

Эффект от инокуляции фасоли эндофитными бактериями, выделенными из клубеньков

Оксана Вячеславовна Маркова¹, Светлана Равилевна Гарипова²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия.

²Башкирский государственный университет», Башкирский НИИСХ – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, г. Уфа, Россия.

e-mail: o-ksana@list.ru

Аннотация. Изоляты клубеньков фасоли Ф4, Ф5 и Ф6 содержали помимо ризобий бактерии других видов (бациллы), которые проявляли к ним нейтралισμό и слабую фунгистатическую активность против *Fusarium oxysporum*. Обработка семян изолятами в дозе 10^7 кл./мл в два раза стимулировала рост осевых органов проростков по сравнению с контролем без инокуляции, но при внесении препарата в дозе 10^9 кл./мл данный эффект не выявлялся. Полевая эффективность бактериальных препаратов зависела как от сорта, так от гидротермических условий среды. При обработке сорта Золотистая изолятами Ф4 и Ф6 масса семян увеличилась на 19 и 28 % по сравнению с контролем в широком диапазоне гидротермических условий. Обработка сорта Уфимская положительно влияла на урожай семян только при взаимодействии с изолятом Ф5 при ГТК \geq 1. Инокуляция фасоли сорта Эльза была неэффективна. При достаточном влагообеспечении (ГТК=1) в отдельных сорт-штаммовых комбинациях замечено как увеличение, так и снижение количества клубеньков по сравнению с неинокулированным контролем, коррелирующее с урожаем. При ГТК < 1 в большинстве вариантов бактериальных обработок клубеньки не образовались, а у растений с клубеньками в этих условиях урожай был ниже контроля. Обработки растений сорта Уфимская изолятом Ф6 и сорта Золотистая изолятом Ф4 положительно влияли на снижение развития корневых болезней.

Ключевые слова: эндофитные бактерии; фасоль; инокуляция; продуктивность; гидротермический коэффициент.

Для цитирования: Маркова О. В., Гарипова С. Р. Эффект от инокуляции фасоли эндофитными бактериями, выделенными из клубеньков // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 32–36. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp32-36>.

AGRONOMY

Original article

Effect of bean inoculation by endophytic bacteria isolated from nodules

Oksana V. Markova¹, Svetlana R. Garipova²

¹Bashkir State University, Ufa, Russia.

²Bashkir State University; Bashkir Research Institute of Agriculture is a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia.

e-mail: o-ksana@list.ru

Abstract. Bean nodule isolates F4, F5, and F6 contained, in addition to rhizobia, bacteria of other species (bacilli), which showed neutralism to them and weak fungistatic activity against *Fusarium oxysporum*. Treatment of seeds with isolates at a dose of 10^7 cells / ml twice stimulated the growth of the axial organs of seedlings compared to the control without inoculation, but this effect was not detected when bacteria were added at a dose of 10^9 cells / ml. The field effectiveness of bacterial biologicals depended both on the variety and on the hydrothermal conditions of the environment. Inoculation of variety Zolotistaya with isolates F4 and F6 contributed to increase of the mass of seeds by 19 and 28 % in comparison with the control in a wide range of hydrothermal conditions. Treatment of the Ufimskaya variety had a positive effect on the seed yield only when interacting with isolate F5 at GTC \geq 1. Elsa bean inoculation was ineffective. With sufficient moisture supply (GTC 1) in individual cultivar-strain combinations, both an increase and a decrease in the number of nodules were observed in comparison with non-inoculated control, which correlated with the yield. At GTC < 1, in most variants of bacterial treatments, nodules were not formed, and the yield was lower than the control in plants with nodules under these conditions. Treatment of plants of the Ufimskaya variety with isolate F6 and the variety Zolotistaya with isolate F4 had a positive effect on reducing the development of root diseases.

Keywords: endophytic bacteria; beans; inoculation; productivity; hydrothermal coefficient.

