

Научная статья

УДК 632.651:58.073

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-2-153-162>

## Влияние заражения *Meloidogyne incognita* на накопление фенольных соединений у растений рода Мята (*Mentha* L.)

Наталья Николаевна Буторина<sup>1</sup>, Петр Владимирович Лапшин<sup>2</sup>,  
Мария Сергеевна Плыкина<sup>3</sup>, Жанна Викторовна Удалова<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (ВНИИП – фил. ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН), Москва, Россия

<sup>1</sup> [nbut@list.ru](mailto:nbut@list.ru), <https://orcid.org/0000-0002-43022985>

<sup>2</sup> [tp.lapshin@mail.ru](mailto:tp.lapshin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7892-9985>

<sup>3</sup> [plykina.maria@yandex.ru](mailto:plykina.maria@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0006-6489-640X>

<sup>4</sup> [zh.udalova@gmail.com](mailto:zh.udalova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

### Аннотация

**Цель исследования** – сравнение накопления фенольных соединений в различных видах и сортах мяты, районированных в Средней полосе России, на фоне заражения растений *Meloidogyne incognita*.

**Материалы и методы.** Растения выращивали из черенков в вегетационном опыте в открытом грунте. Для исследования были взяты *Mentha × piperita* L. (сорта: Тик-Так, Апельсиновая, Миннеола, Мохито, Митчам, Шоколадная), *Mentha spicata* L. (сорта Марокко, Криспа) и *Mentha longifolia* L. (Лонгифолия). Через месяц укорененные растения заражали из расчета 1000 экз. инвазионных личинок *M. incognita* на растение. Через 8 нед. листья фиксировали в этаноле. Исследовали суммарное содержание фенольных соединений (ФС), фенилпропаноидов, флавоноидов и катехинов на спектрофотометре. Определение суммарного содержания ФС проводили с использованием реактива Фолина-Чекольте с измерением при 725 нм, фенилпропаноидов – прямым измерением оптической плотности при 330 нм, флавоноидов – по реакции с хлористым алюминием при 415 нм, общее содержание флаванов (катехинов – флаван-3-олов), их олигомерных форм – проантоцианидинов, а также лейкоантоцианидинов оценивали по реакции с ванилиновым реактивом в кислой среде при 500 нм.

**Результаты и обсуждение.** Показано, что накопление фенолов связано с видовой принадлежностью растений. В сортах *Mentha × piperita* L. в большинстве случаев содержалось больше фенолов, чем в *Mentha spicata* L. и *Mentha longifolia* L. Существенное количество фенольных соединений отмечено в фиолетово окрашенных сортах – Митчам, Шоколадная и Апельсиновая. Суммарное содержание ФС практически полностью коррелирует с содержанием их предшественников – фенилпропаноидов. По содержанию флавоноидов заметно выделяется сорт Митчам, а по содержанию катехинов – сорт Апельсиновая. Заражение нематодой у большинства сортов вызывает заметное увеличение общего накопления растворимых ФС, фенилпропаноидов и флаванов, но приводит к уменьшению содержания флавоноидов.

**Ключевые слова:** фенольные соединения, фенилпропаноиды, флавоноиды, флаваны, *Meloidogyne incognita*, *Mentha × piperita*, *Mentha spicata*, *Mentha longifolia*

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов отсутствует.**



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Для цитирования:** Буторина Н. Н., Лапшин П. В., Плыкина М. С., Удалова Ж. В. Влияние заражения *Meloidogyne incognita* на накопление фенольных соединений у растений рода Мята (*Mentha* L.) // Российский паразитологический журнал. 2024. Т. 18. № 2. С. 153–162.

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-2-153-162>

© Буторина Н. Н., Лапшин П. В., Плыкина М. С., Удалова Ж. В., 2024

Original article

## Effect of *Meloidogyne incognita* infection on the accumulation of phenolic compounds in plants of the genus Mint (*Mentha* L.)

Natalia N. Butorina<sup>1</sup>, Petr V. Lapshin<sup>2</sup>, Maria S. Plykina<sup>3</sup>, Zhanna V. Udalova<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Plant Physiology named after K. A. Timiryazev Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup> All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV” (VNIIP – FSC VIEV), Moscow, Russia

<sup>1</sup> [nbut@list.ru](mailto:nbut@list.ru), <https://orcid.org/0000-0002-43022985>

<sup>2</sup> [tp.lapshin@mail.ru](mailto:tp.lapshin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7892-9985>

<sup>3</sup> [plykina.maria@yandex.ru](mailto:plykina.maria@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0006-6489-640X>

<sup>4</sup> [zh.udalova@gmail.com](mailto:zh.udalova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

### Abstract

**The purpose of the research** is to compare the accumulation of phenolic compounds of different species and varieties of mint, zoned in Central Russia against the background of plant infection by *Meloidogyne incognita*.

