

Научная статья/Research Article

УДК 633.82:631.8

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-86-94

Инна Валерьевна Князева

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

knyazewa.inna@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ *BACILLUS SUBTILIS* НА РОСТ И РАЗВИТИЕ МЯТЫ ДЛИННОЛИСТНОЙ (*MENTHA LONGIFOLIA* L.) И МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ (*MELISSA OFFICINALIS* L.) ПРИ ГИДРОПОННОМ ВЫРАЩИВАНИИ

Цель исследования – оценка влияния бактерий *Bacillus subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) на рост и развитие лекарственных растений (*Mentha longifolia* L. и *Melissa officinalis* L.) при выращивании методом гидропоники в условиях закрытых агроэкосистем. Штаммы 10-4 и 26D *B. Subtilis* по-разному воздействовали на ростовые процессы (увеличение площади и числа листьев, прирост биомассы), а также на содержание фотосинтетических пигментов. Обработка штаммом 10-4 оказала наиболее эффективное влияние на продуктивность, повысив прирост биомассы на 84,0 % у мяты длиннолистной и на 52,8 % у мелиссы лекарственной по сравнению с контрольными растениями. В листьях мяты длиннолистной наблюдалась самая высокая концентрация Chl a, Chl b и общего содержания Chl(a+b) (10,60; 3,66 и 14,26 мг/г сырой биомассы соответственно) при обработке *B. subtilis* 26D, в то время как у мелиссы лекарственной максимальное накопление хлорофиллов отмечалось при обработке *B. subtilis* 26D и 10-4 по сравнению с контролем. Эти данные свидетельствуют, что воздействие бактериальной культуры на растения является видоспецифическим. То есть обработка *B. subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) не вызывает одинаковых эффектов или реакций в одинаковой степени у изучаемых растений, ответные реакции характерны для индивидуальной комбинации растений и бактерий. Понимание этих процессов поможет разработать эффективные методы повышения продуктивности и качества эфиромасличных культур в условиях контролируемого выращивания.

Ключевые слова: *Mentha longifolia* (L.) Huds, *Melissa officinalis* L., *Bacillus subtilis*, рост и развитие лекарственных растений, пигменты, гидропоника

Для цитирования: Князева И.В. Влияние бактерий *Bacillus subtilis* на рост и развитие мяты длиннолистной (*Mentha longifolia* L.) и мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.) при гидропонном выращивании // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7. С. 86–94. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-86-94.

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственных заданий Минобрнауки РФ № FGUN-2025-0008 и № 122041400162-3.

Inna Valerievna Knyazeva

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

knyazewa.inna@yandex.ru

INFLUENCE OF *BACILLUS SUBTILIS* BACTERIA ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF HORSE MINT (*MENTHA LONGIFOLIA* L.) AND LEMON BALM (*MELISSA OFFICINALIS* L.) UNDER HYDROPONIC CULTIVATION

The aim of the study is to evaluate the effect of *Bacillus subtilis* bacteria (strains 10-4 and 26D) on the growth and development of medicinal plants (*Mentha longifolia* L. and *Melissa officinalis* L.) when grown hydroponically in closed agroecosystems. Strains 10-4 and 26D *B. subtilis* had different effects on growth processes (increase in the area and number of leaves, biomass gain), as well as on the content of photosynthetic pigments. Treatment with strain 10-4 had the most effective effect on productivity, increasing bio-

mass gain by 84.0 % in horse mint and by 52.8 % in lemon balm compared to the control plants. The highest concentration of Chl a, Chl b and total Chl(a+b) (10.60, 3.66 and 14.26 mg/g wet biomass, respectively) was observed in mint leaves treated with *B. subtilis* 26D, while in lemon balm the maximum accumulation of chlorophylls was observed in *B. subtilis* 26D and 10-4 compared to the control. These data indicate that the effect of the bacterial culture on plants is species-specific. That is, the treatment with *B. subtilis* (strains 10-4 and 26D) does not cause the same effects or reactions to the same extent in the studied plants, the responses are characteristic of an individual combination of plants and bacteria. Understanding these processes will help to develop effective methods for increasing the productivity and quality of essential oil crops under controlled cultivation conditions.

Keywords: *Mentha longifolia* (L.) Huds, *Melissa officinalis* L., *Bacillus subtilis*, growth and development of medicinal plants, pigments, hydroponics

For citation: Knyazeva IV. Influence of *Bacillus subtilis* bacteria on growth and development of horse mint (*Mentha longifolia* L.) and lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under hydroponic cultivation. *Bulletin of KSAU*. 2025;(7):86-94. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-7-86-94.

Financing: the study was carried out within the framework of state assignments of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation № FGUN-2025-0008 and № 122041400162-3.

