research*. 2019;52 (1):39. <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
13. Morison J.I., Lawlor D.W. Interactions between Increasing CO₂ Concentration and Temperature on Plant Growth. *Plant Cell Environment*. 1999;22(6):659-682. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x>
14. Shohael A.M., Ali M.B., Yu K.W., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of Temperature on Secondary Metabolites Production and Antioxidant Enzyme Activities in *Eleutherococcus senticosus* Somatic Embryos. *Plant Cell Tissue Organ Culture*. 2006;85(2):219-228. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9075-x>
15. Berini J.L., Brockman S.A., Hegeman A.D., Reich P.B., Muthukrishnan R., Montgomery R.A., Forester J.D. Combinations of Abiotic Factors Differentially Alter Production of Plant Secondary Metabolites in Five Woody Plant Species in the Boreal-temperate Transition Zone. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1257. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01257>
16. Kim Y.S., Choi Y.E., Sano H. Plant Vaccination: Stimulation of Defense System by Caffeine Production in *Planta*. *Plant Signal Behavior*. 2010;5(5):489-493. <https://doi.org/10.4161/psb.11087>
17. De Luca V., Salim V., Atsumi S.M., Yu F. Mining the Biodiversity of Plants: a Revolution in the Making. *Science*. 2012;336(6089):1658-1661. <https://doi.org/10.1126/science.1217410>
18. Wurtzel E.T., Kutchan T.M. Plant Metabolism, the Diverse Chemistry Set of the Future. *Science*. 2016;353(6305):1232-1236. <https://doi.org/10.1126/science.aad2062>
19. Коровкин О.А., Черятова Ю.С. *Ботаника: Учебник*. Москва: КноРус, 2024. 464 с. EDN: CBVVAR
20. Макаров П.Н., Макаров С.С., Чудецкий А.И., Зайцев А.Л. *Биологические особенности роста и развития растений рода Монарда (Monarda L.) в условиях закрытого и открытого грунта: Монография*. Москва: Колос-с, 2023. 74 с. EDN: IGRLRE.
21. Маланкина Е.Л., Ткачёва Е.Н., Козловская Л.Н. Лекарственные растения семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) как источники флавоноидов // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2018. Т. 21, № 1. С. 30-35. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06>
22. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kuzmenko A.N., Zaychik B.T., Ruzhitskiy A.O., Evgrafova S.L. Some specific features of the biochemical composition of the raw material of mint (*Mentha spicata* var. *crispa* L.). *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2022;77(6):342-346. <https://doi.org/10.3103/S0027131422060050>
23. Маланкина Е.Л., Солопов С.Г., Романова Н.Г. Взаимосвязь между биохимическими показателями и фенотипическими признаками чабера садового (*Satureja hortensis* L.) // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2023. Т. 26, № 4. С. 10-15. <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-04-02>
24. Тутельян В.А. *Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи* / Под ред. В.А. Тутельяна, К.И. Эллера. М., 2010. 180 с.
25. Воронина Е.П., Горбунов Ю.Н., Горбунова Е.О. *Новые ароматические растения для Нечерноземья*. М.: Наука, 2001. 172 с.
26. Kumar I., Sharma R.K. Production of Secondary Metabolites in Plants under Abiotic Stress: an Overview. Significances Bioeng. *Biosci*. 2018;2:196-200. <https://doi.org/10.31031/sbb.2018.02.000545>
27. Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N., Boulaaba M., Smaoui A. et al. Influence of Biological, Environmental and Technical Factors on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Tunisian Halophytes. *C.R. Biol*. 2008;331:865-873. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.07.024>
28. Kumari B., Tiwari B.K., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. Ultrasound-assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels: Profiling and Kinetic Modelling. *Int. J. Food Sci. Technol*. 2017;52:1432-1439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13404>