**Materials and methods.** Plants were grown from cuttings in a growing experiment in open ground. *Mentha × piperita* L. (varieties: Tik-Tak, Orange, Minneola, Mojito, Mitchum, Chocolate), *M. spicata* L. (varieties Morocco, Crispa) and *M. longifolia* L. (*Longifolia*) were taken for the study. A month later, the rooted plants were infected at the rate of 1000 sp. infective larvae of *M. incognita* per plant. After 8 weeks leaves were fixed in ethanol. The total content of phenolic compounds (PC), phenylpropanoids, flavonoids and catechins was studied using a spectrophotometer. The determination of the total content of PC was carried out using the Folin-Cecolte reagent with measurement at 725 nm, phenylpropanoids – by direct measurement of optical density at 330 nm, flavonoids – by reaction with aluminum chloride at 415 nm, the total content of flavans (catechins - flavan-3-ols), their oligomeric forms – proanthocyanidins, as well as leucoanthocyanidins were assessed by reaction with vanillin at 500 nm.

**Results and discussion.** It has been shown that the accumulation of phenols is related to the species of plants. The varieties *Mentha × piperita* L. in most cases contained more phenols than *M. spicata* L. and *M. longifolia* L. A significant number of PC was noted in the violet-colored varieties Mitchum, Chocolate and Orange. The total content of PC almost completely correlates with the content of their precursors – phenylpropanoids. In terms of the content of flavonoids, the Mitchum variety stands out noticeably, and in terms of the content of catechins, the Orange variety stands out. Nematode infection in most varieties causes a noticeable increase in the total accumulation of soluble PC, phenylpropanoids and flavans, but leads to a decrease in the content of flavonoids.

**Keywords:** phenolic compounds, phenylpropanoids, flavonoids, flavans, *Meloidogyne incognita*, *Mentha × piperita*, *Mentha spicata*, *Mentha longifolia*

**Financial Disclosure:** none of the authors has financial interest in the submitted materials or methods.

**There is no conflict of interests.**

**For citation:** Butorina N. N., Lapshin P. V., Plykina M. S., Udalova Zh. V. Effect of *Meloidogyne incognita* infection on the accumulation of phenolic compounds in plants of the genus Mint (*Mentha* L.). *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal = Russian Journal of Parasitology*. 2024; 18(2):153–162. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-2-153-162>

© Butorina N. N., Lapshin P. V., Plykina M. S., Udalova Zh. V., 2024

## Введение

Мята (*Mentha* L.) — род растений семейства Яснотковые (*Lamiaceae*); является субкосмополитом, предпочитает влажные почвы. Растения широко используются как пряно-ароматические приправы в кулинарии, выделенные из них эфирные масла и основные химические компоненты – в косметике, в фито- и ароматерапии, в фармакологии. Многие лечебные эффекты мяты, а именно, антимикробная и противовирусная активности [16], а также антиоксидантные и антирадикальные свойства тесно связаны с высоким содержанием фенольных соединений (ФС) [11, 13, 17]. В самих растениях ФС действуют как антиоксиданты, структурные полимеры (лигнин), аттрактанты (флавоноиды и каротиноиды), УФ-экраны (флавоноиды), сигнальные соединения (салициловая кислота и флавоноиды) и химические вещества защитной реакции (танины и фитоалексины) [1, 6, 14, 15].

Несмотря на высокое содержание разнообразных вторичных метаболитов в надземных органах растений, корневая система мяты заражается галловыми нематодами, которые рассматриваются, как опасные паразиты при возделывании различных видов и сортов мяты. Мята заражается северной галловой нематодой *Meloidogyne hapla* [12]. В первый вегетационный период она может нанести незначительный ущерб; серьезные повреждения наблюдаются в последующие сезоны. В тропических и субтропических регионах южная галловая нематода (*M. incognita*) является одним из важнейших лимитирующих факторов успешного выращивания ментоловой мяты [19, 20, 22]. Поскольку нематода является эндопаразитом, её распространению способствуют зараженные надземные побеги и корневища, используемые для размножения данной культуры [20, 21]. Хотя проблема снижения продуктивности и качества сырья мяты может представлять серьезную про-

блему, исследований о влиянии нематод на экономически важные растения рода Мята и влиянии на ее химический состав невелико.

Целью нашей работы было сравнение накопления ФС различных сортов мяты, районированных в Средней полосе России. Сравнивали сорта между собой на фоне заражения растений *M. incognita*. В качестве показателей использовали суммарное содержание ФС, их предшественников – фенолпропаноидов, а также флавоноидов и мономерных флаванов – катехинов.

## Материалы и методы

Объектами исследования были растения 9 сортов мяты (*Mentha* L.), относящиеся к трем видам:

- *Mentha × piperita* L., сорта: Тик-Так, Апельсиновая, Миннеола, Мохито, Митчам, Шоколадная;
- *Mentha spicata* L., сорта Марокко и Криспа;
- *Mentha longifolia* L., сорт Лонгифолия,

Материал был получен из живой коллекции лекарственных растений РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Черенки с тремя междоузлиями были укоренены в лабораторных условиях. Укорененные растения выращивали в открытом грунте на специально оборудованных делянках с июня по сентябрь 2022 г. при естественной освещенности и температуре, характерной для Московского региона (в среднем, 18,2 °С). Через месяц после посадки растения мяты были заражены инокулятом *M. incognita* (1000 экз. инвазионных личинок). Через 8 недель после заражения образцы (взрослые вызревшие листья примерно месячного возраста) фиксировали для определения содержания ФС в зараженных и контрольных растениях.