Введение. В настоящее время традиционное сельское хозяйство сталкивается с рядом проблем, таких как низкое плодородие почв, наличие сорняков и вредителей, использование пестицидов, а также климатические изменения. Альтернативные системы растениеводства, в частности гидропонные, требующие ограниченного количества субстрата и воды, играют важную роль в развитии будущего городского сельского хозяйства [1].

Лекарственные растения обладают разнообразными биологическими свойствами, играющими важную роль в профилактике и лечении различных заболеваний [2]. Так, Melissa лекарственная (Melissa лимонная) с давних времен использовалась для лечения различных заболеваний [3], включая бессонницу, в датской народной медицине [4], в народной медицине Австрии чай с мелиссой и наружное применение ее эфирного масла использовались для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, нервной системы, печени и желчевыводящих путей [5]. В Хорватии мелисса использовалась для лечения ангины и кашля [6]. Растения рода *Mentha* (мята) являются одними из важнейших культур в производстве эфирных масел во всем мире и широко используются в качестве ароматизаторов в пищевых продуктах, зубной пасте, фармацевтических препаратах и косметике [7]. Благодаря обильному содержанию фенольных соединений водные экстракты и эфирное масло растений мяты являются потенциальными природными антиоксидантами [8].

Во многих предыдущих исследованиях [9, 10] сообщалось о важной роли *Bacillus subtilis* в ка-

честве биоинокулянта для стимулирования роста и биологического контроля различных сельскохозяйственных культур, таких как пшеницы, риса, кукурузы, капусты, огурца, перца, арбуза, а также лекарственных растений [11, 12].

Разные штаммы *B. subtilis* различаются по своей способности стимулировать рост растений, контролировать фитопатогены и успешно колонизировать корни [13]. В литературе имеются данные о том, что бактериальная инокуляция *B. subtilis* L2 значительно увеличила биомассу (на 18 %), площадь (на 30 %) и количество листьев (на 21 %) растений имбиря по сравнению с контролем [14]. *B. subtilis* B117 оказал существенное влияние на рост и накопление вторичных метаболитов у мелиссы лекарственной [15], при этом воздействие *B. subtilis* на базилик душистый (*Ocimum basilicum*) привело к увеличению длины побегов и корней, количества листьев, площади листьев и биомассы [16].

Симбиотические взаимодействия между эндифитными бактериями и растениями обеспечивают лучшие условия обитания и защиты для микроорганизмов. В свою очередь, это позволяет бактериям повышать усвоение питательных веществ растениями и продуцировать метаболиты, играющие ключевую роль в реализации рост-стимулирующего эффекта [17]. Так, ранее было выявлено, что штаммы *B. subtilis* 10-4 и 26D обладают способностью продуцировать такие соединения, как сидерофоры, индол-3-уксусную кислоту (ИУК), и фиксировать атмосферный азот, что усиливает процессы роста растений, к примеру фасоли обыкновенной и пшеницы [18]. Стимулирование роста пророст-

ков может быть связано с соединениями гормональной природы, вырабатываемыми микроорганизмами [19, 20], мобилизацией питательных веществ или с изменением редокс-метаболизма проростков [21]. Например, Zhang et al. [22] обнаружили, что синтезируемые бактериями *B. subtilis* летучие органические соединения (ЛОС) способствуют росту растений за счет увеличения накопления ауксина в корнях.

Несмотря на то, что применение гидропоники является экологически чистым подходом устойчивого растениеводства, данные о влиянии *B. subtilis* на рост и развитие лекарственных культур в условиях закрытых агроэкосистем практически отсутствуют.

Цель исследования – оценка влияния бактерий *Bacillus subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) на рост и развитие лекарственных растений (*Mentha longifolia* L. и *Melissa officinalis* L.) при выращивании методом гидропоники в условиях закрытых агроэкосистем.

Объекты и методы. В работе использовали два штамма эндофитных PGPB *B. subtilis* (10-4 и 26D). Штамм 10-4 (рег. номер в ВКПМ В-12988) выделен из пахотных почв Республики Башкортостан в Башкирском НИИСХ УФИЦ РАН (г. Уфа, Россия), идентифицирован и охарактеризован [23]; способен продуцировать ауксины, сидерофоры, фиксировать атмосферный азот, индуцировать рост и стресс-устойчивость растений, а также колонизировать их внутренние ткани (эндофит). Штамм 26D (рег. номер в ВКПМ 016-02-2491-1) – основа коммерческого биопрепарата «Фитоспорин-М» (ООО «НВП «БашИнком», г. Уфа, Россия), выступает в качестве стандарта при исследовании. Клетки *B. subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) культивировали в агаризованной среде Лурия-Бертани (ЛБ) при 37 °С в течение 3–4 сут [23].