For citation: Markova O. V., Garipova S. R. Effect of bean inoculation by endophytic bacteria isolated from nodules. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(4):32–36. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp32-36>.

Введение. Фасоль – важная продовольственная культура для производства полноценного белка. Плоды и семена фасоли богаты углеводами, витаминами, минеральными веществами, ненасыщенными жирными кислотами, такими как линолевая и олеиновая кислоты [11]. В России в последние годы фасоль стали активнее внедрять в сельскохозяйственное производство. Для этого создаются новые сорта и линии с улучшенными адаптивными свойствами [7, 8], изучаются различные агротехнологические приемы возделывания фасоли [5].

Одним из способов повышения продуктивности и устойчивости бобовых растений к стрессам является обработка семян клубеньковыми бактериями (ризобиями) и бессимптомно живущим внутри различных растительных тканей эндофитными бактериями [2, 14]. В клубеньках эндофитные бактерии соседствуют с ризобиями и могут формировать с ними либо нейтральные, либо антагонистические взаимоотношения [12, 18]. Совместимые между собой консорциумы микроорганизмов могут являться основой биопрепаратов [19]. Показано, что не образующим клубень-





ки эндофитным бактериям, выделенным из корней фасоли, присущ ряд свойств, определяющих их биоконтрольное воздействие на возбудителей болезней и стимулирующее влияние на рост растений [20]. Следовательно, положительное влияние на урожай бобовых растений может оказывать обработка семян не только азотфиксирующими ризобиями [1], но и природными ассоциациями ризобий и эндофитных бактерий, обеспечивающими синергетический эффект повышения продуктивности растений [17, 19]. Но при этом важно учитывать роль абиотических факторов, которые могут изменять характер симбиотических отношений [10], а также сортовые предпочтения растений к определенному эндофитному микробиому [13]. Целью данной работы являлось изучение свойств изолятов эндофитных бактерий, выделенных из клубеньков фасоли, и влияния инокуляции ими разных сортов фасоли на семенную продуктивность, клубенькообразование и корневые болезни в различных агроклиматических условиях Предуралья.

Методика исследований. Объектом исследования являлись районированные сорта фасоли Уфимская и Золотистая, а также сорт Эльза (образец № к-14693 из коллекции ВИР). Эталонные штаммы *Fusarium oxysporum* и *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* 2630 (ВНИИСХМ) получены из коллекции БНИИСХ УФИЦ РАН. Изоляты эндофитных бактерий Ф4, Ф5 и Ф6 были выделены на бобово-глюкозный агар (БГА) и мясо-пептонный агар (МПА) из поверхностно стерилизованных клубеньков растений фасоли сорта Уфимская, выращенных на серой лесной почве, согласно протоколу, описанному ранее [3]. Для оценки ростстимулирующего действия изолятов бактериальную массу смывали с питательного агара стерильной водой, заданную плотность клеток получали при сравнении со стандартом мутности и проведении кратных разведений. Семена фасоли сорта Золотистая поверхностно стерилизовали 10 минут раствором диацита и промывали стерильной водой. По 30 семян каждого варианта обработки погружали на 30 мин в суспензию бактерий, затем раскладывали на влажные бумажные фильтры в чашки Петри с 10 мл воды. Инкубировали при 22 °С в темноте. Длину осевых органов проростков измеряли на 4-е сутки. Антагонистическую активность по отношению к *Fusarium oxysporum* и *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* оценивали методом агаровых блоков, инкубируя культуры при 28 °С.