Экстракцию из растительного материала проводили 96%-ным этанолом. Для этого навеску (300 мг) листьев заливали 1500 мкл 96%-ного этанола в пробирках Эппендорфа емко-

стью 1,7 мл, настаивали 10 сут при 20 °С, далее хранили при 4 °С. Экстракт использовали для спектрофотометрического определения ФС. Измерения оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре СФ26 (производство ЛОМО, Санкт-Петербург, Россия) в кварцевых кюветах с оптическим путем 0,5 см.

Определение суммарного содержания ФС проводили с использованием реактива Фолина-Чекольте [24] с измерением при 725 нм. Количество фенилпропаноидов определяли прямым измерением оптической плотности при 330 нм [7], содержание флавоноидов – по реакции с хлористым алюминием при 415 нм [2].

Один из классов флавоноидов – флаванов, включает мономерные катехины, наиболее широко распространенные в растениях. Общее содержание флаванов (катехинов – флаван-3-олов), их олигомерных форм – проантоцианидинов, а также лейкоантоцианидинов оценивали по реакции с ванилиновым реактивом в кислой среде (раствор ванилина в 70%-ной серной кислоте) с измерением при 500 нм [2, 3].

Расчет содержания различных классов ФС осуществляли по формуле:

$$E R V K / \Pi M = C \text{ (мкг/г сыр. массы),}$$

где E – оптическая плотность (показания спектрофотометра); R – разведение (разы); V – объем экстракта (мл); K – коэффициент пересчета по эталонному веществу;  $\Pi$  – оптический путь (0,5 см); M – сырая масса навески, мг.

Коэффициенты (K): для суммы ФС 1030 (калибровочную кривую строили по рутину), для фенилпропаноидов – 200 (по кофейной кислоте), для флавоноидов – 1010 (по рутину), для флаванов – 95 (по эпикатехину).

Эксперименты проводили в трех биологических и 2–3 аналитических повторностях. На графиках и в таблицах приведены средние арифметические значения определений и их стандартные отклонения. Полученные данные обрабатывали статистически с использованием программы Statistica для MS Windows.

### Результаты и обсуждение

ФС содержат бензольные кольца с одним или несколькими гидроксильными заместителями и варьируются от простых фенольных молекул до высокополимеризованных соединений [27]. Образуются они в растениях, как

правило, по двум синтетическим путям: поликетидным и шикиматным. Первый происходит в пластидах, как и биосинтез терпеноидов, которые в большом количестве представлены в мяте, второй, на эндоплазматическом ретикулуме. Распределение их в тканях растения показывает, что наружные слои часто содержат более высокие уровни ФС, чем их внутренние части [11].

Одним из основных показателей при оценке способности растительных тканей к образованию ФС является определение их суммарного содержания. Он свидетельствует об общей биосинтетической способности растительных тканей в отношении накопления этих представителей вторичных метаболитов [4].

Результаты приведены в таблице 1 и на рисунке 1. Суммарное содержание ФС между разными сортами в листьях различалось примерно в 6 раз (рис. 1, А). Наибольшее накопление ФС отмечено для сортов Митчам, Шоколадная и Апельсиновая. Интересно, что фиолетовая окрашенность листьев характерна именно для этих сортов. На фоне поражения нематодой были отмечены значительные изменения: шесть из девяти сортов отреагировали существенным увеличением накопления ФС, особенно сорта Мохито, Морокко и Криспа: в 2–5 раз. Такая реакция, вероятно, является ответом растений на стресс. Однако, у трех сортов: Лонгифолия, Митчам и Шоколадная, сумма ФС уменьшилась примерно на 20–40%.

Необходимо отметить, что растения Лонгифолии, также как и Апельсиновой в большей степени заразились нематодой и в галлах этих растений содержались зрелые самки с яйцевыми мешками, в отличие от всех остальных представителей мяты.

Фенилпропаноиды представляют собой биогенетически ранние соединения фенольного метаболизма, которые могут как накапливаться в растениях в свободном виде, так и использоваться в биосинтезе других метаболитов фенольной природы [4]. Они синтезируются шикиматным путём, преимущественно через аминокислоту фенилаланин. Характерным структурным фрагментом является бензольное кольцо с присоединённой к нему неразветвленной трёхуглеродной цепью. Фенилпропаноиды обладают широким спектром функций: защищают от травоядных животных, микробных заболеваний

Таблица 1 [Table 1]

Содержание фенольных соединений 9 сортов мяты  
[Content of phenolic compounds of 9 varieties of mint]