Для получения инокулюма, бактериальные клетки пересаживали в жидкую ЛБ среду и культивировали при 37 °С и 180 об/мин в течение 24 ч до достижения концентрации 10^9 кл/мл, разбавляли стерильной дистиллированной водой до 10^9 кл/мл (для штамма 10-4) и 10^9 кл/мл (для штамма 26D) (согласно рекомендациям производителя). Концентрацию клеток определяли по оптической плотности при 600 нм с использованием спектрофотометра UV-2200 с двойным лучом UV/VIS (Jiuxin Group, Shanghai, Китай).

Опыты проводили в климатической камере производства ВИМ (г. Москва, Россия) на селекционном материале мяты длиннолистной *Mentha longifolia* (L.) Huds. и Melissa лекарственной *Melissa officinalis* L., полученных из Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (г. Москва, Россия).

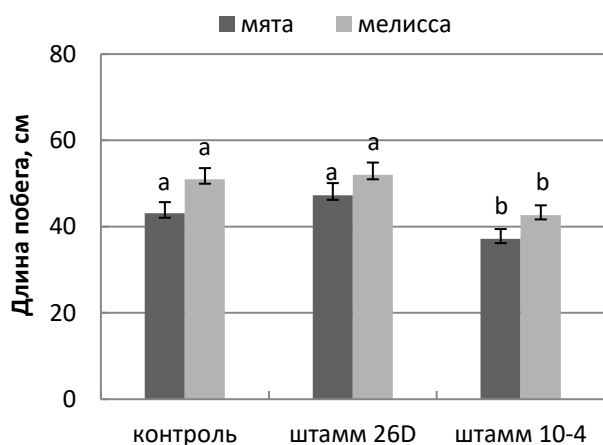
Клоны изучаемых культур инокулировали *B. subtilis* 10-4 и 26D методом полива прикорневой зоны растений на 7-е сут мяты длиннолистной и на 10-е сут роста и развития Melissa лекарственной. Расход суспензии *B. subtilis* составил 5 мл на одно растение. Контролем служили растения без обработки бактериями.

Оцениваемые параметры включали длину побега, площадь и количество листьев, сырую массу, а также содержание фотосинтетических пигментов. Длину побегов измеряли с помощью линейной шкалы. Площадь и количество листьев определяли с помощью фотопланиметра LI-3100 AREA METER (LI-COR, Северная Каролина, США). Определение сырого вещества проводили на аналитических весах Ohaus EX224/AD (OHAUS, New-Jersey, USA). Для измерений из каждой группы было отобрано по десять растений.

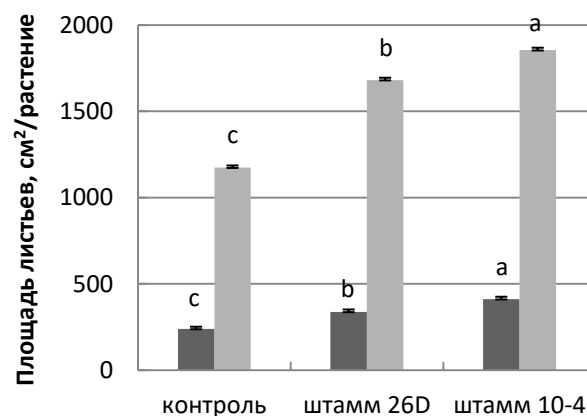
Для определения содержания фотосинтетических пигментов использовали навеску растительного материала массой 100 мг, которую гомогенизировали в 25 мл ацетона. Полученный гомогенат фильтровали, измеряли оптическую плотность фильтрата при длинах волн 662 нм для хлорофилла *a* (Chl *a*), 644 нм для хлорофилла *b* (Chl *b*) и 440,5 нм для каротиноидов (Car) с помощью спектрофотометра UV-2200 с двойным лучом UV/VIS (Jiuxin Group, Shanghai, Китай).

Статистическую обработку результатов проводили по стандартным методикам. Средние значения сравнивались с помощью теста Дункана для проверки значимости полученных данных при уровне вероятности $p \leq 0,05$.

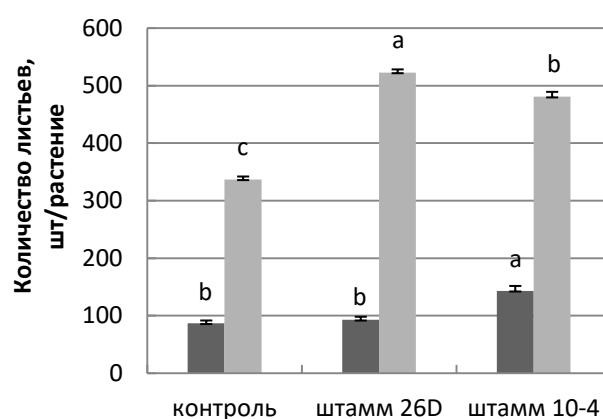
Результаты и их обсуждение. При оценке эффекта инокуляции *B. subtilis* на надземную часть растений мяты длиннолистной и Melissa лекарственной наблюдались изменения в длине побегов, площади листовой поверхности и количестве листьев в зависимости от применяемого штамма 10-4 и 26D (рис.).