Полевые исследования проводили в период с 2007 по 2010 г. в различных агроклиматических условиях Южного Предуралья на территории Республики Башкортостан (РБ). Благоприятные условия (ГТК 1,0-1,5) для роста растений отмечались в 2008–2009 гг. (Иглинский район). Развитие растений в 2007 г. (Иглинский район) проходило в условиях избыточного увлажнения (ГТК более 1,5). Засушливые условия (ГТК 0,5–1,0) наблюдались в 2009 г. (Чишминский район) и в 2008 г. (Уфимский район), 2010 год являлся критически засушливым (ГТК < 0,5) для всех районов РБ. Экспериментальные участки были размещены на разных типах почв: серой лесной почве с содержанием гумуса 3,8–4,8 % и рН 5,9–6,2 (Иглинский, Чишминский и Уфимский районы РБ), черноземе выщелоченном с содержанием гумуса 6,8–8,5 % и рН 6,4–6,8 (Уфимский и Бакалинский районы РБ), черноземе типичном с содержанием гумуса 7,4–8,1 %; рН 6,7–6,8 (в Мелеузовском и Баймакском районах). Посев семян фасоли проводили вручную широкорядным способом с междурядьями 45 см и нормой высева 15 штук всхожих семян на 1 п.м. (333 тыс. шт./га), размещая деланки с учетной площадью 1,8 м² в трех повторах. Сроки посева – 1-я декада июня. Сроки уборки – 1-я декада сентября. Характеристики продуктивности и болезни корней анализировали индивидуально у 60 растений с каждого варианта обработки в фазе полного созревания семян. Клубенькообразование учитывали по числу активных розовых клубеньков у каждого из 20 растений в стадии бутонизации. Статистическая обработка включала вычисление средних арифметических значений, стандартные ошибки и наименьшие существенные различия (НСР) при $p < 0,05$.

Результаты исследований. В изолятах клубеньков Ф4, Ф5, Ф6 из 2–5 морфотипов бактерий доминировали два. Бактерии первого морфотипа под микроскопом имели форму грамтрицательных палочек, не образующих спор, на среде БГА отличались прозрачно-кремовыми слизистыми колониями с ровным краем, при этом на среде МПА рост таких бактерий отсутствовал. При инокуляции стерилизованных семян фасоли чистыми культурами этих бактерий на 24-дневных растениях фасоли формировались округлые клубеньки. По совокупности признаков эти бактерии были отнесены к *Rhizobium leguminosarum*. Бактерии второго морфотипа на обеих средах БГА и МПА характеризовались кремовыми полусухими колониями с морщинистой сердцевинкой и волнистым краем, под микроскопом представляли собой грамположительные споробразующие палочки, сходные по морфологии с бактериями рода *Bacillus*. В течение длительного хранения смешанных культур изолятов наблюдалось относительное постоянство бактериального состава.

Изоляты Ф4 и Ф6 на 3-и сутки сдерживали развитие *Fusarium oxysporum*: зона подавления патогена составила 2 и 3 мм от края агарового блока с бактериями до грибного газона (табл. 1). Изолят Ф5 не проявлял антигрибного воздействия. На 5-е сутки антагонистическое влияние бактерий ослабло. Таким образом, исследованные культуры оказали временное фунгистатическое действие на развитие *Fusarium oxysporum*. По отношению к эталонному штамму *Rhizobium leguminosarum* 2630 со стороны изолятов Ф4, Ф5 и Ф6 антагонизма не наблюдалось. Положительное влияние бактерий на рост осевых органов зависело от дозы вносимых клеток: при внесении бактерий в дозе 10⁷ кл./мл длина инокулированных проростков был в 2 раза больше, чем у контрольных растений. При обработке семян бактериями в дозе 10⁹ кл./мл, во всех вариантах инокуляции длина осевых органов проростков не отличалась от контроля.

Таблица 1

Способность изолятов клубеньков фасоли к биоконтролю патогена и стимуляции роста растений фасоли сорта Золотистая в модельных условиях

Вариант инокуляции	Зона подавления <i>Fusarium oxysporum</i> , мм		Длина осевых органов проростков, мм	
	на 3-и сутки	на 5-е сутки	10 ⁷ кл./мл	10 ⁹ кл./мл
Без инокуляции	–	–	11,4 ± 1,8	13,3 ± 2,6
Эталонный штамм 2630	0	0	14,2 ± 2,5	11,3 ± 2,1
Изолят Ф4	2 ± 0,3	0	24,0 ± 4,1	11,9 ± 2,4
Изолят Ф5	0	0	24,5 ± 3,3	9,3 ± 1,8
Изолят Ф6	3 ± 0,4	0	22,0 ± 3,2	14,1 ± 2,1