Сорт мяты [Mint variety]	Сумма фенольных соединений [Total phenolic compounds]		Фенилпропаноиды [Phenylpropanoide]		Флавоноиды [Flavonoids]		Флаваны [Flavanes]	
	мг-экв. рутина/г сырой массы [mEq. rutin/g wet weight]		мг-экв. кофейной кислоты/г сырой массы [mEq. caffeic acid/g wet weight]		мг-экв. рутина/г сырой массы [mEq. rutin/g wet weight]		мг-экв. (-)эпикатехина/г сырой массы [mEq. (-)epicatechin/g wet weight]	
	контроль [control]	опыт [experiment]	контроль [control]	опыт [experiment]	контроль [control]	опыт [experiment]	контроль [control]	опыт [experiment]
Тик-Так	6,89±0,34	8,35±0,42	28,63±1,43	36,6±1,83	5,32±0,27	1,81±0,09	0,62±0,03	1,18±0,06
Лонгифолия	4,73±0,24	3,65±0,18	25,6±1,28	27,1±1,35	3,18±0,16	1,91±0,10	0,65±0,03	1,14±0,06
Миннеола	12,1±0,60	16,7±0,84	32,4±1,62	41,3±2,07	6,38±0,32	1,28±0,06	0,75±0,04	0,82±0,04
Мохито	6,15±0,31	33,8±1,69	28,2±1,41	107±5,35	4,08±0,20	8,08±0,40	0,78±0,04	1,24±0,06
Митчам	32,0±1,60	24,6±1,23	103±5,18	85,3±4,27	18,1±0,90	16,4±0,82	1,35±0,07	1,46±0,07
Апельсиновая	24,1±1,21	32,0±1,60	80,4±4,02	95,2±4,76	12,0±0,60	7,35±0,37	3,3±0,17	3,08±0,15
Шоколадная	28,5±1,43	18,6±0,93	74,4±3,72	54,4±2,72	10,4±0,52	3,07±0,15	1,66±0,08	1,32±0,07
Марокко	5,06±0,25	25,2±1,26	26,7±1,33	74,9±3,75	0,98±0,05	1,53±0,08	0,86±0,04	0,49±0,02
Кристиа	17,0±0,85	32,9±1,64	67,5±3,37	97,9±4,89	5,34±0,27	1,41±0,07	1,2±0,06	1,36±0,07

и ультрафиолета; служат структурными компонентами клеточных стенок, прекурсорами пигментов, выполняют роль сигнальных молекул [14]. У исследованных сортов мяты содержание фенилпропаноидов практически полностью повторяло соотношение суммарного уровня накопления ФС между сортами и их реакцию на заражение нематодой (рис. 1, Б). Значения отличались в пределах 10–15%. Исключение составлял только сорт Лонгифолия, у которого содержание как суммы ФС, так и фенилпропаноидов было невысоким.

Флавоноиды относятся к растительным ФС С6-С3-С6 ряда, у которых два бензольных ядра, соединенные между собой трехуглеродной цепочкой. Флавоноиды представляют наиболее многочисленную и важную группу ФС в растениях, их число превышает несколько тысяч [5]. Одной из важнейших функций флавоноидов является защита растений от внешних неблагоприятных абиотических и биотических факторов.

Долгое время считалось, что в основе биологического действия ФС лежат их антиоксидантные свойства в условиях окислительного стресса [25, 28], но оказалось все гораздо сложнее. Они являются сигнальными молекулами в ауксиновом обмене, оказывают влияние на сигнальные процессы, протекающие в живых системах, за счет специфического взаимодействия с белками, выполняющими регуляторные функции [26]. Накоплены многочисленные сведения о воздействии данных соединений с другими белковыми и небелковыми структурами, что может привести к изменению функционального состояния клеток и всего организма в целом [9].

При измерении содержания этого класса ФС (рис. 1, В) не отмечено прямой корреляции с суммарным ФС в этих сортах; флавоноиды составляли разную долю от общего накопления ФС. Однако, по накоплению флавоноидов заметно выделялись сорта Митчам, Апельсиновая и Шоколадная. Эти сорта характеризуются отчетливым фиолетовым окрашиванием листьев и стеблей, следовательно, с высоким содержанием флавоноидов-антоцианов. Остальные 6 сортов имели показатели в 2–18 раз ниже; самые низкие значения у