29. Marshall H., Scora R. A New Chemical Race of *Monarda fistulosa* (Labiatae). *Canadian Journal of Botany*. 1972;50(9):1845-1849.
30. Janicsák G., Máthé I., Miklóssy-Vári V. Comparative Studies of the Rosmarinic and Caffeic Acid Contents of *Lamiaceae* Species. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1999;27(7):733-738.
31. Berezina E., Brilkina A., Veselov A. Content of Phenolic Compounds, Ascorbic Acid, and Photosynthetic Pigments in *Vaccinium macrocarpon* Ait. Dependent on Seasonal Plant Development Stages and Age (the Example of Introduction in Russia). *Scientia Horticulturae*. 2017;218:139-146. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.020>
32. Ткачёва Е.Н. Особенности накопления полифенолов в сырье лекарственных растений из семейства Яснотковые // V научно-практическая конференция «Современные аспекты использования растительного сырья и сырья природного происхождения в медицине». 15 марта 2017 г. Москва: Изд-во Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, 2017. С. 217-219. EDN: YJJPQL.

References

1. Zaprometov M.N. *Phenolic compounds and their role in plant life*. Moscow, Russia: Nauka, 1996:45. (In Russ.)
2. Antonenko M.S., Mesnjankina V.S., Malankina E.L. Variety of active ingredients in leaves and flowers of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., depending on type of natural population. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;(3):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>
3. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic*. 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
4. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Kovalyov V., Desenko V. et al. Effect of Ecological Factors on the Accumulation of Phenolic Compounds in Iris Species from Latvia, Lithuania and Ukraine. *Phytochem. Anal.* 2020;31(5):545-563. <https://doi.org/10.1002/pca.2918>
5. Makarov S.S., Makarova T.A., Samoilenko Z.A., Makarov P.M. et al. Tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.) In Vitro and Ex Vitro propagation features. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;3:77-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-77-83>
6. Makarov S.S., Makarova T.A., Berdysheva E.A. Methods for obtaining plant materials of medicinal burnet (*Sanguisorba officinalis* L.) in the conditions of the Taiga zone of Western Siberia: a monograph. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:72. (In Russ.)
7. Makarov P.N., Makarov S.S., Makarova T.A., Samoilenko Z.A., Gulakova N.M. Microclonal reproduction of *Digitalis purpurea* L. and adaptation of regenerants in hydroponics. *Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2024;4:53-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-4-53-69>
8. Ampofo J., Ngadi M., Ramaswamy H.S. The Impact of Temperature Treatments on Elicitation of the Phenylpropanoid Pathway, Phenolic Accumulations and Antioxidative Capacities of Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Sprouts. *Food. Bioprocess. Technol.* 2020;13(9):1544-1555. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02496-9>
9. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Sci. Hortic*. 2018;239:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
10. Alhailthloul H.A.S, Galal F.H, Seufi A.M. Effect of Extreme Temperature Changes on Phenolic, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ*. 2021;9: e11193. <https://doi.org/10.7717/peerj.11193>