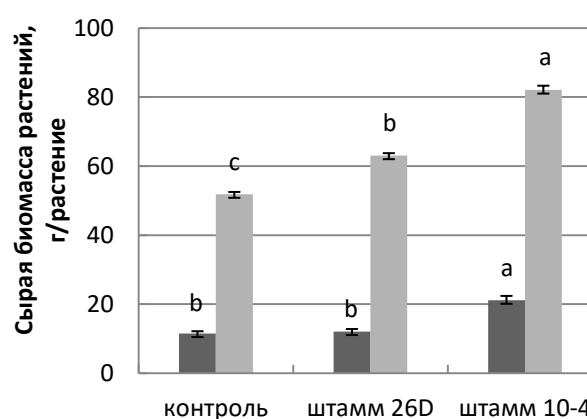
А



В



С



D

Влияние *Bacillus subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) на длину побегов (А), площадь листа (В), количество листьев (С) и биомассу (D) растений мяты длиннолистной и мелиссы лекарственной. Данные представляют собой средние значения трех повторений ($n = 30$); разные буквы вверху столбцов обозначают статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$); тест Дункана рассчитывался по каждой культуре отдельно

The effect of *Bacillus subtilis* (strains 10-4 and 26D) on the length of shoots (A), leaf area (B), number of leaves (C) and biomass (D) of longleaf mint and lemon balm plants. The data represent the average values of three repetitions ($n = 30$); different letters at the top of the columns indicate statistically significant differences between the groups ($p < 0.05$); the Duncan test was calculated for each culture separately

Результаты сравнения средней длины побегов растений между различными штаммами (10-4 и 26D) *B. subtilis* показали, что применение каждого из биологических агентов по-разному влияло на длину побегов (см. рис., а). Штамм 26D не оказывал существенного влияния на ростовые показатели обеих культур: длина побегов мяты длиннолистной в варианте с применением штамма 26D составила 47,2 см (в контроле 43,1 см), у мелиссы лекарственной – 52,0 см (в контроле 51,0 см) (рис., а).

В варианте опыта с штаммом 10-4 было обнаружено незначительное, но достоверное торможение роста: для мяты длиннолистной и мелиссы лекарственной длина побегов была ниже по сравнению с контролем на 15,8 (37,2 см при контроле 43,1 см) и 19,4 % (42,7 см при контроле 51,0 см) соответственно (рис., а).

Оба штамма (*B. subtilis* 10-4 и 26D) продемонстрировали существенное положительное воздействие на площадь листовую поверхность исследуемых культур (см. рис., б). Обработка штаммом 26D привела к увеличению средней площади

листовой поверхности на 41,4 % у мяты длиннолистной (до 337,97 см²/растение) и на 43,2 % у мелиссы лекарственной (до 1680,96 см²/растение) по сравнению с контрольными растениями.

Ранее было отмечено, что PGPB повышают продуктивность растений мяты длиннолистной [24], а в исследовании, представленном в [25], авторы показали аналогичные результаты при инокуляции *B. subtilis* для *Mentha spicata*, что согласуется с нашими результатами (см. рис., D).

Штамм 10-4 оказал более выраженное стимулирующее действие, увеличив среднюю площадь листьев на 72,1 % у мяты длиннолистной (до 411,3 см²/растение) и на 58,0 % у мелиссы лекарственной (до 1854,3 см²/растение) по сравнению с контролем.

Кроме того, выявлено, что обработка штаммом 10-4 способствовала значительному увеличению (на 65,4 % по сравнению с контролем) количества листьев у мяты длиннолистной (до 143,20 шт/растение). В то же время применение штамма 26D не оказывало влияния на количество листьев относительно контрольных растений (см. рис., C).

Что касается мелиссы лекарственной, обработка штаммами 10-4 и 26D способствовала увеличению количества листьев по сравнению с контрольными вариантами. Применение *B. subtilis* 26D приводило к появлению наибольшего количества листьев (до 522,70 шт/растение, что на 55,1 % превышает контроль); тогда как при обработке *B. subtilis* 10-4 количество листьев увеличивалось до 480,60 шт/растение, что на 42,7 % больше, чем у контрольных растений. Применение *B. subtilis* приводило к достоверному увеличению биомассы растений как у мяты

длиннолистной (штамм 10-4), так и у мелиссы лекарственной (10-4 и 26D) (рис., D). Штамм 26D не повлиял на изменение биомассы у растений мяты длиннолистной, значения находились на уровне контроля. Однако у мелиссы лекарственной данный штамм способствовал увеличению биомассы на 21,6 % по сравнению с контролем. Наиболее эффективным вариантом обработки оказался штамм 10-4, который стимулировал рост биомассы на 84,0 % у мяты длиннолистной и на 52,8 % у мелиссы лекарственной относительно контрольных растений (рис., D).