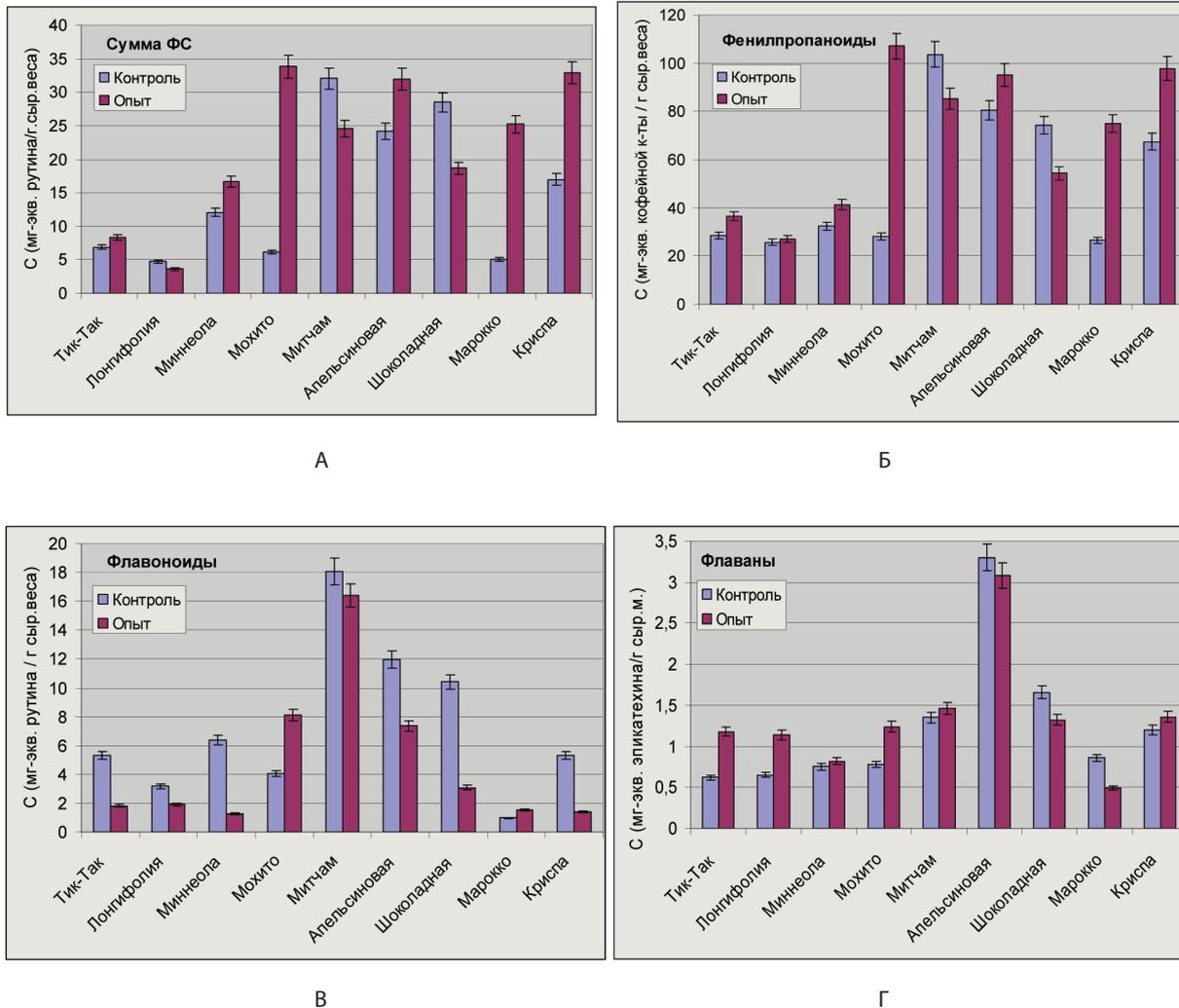


Рис. 1. Содержание фенольных соединений в различных сортах мяты при поражении *Meloidogyne incognita*:

А – сумма фенольных соединений; Б – фенилпропаноиды; В – флавоноиды; Г – флаваны (контроль – здоровые растения мяты; опыт – зараженные галловой нематодой)

[Fig. 1. Content of phenolic compounds in various varieties of mint when infected with *Meloidogyne incognita*:

А – the sum of phenolic compounds; Б – phenylpropanoids; В – flavonoids; Г – flavans (control – healthy mint plants; experiment – infected with root-knot nematode)

сорт Марокко и Лонгифолия. Заражение нематодой у большинства сортов (7 из 9) вызвало уменьшение накопления флавоноидов до 6 раз (у сорта Миннеола) и примерно в 3 раза у сортов Шоколадная и Криспа. В тоже время, два сорта отреагировали на заражение нематодой некоторым увеличением содержания флавоноидов: сорт Мохито в 2 раза, Марокко в 1,5 раза.

Один из классов флавоноидов – флаваны, включает мономерные катехины, широко распространенные в растениях. При полимеризации катехинов образуются олигомерные формы – проантоцианидины, включающие

чаще всего от 2 до 6 мономерных субъединиц [4]. При определении флаванов заметно выделялся относительно остальных сорт Апельсиновая с превышением от 2 до 5,5 раз (рис. 1, Г). Заражение нематодой вызвало у 6 сортов из 9 некоторое увеличение содержания флаванов: у сортов Тик-Так и Лонгифолии примерно в два раза, но из-за общего низкого их уровня уверенно говорить о количественных изменениях сложно. У сорта Апельсиновая, имевшего максимальный уровень флаванов относительно остальных сортов, заражение нематодой вызвало небольшое сокращение их накопления.

Хотя реакции гиперчувствительности подразумевают накопление фенолов вблизи мест питания галловой нематоды *M. incognita*, что было показано в различных исследованиях по устойчивости растений к нематоде [10, 23], к сожалению, прямая корреляция между содержанием ФС и заражением галловой нематодой наблюдалась только для сорта Лонгифолия. По-видимому, данный процесс гораздо сложнее, о чем сообщается в работе Оливейра с соавт. [18] и зависит не только от качественного и количественного состава этих соединений.

При исследовании содержания эфирных масел, в числе которых имеются разнообразные ФС, была получена иная картина и в контроле, и в опыте [8]. В здоровых растениях высокое накопление этих соединений наблюдали в сортах Мохито, Марокко, Тик-Так; единственным схожим по накоплению с ФС был сорт Шоколадная; в нем содержалось существенно больше эфирных масел. В отличие от ФС, при заражении нематодой наблюдали либо падение уровня эфирных масел, либо он оставался прежним, за исключением сорта Криспа со значимым увеличением уровня эфирного масла.

### Заключение

Из полученных данных видно, что накопление фенолов связано с видовой принадлежностью растений. Сорта *Mentha × piperita* L. в большинстве случаев содержали больше фенолов, чем *Mentha spicata* L. и *Mentha longifolia* L. Значительное количество ФС установлено в сортах Митчам, Шоколадная и Апельсиновая. Суммарное содержание экстрагируемых этанолом ФС практически полностью коррелирует с содержанием их предшественников – фенилпропаноидов. По содержанию флавоноидов заметно выделяется сорт Митчам, а по содержанию катехинов – сорт Апельсиновая. Заражение нематодой у большинства сортов вызывает заметное увеличение общего накопления растворимых ФС, фенилпропаноидов и флаванов, но приводит к уменьшению содержания флавоноидов.