11. Zhukova O.L., Abramov A.A., Dargaeva T.D., Markaryan A.A. Study of the phenolic composition of the *Camarum Polustre* soil covered organs. *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2006;47(5):342-345. (In Russ.)
12. Isah T. Stress and Defense Responses in Plant Secondary Metabolites Production. *Biological Research*. 2019;52(1):39. <https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3>
13. Morison J.I., Lawlor D.W. Interactions between Increasing CO₂ Concentration and Temperature on Plant Growth. *Plant Cell Environment*. 1999;22(6):659-682. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x>
14. Shohael A.M., Ali M.B., Yu K.W., Hahn E.J., Paek K.Y. Effect of Temperature on Secondary Metabolites Production and Antioxidant Enzyme Activities in *Eleutherococcus senticosus* Somatic Embryos. *Plant Cell Tissue Organ Culture*. 2006;85(2):219-228. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9075-x>
15. Berini J.L., Brockman S.A., Hegeman A.D., Reich P.B. et al. Combinations of Abiotic Factors Differentially Alter Production of Plant Secondary Metabolites in Five Woody Plant Species in the Boreal-temperate Transition Zone. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1257. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01257>
16. Kim Y.S., Choi Y.E., Sano H. Plant Vaccination: Stimulation of Defense System by Caffeine Production in Planta. *Plant Signal Behavior*. 2010;5(5):489-493. <https://doi.org/10.4161/psb.11087>
17. De Luca V., Salim V., Atsumi S.M., Yu F. Mining the Biodiversity of Plants: a Revolution in the Making. *Science*. 2012;336(6089):1658-1661. <https://doi.org/10.1126/science.1217410>
18. Wurtzel E.T., Kutchan T.M. Plant Metabolism, the Diverse Chemistry Set of the Future. *Science*. 2016;353(6305):1232-1236. <https://doi.org/10.1126/science.aad2062>
19. Korovkin O.A., Cheryatova Yu.S. *Botany*. Moscow, Russia: KnoRus, 2024:464. (In Russ.) EDN: CBVVAR
20. Makarov P.N., Makarov S.S., Chudetsky A.I., Zaitsev A.L. *Biological features of growth and development of plants of the genus Monarda L. in closed and open ground conditions*. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:74. (In Russ.)
21. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kozlovskaya L.N. Medicinal plants of the Lamiaceae family as flavonoids sources. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2018;21(1):30-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06>
22. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kuzmenko A.N., Zaychik B.T., Ruzhitskiy A.O., Evgrafova S.L. Some specific features of the biochemical composition of the raw material of mint (*Mentha spicata* var. *crispa* L.). *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2022;77(6):342-346. <https://doi.org/10.3103/S0027131422060050>
23. Malankina E.L., Solopov S.G., Romanova N.G. Relationship between biochemical parameters and phenotypical features of garden savory (*Satureja hortensis* L.). *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2023;26(4):10-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-04-02>
24. Tutelyan V.A. *Methods of analysis of minor biologically active substances of food*. Ed. by V.A. Tutelyan, K.I. Eller. Moscow, Russia: 2010:180. (In Russ.)
25. Voronina E.P., Gorbunov Yu.N., Gorbunova E.O. *New aromatic plants for the Non-Black Earth region*. Moscow, Russia: Nauka, 2001:172. (In Russ.)
26. Kumar I., Sharma R.K. Production of Secondary Metabolites in Plants under Abiotic Stress: an Overview. *Significances Bioeng. Biosci*. 2018;2:196-200. <https://doi.org/10.31031/sbb.2018.02.000545>
27. Ksouri R., Megdiche W., Falleh H., Trabelsi N. et al. Influence of Biological, Environmental and Technical Factors on Phenolic Content and Antioxidant Activities of Tunisian Halophytes. *C.R. Biol*. 2008;331:865-873. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.07.024>

28. Kumari B., Tiwari B.K., Hossain M.B., Rai D.K., Brunton N.P. Ultrasound-assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels: Profiling and Kinetic Modelling. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2017;52:1432-1439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13404>
29. Marshall H., Scora R. A New Chemical Race of *Monarda fistulosa* (Labiatae). *Canadian Journal of Botany.* 1972;50(9):1845-1849.
30. Janicsák G., Máthé I., Miklóssy-Vári V. Comparative Studies of the Rosmarinic and Caffeic Acid Contents of *Lamiaceae* Species. *Biochemical Systematics and Ecology.* 1999;27(7):733-738.
31. Berezina E., Brilkina A., Veselov A. Content of Phenolic Compounds, Ascorbic Acid, and Photosynthetic Pigments in *Vaccinium macrocarpon* Ait. Dependent on Seasonal Plant Development Stages and Age (the Example of Introduction in Russia). *Scientia Horticulturae.* 2017;218:139-146. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.020>
32. Tkacheva E.N. Features of polyphenol accumulation in raw materials of medicinal plants from the Lamiaceae family. *V nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Sovremennyye aspekty ispolzovaniya rastitelnogo syrya i syrya prirodnogo proiskhozhdeniya v meditsine'*. March 15, 2017. Moscow, Russia: Perviy Moskovskiy gosudarstvenniy meditsinskiy universitet imeni I.M. Sechenova, 2017;217-219. (In Russ.)

Сведения об авторах

Елена Львовна Маланкина, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: malankina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904>

Елена Николаевна Еремеева, кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0000-8038-7564>

Вера Ивановна Терехова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой овощеводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–56–17; e-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8867-6539>

Information about the authors

Elena L. Malankina, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: malankina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904>

Elena N. Eremeeva, CSc (Ag), Lecturer at the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: e.tkacheva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0000-8038-7564>

Vera I. Terekhova, CSc (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department of Vegetable Growing, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 977–56–17; e-mail: v_terekhova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8867-6539>