Продуктивность культурных растений является результатом эффективности процессов фотосинтеза в течение вегетационного периода и зависит от содержания фотосинтетических пигментов в листьях.

Фотосинтетические пигменты являются биологически активными соединениями, имеющими большое значение для пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. Хлорофиллы необходимы для развития растений, поскольку они отвечают за улавливание солнечной энергии, необходимой для фотосинтеза. Наиболее распространенной формой фотосинтетических пигментов у высших растений является Chl *a*. Согласно предположению Zhang et al. [26], воздействие летучих органических соединений, продуцируемых *B. subtilis*, повышало эффективность фотосинтеза и рост растений арабидопсиса, вызывая накопление хлорофилла.

Наши результаты показали, что применение *B. subtilis* 10-4 и 26D оказывает дифференцированное влияние на накопление фотосинтетических пигментов Chl *a*, Chl *b*, Chl(*a+b*) и Car (табл.).

Влияние *Bacillus subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) на накопление фотосинтетических пигментов в листьях мяты длиннолистной и мелиссы лекарственной
The effect of *Bacillus subtilis* (strains 10-4 and 26D) on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of longleaf mint and lemon balm

Культура	Вариант опыта	Содержание, мг/г сырой массы растений			
		Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl(<i>a+b</i>)	Car
Мята длиннолистная	Контроль	7,82±0,48b*	2,74±0,16b	10,56±0,54b	2,19±0,13b
	Штамм 26D	10,60±0,64a	3,66±0,22a	14,26±0,67a	2,88±0,18a
	Штамм 10-4	8,45±0,51b	3,10±0,18b	11,55±0,60b	2,33±0,14b
Мелисса лекарственная	Контроль	8,41±0,51b	3,88±0,17b	12,29±0,55b	2,49±0,13b
	Штамм 26D	9,10±0,55ab	4,54±0,21a	13,64±0,63a	2,59±0,16ab
	Штамм 10-4	9,93±0,60a	4,45±0,19a	14,38±0,67a	2,78±0,15a

Примечание. (*) – тест Дункана рассчитывался по каждой культуре отдельно. Разные буквы обозначают статистически значимые различия между группами ($p < 0,05$).

В листьях мяты длиннолистной обработка *B. subtilis* 26D приводила к увеличению содержания Chl *a*, Chl *b* и их общего содержания Chl(*a+b*), а также Car на 35 %, 34, 35 и 32 % соответственно по сравнению с контролем. В то же время у Melissa лекарственной штамм 26D не оказывал влияния на содержание Chl *a* и Car, но вызывал повышение Chl *b* и Chl(*a+b*) на 17 и 11 % соответственно по сравнению с контролем.

Обработка *B. subtilis* 10-4 не приводила к существенным изменениям в накоплении фотосинтетических пигментов в листьях мяты длиннолистной, все значения находились на уровне контрольных значений. Однако у Melissa лекарственной данный штамм стимулировал повышение содержания Chl *a*, Chl *b*, Chl (*a+b*) и Car на 18,1 %; 14,7; 17,0 и 11,6 % соответственно по сравнению с контролем.

Обработка растений мяты длиннолистной и Melissa лекарственной штаммами *B. subtilis* оказала дифференцированное влияние на содержание фотосинтетических пигментов. Штамм 26D значительно повышал уровни хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях мяты, тогда как у Melissa этот эффект наблюдался лишь для хлорофилла *b* и общего содержания хлорофилла (*a+b*). В отличие от этого штамм 10-4 не изменял содержание фотосинтетических пигментов в мяте, но стимулировал их на-

копление в Melissa. Эти результаты подчеркивают важность выбора подходящего штамма бактерий для оптимизации роста и развития конкретных видов растений.

Заключение. Результаты проведенного исследования показали, что инокуляция *B. subtilis* (штаммы 10-4 и 26D) стимулировала ростовые параметры растений (длину побегов, площадь и количество листьев, общую биомассу). Обработка *B. subtilis* также привела к заметным положительным изменениям в содержании фотосинтетических пигментов в листьях, причем наибольшие эффекты наблюдались при использовании штамма 26D для мяты длиннолистной и штамма 10-4 для Melissa лекарственной. Наиболее эффективной оказалась обработка штаммом 10-4, которая увеличила прирост биомассы на 84,0 % у мяты длиннолистной и на 52,8 % у Melissa лекарственной по сравнению с контрольными растениями.

Благодарность: Автор выражает глубокую признательность научному сотруднику Д.Р. Масленниковой и старшему научному сотруднику, заместителю директора по научной работе О.В. Ласточкиной из лаборатории молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессам ИБГ УФИЦ РАН за предоставление штаммов бактерий *Bacillus subtilis* (штаммы 10-4 и 26D).