### Список источников

1. Загоскина Н. В., Дубравина Г. А., Алявина А. К., Гончарук Е. А. Влияние ультрафиолетовой (УФ-Б) радиации на образование и локализацию фенольных соединений в каллусных культу-

рах чайного растения // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 2. С. 302-308.

2. Запрометов М. Н. Фенольные соединения и методы их исследования // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 185-197.
3. Запрометов М. Н. Основы биохимии фенольных соединений. Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1974. 214 с.
4. Запрометов М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М.: Наука, 1993. 272 с.
5. Запрометов М. Н. Фенольные соединения и их роль в жизни растения: 56-е Тимирязевское чтение. М.: Наука, 1996. 45 с.
6. Меньщикова Е. Б., Ланкин В. З., Кандалинцева Н. В. Фенольные антиоксиданты в биологии и медицине. Строение, свойства, механизмы действия. Изд. Lambert AP, 2012. 488 с.
7. Куркин В. А., Вельмяйкина Е. И. Разработка методик качественного и количественного анализа сиропа эхинацеи пурпурной // Фармация. 2011. № 7. С. 10-13.
8. Плыкина М. С., Буторина Н. Н. Влияние заражения нематодой *Meloidogyne incognita* на содержание эфирного масла в растениях рода *Mentha* // «Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения»: сборник трудов X Международной научно-практической конференции молодых ученых. М., 2022. С. 64-67.
9. Червяковский Е. М., Курченко В. П., Костюк В. А. Роль флавоноидов в биологических реакциях с переносом электронов // Труды Белорусского государственного университета. 2009. Т. 4, Ч. 1. С. 9-26.
10. Albuquerque E. V. S., Carneiro R. M. D. G., Costa P. M., Gomes A. C. M. M., Santos M., Pereira A. A., Nicole M., Fernandez D., Grossi-de-Sa M. F. Resistance to *Meloidogyne incognita* expresses a hypersensitive-like response in *Coffea Arabica*. Eur. J. Plant Pathol. 2010; 127: 365-373.
11. Brown N., John J. A., Shahidi F. Polyphenol composition and antioxidant potential of mint leaves. Food Production, Processing and Nutrition. 2019; 1: 1. <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0001-8>
12. Ingham R., Merrifield K. A guide to nematode biology and management in mint. I PPC Publication, Oregon State University Corvallis, OR, 1996. 37.
13. Dorman H. J. D., Kosar M. B., Kahlos K., Holm Y., Hiltunen R. Antioxidant properties and

- composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars. *Journal Agric. Food Chem.* 2003; 51: 4563–4569.
14. Lattanzio V., Kroon P. A., Quideau S., Treutter D. Plant Phenolics – Secondary Metabolites with Diverse Functions. *Recent Advances in Polyphenol Research*. Eds. Daayf F, Lattanzio V. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2008; 1. 1-35.
  15. Lin D., Xiao M., Zhao J., Li Zh., Xing B., Li X., Kong M., Li L., Zhang Q., Liu Y., Chen H., Qin W., Wu H., Chen S. An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*. 2016; 21 (10): 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
  16. Mimica-Dukic N., Bozin B. *Mentha L.* species (Lamiaceae) as promising sources of bioactive secondary metabolites. *Curr Pharm Design*. 2008; 14: 3141–3150. <https://doi.org/10.2174/138161208786404245>
  17. Najafian S., Rowshan V. Polyphenolic compounds of *Mentha longifolia* and Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) in Iran. *International Research Journal of Basic and Applied Sciences*. 2013; 4 (3): 608-612.
  18. Oliveiraa D. F., Costaa V. A., Terrab W. C., Camposb V. P., Paulaa P. M., Martinsc S. J. Impact of phenolic compounds on *Meloidogyne incognita* in vitro and in tomato plants. *Experimental Parasitology*. 2019; 17: 23. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.02.009>.
  19. Pandey R. Field application of bio-organics in the management of *Meloidogyne incognita* in *Mentha arvensis*. *Nematologia Medit.* 2005; 33 (1): 51-54.
  20. Pandey R. Management of *Meloidogyne incognita* in *Artemisia pallens* with Bio-organics. *Phytoparasitica*. 2005; 33 (3): 304-308.
  21. Pandey R., Kalra A. Inhibitory effects of vermicompost produced from agro-waste of medicinal and aromatic plants on egg hatching in *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Current Science*. 2010; 98 (6): 833-835.
  22. Pandey R., Mishra A. K., Tiwari S., Singh H. N., Kalra A. Enhanced tolerance of *Mentha arvensis* against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood through mutualistic endophytes and PGPRs. *Journal of Plant Interactions*. 2011; 6 (4): 247-253. <https://doi.org/10.1080/17429145.2011.554892>
  23. Pegard A., Brizzard G., Fazari A., Soucaze O., Abad P., Djian-Caporalino C. Histological characterization of resistance to different root-knot nematode species related to phenolics accumulation in *Capsicum annum*. *Phytopathology*. 2005; 95 (2):158-165.
  24. Sánchez-Rangel J. C., Benavides J., Heredia J. B., Cisneros-Zevallos L., Jacobo-Velázquez D. A. The Folin-Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical Methods*. 2013; 21 (5): 5990-5999.
  25. Soobrattee M. A., Neergheen V. S., Luximon-Ramma A., Aruoma O. I., Bahorun T. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research*. 2005; 579 (1-2): 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.03.023>
  26. Stevenson D. E., Hurst R. D. Polyphenolic phytochemicals – just antioxidants or much more? *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2007; 64 (22): 2900-2916.
  27. Velderrain-Rodríguez G. R., Palafox-Carlos H., Wall-Medrano A., AyalaZavala J. F., Chen C.-Y. O., Robles-Sanchez M., Astiazaran-García H., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar G. A. Phenolic compounds: Their journey after intake. *Food Funct*. 2014; 5: 189–197. <https://doi.org/10.1039/C3FO60361J>.
  28. Willcox J. K., Ash S. L., Catignani G. L. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004; 44 (4): 275-295. <https://doi.org/10.1080/10408690490468489>

Статья поступила в редакцию 09.11.2023; принята к публикации 15.05.2024

Об авторах:

**Буторина Наталья Николаевна**, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-43022985, [nbut@list.ru](mailto:nbut@list.ru)

**Лапшин Петр Владимирович**, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук» (127276, Москва, Ботаническая ул., 35), Москва, Россия, кандидат биологических наук, ORCID: 0000-0001-7892-9985, [p.lapshin@mail.ru](mailto:p.lapshin@mail.ru).

**Плыкина Мария Сергеевна**, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, ORCID: 0009-0006-6489-640X, [plykina.maria@yandex.ru](mailto:plykina.maria@yandex.ru)

**Удалова Жанна Викторовна**, ВНИИП – фил. ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН (117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, 28), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-8254-4495, zh.udalova@gmail.com

*Вклад соавторов:*

**Буторина Наталья Николаевна** – разработка дизайна исследования и его проведение, анализ и интерпретация полученных данных, написание и подготовка статьи.

**Лапшин Петр Владимирович** – проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных.

**Плыкина Мария Сергеевна** – проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных.

**Удалова Жанна Викторовна** – анализ и интерпретация полученных данных, написание статьи.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## References

- Zagoskina N. V., Dubravina G. A., Alyavina A. K., Goncharuk E. A. Effect of ultraviolet (UV-B) radiation on the formation and localization of phenolic compounds in callus cultures of the tea plant. *Fiziologiya rasteniy = Plant Physiology*. 2003; 50 (2): 302-308. (In Russ.)
- Zaprometov M. N. Phenolic compounds and methods of their research. *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy = Biochemical methods in plant physiology*. M.: Nauka, 1971; 185-197. (In Russ.)
- Zaprometov M. N. Fundamentals of biochemistry of phenolic compounds. Textbook allowance. M.: Higher School, 1974; 214. (In Russ.)
- Zaprometov M. N. Phenolic compounds: distribution, metabolism and functions in plants. M.: Nauka, 1993; 272. (In Russ.)
- Zaprometov M. N. Phenolic compounds and their role in plant life: 56th Timiryazev reading. M.: Nauka, 1996; 45. (In Russ.)
- Menshchikova E. B., Lankin V. Z., Kandalintseva N. V. Phenolic antioxidants in biology and medicine. Structure, properties, mechanisms of action. Ed. Lambert A. P., 2012; 488. (In Russ.)
- Kurkin V. A., Velmyaykina E. I. Development of methods for qualitative and quantitative analysis of *Echinacea purpurea* syrup. *Farmaciya = Pharmacy*. 2011; 7: 10-13. (In Russ.)
- Plykina M. S., Butorina N. N. The influence of infection with the nematode *Meloidogyne incognita* on the content of essential oil in plants of the genus *Mentha*. «*Sovremennyye tendentsii razvitiya tekhnologiy zdorov'yesberezeniya*»: *sbornik trudov KH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh = "Modern trends in the development of health-saving technologies": collection of proceedings of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. M., 2022; 64-67. (In Russ.)
- Chervyakovsky E. M., Kurchenko V. P., Kostyuk V. A. The role of flavonoids in biological reactions with electron transfer. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Belarusian State University*. 2009; 4 (1): 9-26. (In Russ.)
- Albuquerque E. V. S., Carneiro R. M. D. G., Costa P. M., Gomes A. C. M. M., Santos M., Pereira A. A., Nicole M., Fernandez D., Grossi-de-Sa M. F. Resistance to *Meloidogyne incognita* expresses a hypersensitive-like response in *Coffea Arabica*. *Eur. J. Plant Pathol.* 2010; 127: 365-373.
- Brown N., John J. A., Shahidi F. Polyphenol composition and antioxidant potential of mint leaves. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2019; 1: 1. <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0001-8>
- Ingham R., Merrifield K. A guide to nematode biology and management in mint. IPPC Publication, Oregon State University Corvallis, OR, 1996. 37.
- Dorman H. J. D., Kosar M. B., Kahlos K., Holm Y., Hiltunen R. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars. *Journal Agric. Food Chem.* 2003; 51: 4563-4569.
- Lattanzio V., Kroon P. A., Quideau S., Treutter D. Plant Phenolics – Secondary Metabolites with Diverse Functions. Recent Advances in Polyphenol Research. Eds. Daayf F., Lattanzio V. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2008; 1. 1-35.
- Lin D., Xiao M., Zhao J., Li Zh., Xing B., Li X., Kong M., Li L., Zhang Q., Liu Y., Chen H., Qin W., Wu H., Chen S. An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. *Molecules*. 2016; 21 (10): 1374. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- Mimica-Dukic N., Bozin B. *Mentha L.* species (Lamiaceae) as promising sources of