Список источников

1. Mehdizadeh L., Moghaddam M., Hydroponic system for cultivation of medicinal plants. In: Kumar N., Singh R., editors. Biosynthesis of bioactive compounds in medicinal and aromatic plants. Springer, Cham. 2023. P. 213–233. DOI: 10.1007/978-3-031-35221-8_10.
2. Wang W., Xu J., Fang H., et al. Advances and challenges in medicinal plant breeding // Plant Sci. 2020. Vol. 298. 110573. DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110573.
3. Zarei A., Changizi-Ashtiyani S., Taheri S., et al. Brief Overview of the Effects of *Melissa officinalis* L. Extract on the Function of Various Body Organs // Zahedan J Res Med Sci. 2015. Vol. 17, № 7. DOI: 10.17795/zjrms1007.
4. Jäger A.K., Gauguin B., Adersen A. Screening of plants used in Danish folk medicine to treat epilepsy and convulsions // J. Ethnopharmacol. 2006. Vol. 105, № 1–2. P. 294–300. DOI: 10.1016/j.jep.2005.10.015.
5. Vogl S., Picker P., Mihaly-Bison J., et al. Ethnopharmacological in vitro studies on Austria's folk medicine an unexplored lore *in vitro* anti-inflammatory activities of 71 Austrian traditional herbal drugs // J. Ethnopharmacol. 2013. Vol. 149, № 3. P. 750–771. DOI: 10.1016/j.jep.2013.06.007.
6. Albala K., editor. Food cultures of the World Encyclopedia. 4 Vol. Bloomsbury publishing USA, 2011.
7. Kowalski R., Kowalska G., Jankowska M., et al. Secretory structures and essential oil composition of selected industrial species of *Lamiaceae* // Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 2019. Vol. 18, № 2. P. 53–69. DOI: 10.24326/asphc.2019.2.6.

8. Bensabab F., Houbairi S., Essahli M., et al. Chemical composition and inhibitory effect of the essential oil from mentha spicata irrigated by wastewater on the corrosion of aluminum in 1 molar hydrochloric acid // Port. Electrochim. Acta 2013. Vol. 31. P. 195–206. DOI: 10.4152/pea.201304195.
9. Liu D., Chen J., Yang H., et al. Growth promotion effects of *Bacillus subtilis* on *Bletilla striata* seedlings // World Journal of Traditional Chinese Medicine. 2022. Vol. 8, № 2. P. 236–240. DOI: 10.4103/wjtcn.wjtcn_31_21.
10. Wang J.W., Yue D.D., Li G.J., et al. Effects of *Bacillus subtilis* on physiological and biochemical indexes of winter wheat // Henan Sci. 2020. Vol. 38, № 3. P. 397–403.
11. Refish N.M.R., Talib A.J., Jian-Wei G., et al. Promoting role of *Bacillus subtilis* BS87 on the growth and content of some natural products in the medicinal plants *Anoectochilus roxburghii* and *A. formosanus* // Formosan. Adv Life Sci. 2016. Vol. 6. P. 31–38. DOI: 10.5923/j.als.20160602.01.
12. Титенков А.В., Князева И.В., Вершинина О.В., и др. Оценка влияния биопрепаратов и светодиодного облучения на растения тимьяна обыкновенного в закрытых агроэкосистемах // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9. С. 26–35. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-26-25.
13. Blake C., Christensen M.N., Kovacs A.T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis* // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2021. Vol. 34, № 1. P. 15–25. DOI: 10.1094/MPMI-08-20-0225-CR.
14. Jabborova D., Enakiev Y., Sulaymanov K., et al. Plant growth promoting bacteria *Bacillus subtilis* promote growth and physiological parameters of Zingiber officinale Roscoe // Plant Science Today. 2021. Vol. 8, № 1. P. 66–71. DOI: 10.14719/pst.2021.8.1.997.
15. Ye R., Tian K., Hu H.J., et al. Prompting effects of an endophytic bacteria, *Bacillus subtilis*, on *Melissa officinalis* L. growth and response of its central secondary metabolic products to culturing conditions. 2020. № 5. P. 1035–1045. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2019.12010.
16. Banchio E., Bogino P.C., Santoro M., et al. Systemic induction of monoterpene biosynthesis in *Origanum majoricum* by soil bacteria // Journal of agricultural and food chemistry. 2010. Vol. 58, № 1. P. 650–654.
17. Borah A., Das R., Mazumdar R., et al. Culturable endophytic bacteria of Camellia species endowed with plant growth promoting characteristics // Journal of applied microbiology. 2019. Vol. 127, № 3. P. 825–844. DOI: 10.1111/jam.14356.
18. Lastochkina O., Aliniaieifard S., G arshina D., et al. Seed priming with endophytic *Bacillus subtilis* strain-specifically improves growth of Phaseolus vulgaris plants under normal and salinity conditions and exerts anti-stress effect through induced lignin deposition in roots and decreased oxidative and osmotic damages // Journal of Plant Physiology. 2021. Vol. 263. 153462. DOI: 10.1016/j.jplph.2021.153462.
19. Holland M.A. Probiotics for Plants? What the PPFMs told us and some ideas about how to use them // Journal of the Washington Academy of Sciences. 2016. Vol. 102, № 1. P. 31–42.
20. Verma S.K., Kingsley K., Bergen M., et al. Bacterial endophytes from rice cut grass (*Leersia oryzoides* L.) increase growth, promote root gravitropic response, stimulate root hair formation, and protect rice seedlings from disease // Plant and Soil. 2018. Vol. 422. P. 223–238. DOI: 10.1007/s11104-017-3339-1.
21. White J.F., Kingsle K.I., Kowalski K.P., et al. Disease protection and allelopathic interactions of seed-transmitted endophytic pseudomonads of invasive reed grass (*Phragmites australis*) // Plant and Soil. 2018. Vol. 422. P. 195–208.
22. Zhang H., Kim M.S., Krishnamachari V., et al. Rhizobacterial volatile emissions regulate auxin homeostasis and cell expansion in Arabidopsis // Planta. 2007. Vol. 226. P. 839–851. DOI: 10.1007/s11104-016-3169-6.
23. Lastochkina O., Pusenkova L., Yuldashev R., et al. Effects of *Bacillus subtilis* on some physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L.(wheat) under salinity // Plant physiology and biochemistry. 2017. Vol. 121. P. 80–88. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.020.
24. Parrey Z.A., Islam S., Shah S.H., et al. Agronomical strategies to improve growth, physio-biochemistry, yield and quality attributes of mint plants under the varied environmental conditions:

- A review // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2023. Vol. 23, № 2. P. 1489–1514. DOI: 10.1007/s42729-023-01194-7.
25. Castro-Restrepo D., Dominguez M.I., Gaviria-Gutierrez B., et al. Biotization of endophytes *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* in *Mentha spicata* microplants to promote growth, pathogen tolerance and specialized plant metabolites // Plants. 2022. Vol. 11, № 11. P. 1474. DOI: 10.3390/plants11111474.
 26. Zhang H., Xie X., Kim M.S., et al. Soil bacteria augment Arabidopsis photosynthesis by decreasing glucose sensing and abscisic acid levels in planta // The Plant Journal. 2008. Vol. 56, № 2. P. 264–273. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03593.x.

References

1. Mehdizadeh L, Moghaddam M. Hydroponic System for Cultivation of Medicinal Plants. In: Kumar N, Singh R, editors. *Biosynthesis of Bioactive Compounds in Medicinal and Aromatic Plants*. Springer, Cham; 2023. P. 213–233. DOI: 10.1007/978-3-031-35221-8_10.
2. Wang W, Xu J, Fang H, et al. Advances and challenges in medicinal plant breeding. *Plant Sci*. 2020;298:110573. DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110573.
3. Zarei A, Changizi-Ashtiyani S, Taheri S, et al. Brief Overview of the Effects of *Melissa officinalis* L. Extract on the Function of Various Body Organs. *Zahedan J Res Med Sci*. 2015;17(7). DOI: 10.17795/zjrms1007.
4. Jäger AK, Gauguin B, Adersen A. Screening of plants used in Danish folk medicine to treat epilepsy and convulsions. *J. Ethnopharmacol*. 2006;105(1-2):294-300. DOI: 10.1016/j.jep.2005.10.015.
5. Vogl S, Picker P, Mihaly-Bison J, et al. Ethnopharmacological in vitro studies on Austria's folk medicine – an unexplored lore *in vitro* anti-inflammatory activities of 71 Austrian traditional herbal drugs. *J. Ethnopharmacol*. 2013;149(3):750-771. DOI: 10.1016/j.jep.2013.06.007.
6. Albala K, editor. *Food Cultures of the World Encyclopedia*. 4 Vol. Bloomsbury Publishing USA, 2011.
7. Kowalski R, Kowalska G, Jankowska M, et al. Secretory structures and essential oil composition of selected industrial species of lamiaceae. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 2019;18(2):53-69. DOI: 10.24326/asphc.2019.2.6.
8. Bensabah F, Houbairi S, Essahli M, et al. Chemical composition and inhibitory effect of the essential oil from mentha spicata irrigated by wastewater on the corrosion of aluminum in 1 molar hydrochloric acid. *Port. Electrochim. Acta*. 2013;31:195-206. DOI: 10.4152/pea.201304195.
9. Liu D, Chen J, Yang H, et al. Growth promotion effects of *Bacillus subtilis* on *Bletilla striata* seedlings. *World Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2022;8(2):236-240. DOI: 10.4103/wjtc.wjtc_31_21.
10. Wang JW, Yue DD, Li GJ, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on physiological and biochemical indexes of winter wheat. *Henan Sci*. 2020;38(3):397-403.
11. Refish NMR, Talib AJ, Jian-Wei G, et al. Promoting role of *Bacillus subtilis* BS87 on the growth and content of some natural products in the medicinal plants *Anoectochilus roxburghii* and *A. formosanus*. *Formosanus. Adv Life Sci*. 2016;6:31-38. DOI: 10.5923/j.als.20160602.01.
12. Titenkov AV, Knyazeva IV, Vershinina OV, et al. Assessment of the influence of biopreparations and LED irradiation on common thyme plants in closed agroecosystems. *Bulletin of KSAU*. 2024;9:26-35. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-9-26-25.
13. Blake C, Christensen MN, Kovacs AT. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2021;34(1):15-25. DOI: 10.1094/MPMI-08-20-0225-CR.
14. Jabborova D, Enakiev Y, Sulaymanov K, et al. Plant growth promoting bacteria *Bacillus subtilis* promote growth and physiological parameters of Zingiber officinale Roscoe. *Plant Science Today*. 2021; 8(1):66-71. DOI: 10.14719/pst.2021.8.1.997.
15. Ye R, Tian K, Hu HJ, et al. Prompting effects of an endophytic bacteria, *Bacillus subtilis*, on *Melissa officinalis* L. growth and response of its central secondary metabolic products to culturing conditions. 2020;5:1035-1045. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2019.12010.