- bioactive secondary metabolites. *Curr Pharm Design*. 2008; 14: 3141–3150. <https://doi.org/10.2174/138161208786404245>
17. Najafian S., Rowshan V. Polyphenolic compounds of *Mentha longifolia* and Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) in Iran. *International Research Journal of Basic and Applied Sciences*. 2013; 4 (3): 608-612.
  18. Oliveiraa D. F., Costaa V. A., Terrab W. C., Camposb V. P., Paulaa P. M., Martinsc S. J. Impact of phenolic compounds on *Meloidogyne incognita* in vitro and in tomato plants. *Experimental Parasitology*. 2019; 17: 23. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2019.02.009>.
  19. Pandey R. Field application of bio-organics in the management of *Meloidogyne incognita* in *Mentha arvensis*. *Nematologia Medit*. 2005; 33 (1): 51-54.
  20. Pandey R. Management of *Meloidogyne incognita* in *Artemisia pallens* with Bio-organics. *Phytoparasitica*. 2005; 33 (3): 304-308.
  21. Pandey R., Kalra A. Inhibitory effects of vermicompost produced from agro-waste of medicinal and aromatic plants on egg hatching in *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Current Science*. 2010; 98 (6): 833-835.
  22. Pandey R., Mishra A. K., Tiwari S., Singh H. N., Kalra A. Enhanced tolerance of *Mentha arvensis* against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood through mutualistic endophytes and PGPRs. *Journal of Plant Interactions*. 2011; 6 (4): 247-253. <https://doi.org/10.1080/17429145.2011.554892>
  23. Pegard A., Brizzard G., Fazari A., Soucaze O., Abad P., Djian-Caporalino C. Histological characterization of resistance to different root-knot nematode species related to phenolics accumulation in *Capsicum annum*. *Phytopathology*. 2005; 95 (2): 158-165.
  24. Sánchez-Rangel J. C., Benavides J., Heredia J. B., Cisneros-Zevallos L., Jacobo-Velázquez D. A. The Folin-Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical Methods*. 2013; 21 (5): 5990-5999.
  25. Soobrattee M. A., Neergheen V. S., Luximon-Ramma A., Aruoma O. I., Baharun T. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research*. 2005; 579 (1-2): 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.03.023>
  26. Stevenson D. E., Hurst R. D. Polyphenolic phytochemicals – just antioxidants or much more? *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2007; 64 (22): 2900-2916.
  27. Velderrain-Rodríguez G. R., Palafox-Carlos H., Wall-Medrano A., AyalaZavala J. F., Chen C.-Y. O., Robles-Sanchez M., Astiazaran-García H., Alvarez-Parrilla E., González-Aguilar G. A. Phenolic compounds: Their journey after intake. *Food Funct*. 2014; 5: 189–197. <https://doi.org/10.1039/C3FO60361J>.
  28. Willcox J. K., Ash S. L., Catignani G. L. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004; 44 (4): 275-295. <https://doi.org/10.1080/10408690490468489>

The article was submitted 09.11.2023; accepted for publication 15.05.2024

*About the authors:*

**Butorina Natalya N.**, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (119071, Russia, Moscow, Leninsky Ave., 33), Moscow, Russia, Candidate of Biological Sciences, ORCID ID: 0000-0002-43022985, nbut@list.ru

**Lapshin Petr V.**, Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Plant Physiology named after. K. A. Timiryazev Russian Academy of Sciences" (127276, Moscow, Botanicheskaya st., 35), Moscow, Russia, Candidate of Biological Sciences, ORCID: 0000-0001-7892-9985, p.lapshin@mail.ru.

**Plykina Maria S.**, A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (119071, Moscow, Leninsky Ave., 33), Moscow, Russia, ORCID: 0009-0006-6489-640X, plykina.maria@yandex.ru

**Udalova Zhanna V.**, VNIIP – FSC VIEV (28, Bolshaya Cheremushkinskaya st., Moscow, 117218), A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (33, Russia, Leninsky Ave., Moscow, 119071), Moscow, Russia, PhD in biol. sc., ORCID ID: 0000-0002-8254-4495, zh.udalova@gmail.com

*Contribution of co-authors:*

**Butorina Natalya N.** – development of the study design and its implementation, analysis and interpretation of the data obtained, writing and preparation of the article.

**Lapshin Petr V.** – conducting research, analyzing and interpreting the data obtained.

**Plykina Maria S.** – conducting research, analyzing and interpreting the data obtained.

**Udalova Zhanna V.** – analysis and interpretation of the data obtained, writing the article.

*All authors have read and approved the final manuscript.*