16. Banchio E, Bogino PC, Santoro M, et al. Systemic induction of monoterpene biosynthesis in *Origanum majoricum* by soil bacteria. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2010;58(1):650-654.
17. Borah A, Das R, Mazumdar R, et al. Culturable endophytic bacteria of *Camellia* species endowed with plant growth promoting characteristics. *Journal of applied microbiology*. 2019;127(3):825-844. DOI: 10.1111/jam.14356.
18. Lastochkina O, Aliniaefard S, Garshina D, et al. Seed priming with endophytic *Bacillus subtilis* strain-specifically improves growth of *Phaseolus vulgaris* plants under normal and salinity conditions and exerts anti-stress effect through induced lignin deposition in roots and decreased oxidative and osmotic damages. *Journal of Plant Physiology*. 2021;263:153462. DOI: 10.1016/j.jplph.2021.153462.
19. Holland MA. Probiotics for Plants? What the PPFMs told us and some ideas about how to use them. *Journal of the Washington Academy of Sciences*. 2016;102(1):31-42.
20. Verma SK, Kingsley K, Bergen M, et al. Bacterial endophytes from rice cut grass (*Leersia oryzoides* L.) increase growth, promote root gravitropic response, stimulate root hair formation, and protect rice seedlings from disease. *Plant and Soil*. 2018;422:223-238. DOI: 10.1007/s11104-017-3339-1.
21. White JF, Kingsley KI, Kowalski KP, et al. Disease protection and allelopathic interactions of seed-transmitted endophytic pseudomonads of invasive reed grass (*Phragmites australis*). *Plant and Soil*. 2018;422:195-208.
22. Zhang H, Kim MS, Krishnamachari V, et al. Rhizobacterial volatile emissions regulate auxin homeostasis and cell expansion in *Arabidopsis*. *Planta*. 2007;226:839-851. DOI: 10.1007/s11104-016-3169-6.
23. Lastochkina O, Pusenkova L, Yuldashev R, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on some physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. (wheat) under salinity. *Plant physiology and biochemistry*. 2017;121:80-88. DOI: 10.1016/j.plaphy.2017.10.020.
24. Parrey ZA, Islam S, Shah SH, et al. Agronomical strategies to improve growth, physio-biochemistry, yield and quality attributes of mint plants under the varied environmental conditions: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2023;23(2):1489-1514. DOI: 10.1007/s42729-023-01194-7.
25. Castro-Restrepo D, Dominguez MI, Gaviria-Gutierrez B, et al. Biotization of endophytes *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* in *Mentha spicata* microplants to promote growth, pathogen tolerance and specialized plant metabolites. *Plants*. 2022;11(11):1474. DOI: 10.3390/plants11111474.
26. Zhang H, Xie X, Kim MS, et al. Soil bacteria augment *Arabidopsis* photosynthesis by decreasing glucose sensing and abscisic acid levels in planta. *The Plant Journal*. 2008;56(2):264-273. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2008.03593.x.

Статья принята к публикации 25.04.2025 / The article accepted for publication 25.04.2025.

Информация об авторах:

Инна Валерьевна Князева, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Inna Valerievna Knyazeva, Senior Researcher, Head of the Laboratory for Research of Technological Properties of Agricultural Materials, Candidate of Biological Sciences