Примечание: здесь и далее в таблицах указаны среднеарифметические и их стандартные ошибки при $p < 0,05$



В исследованиях микробиома корней фасоли в отношении потенциала к биоконтролю корневых болезней было показано, что из 90 изолятов эндофитных и ризосферных бактерий фасоли только 12 штаммов ингибировали рост грибных фитопатогенов *Fusarium* sp., *Macrophomina* sp. и *Alternaria* sp. [20]. Следовательно, выявленное в нашем исследовании отсутствие высокой антифунгальной активности у изолятов клубеньков, является их обычным свойством. Биоконтрольное влияние эндофитных бактерий часто связывают с индукцией ими фитоиммунитета [16]. Подавление роста грибного патогена бактериальными эндофитами клубеньков гороха может быть направлено и по отношению к ризобиям [4], что нежелательно. Поскольку изоляты Ф4, Ф5 и Ф6 были отобраны нами по сохранности ризобий в консорциумах, отсутствие антагонистической активности против грибного патогена было ожидаемым.

Зависимое от концентрации бактериальных клеток росторегулирующее действие изученных изолятов на рост растений может быть связано с влиянием бактериальных фитогормонов, например, индоллил-3-уксусной кислоты (ИУК). Для растений гороха был установлен пороговый уровень экзогенной ИУК, выше которого стимулирующий эффект менялся на противоположный [6]. На растениях гвоздики инокуляция растений ИУК-продуцирующими бактериями *Klebsiella* SGM81 только в дозах от 10^2 до 10^5 КОЕ/мл приводила к фенотипу улучшенного роста корней, тогда как внесение бактерий в дозе 10^8 КОЕ/мл ухудшало показатели роста корней [15]. Эти данные свидетельствуют о необходимости эмпирически подбирать дозу клеток в инокулянте для каждого вида растений. В дальнейшем для инокуляции в полевых условиях нами была использована плотность бактерий в инокулюме, не превышающая 10^7 кл./мл.

Результат предпосевной инокуляции семян в полевых условиях зависел от сорта фасоли и гидротермических условий сезона (табл. 2). Растения сорта Золотистая при обработке изолятами Ф4 и Ф6 увеличили семенную продуктивность на 19 и 26 % по сравнению с инокулированным контролем в нормальных условиях влагообеспеченности. Обработка этими изолятами на 28 и 38 % повысила урожай семян данного сорта при умеренной (Ф4) и при сильной засухе (Ф6). У растений сорта Уфимская увеличение массы семян по сравнению с контролем без инокуляции отмечено при обработке только изолятом Ф5 и только в условиях нормальной влагообеспеченности: при $ГТК \geq 1$ – на 29 % и в засуху при поливе – в 3 раза. При недостатке влаги инокуляция сорта Уфимская снижала семенную продуктивность. Сходная реакция на инокуляцию была замечена и для сорта Эльза. Возможно, при умеренной засухе ($ГТК = 0,9$) происходит разбалансировка заложенной в генотипе сорта программы защиты от стресса и индуцируемой бактериями программы стимуляции роста, которая в данных условиях оказывается энергетически невыгодной. Более широкий диапазон колебаний в урожайности инокулированных растений был замечен у сортов Эльза и Золотистая, которые отличались меньшим адаптивным потенциалом по сравнению с сортом Уфимская [9].

Таблица 2

Семенная продуктивность (г/раст.) фасоли при инокуляции бактериальными ассоциациями в различных климатических условиях

Сорт	Без инокуляции	Эталонный штамм 2630	Ф4	Ф5	Ф6
Оптимальные гидротермические условия, $ГТК \geq 1,0$					
Золотистая	$8,1 \pm 0,7$	$8,0 \pm 0,6$	$9,7 \pm 0,7$	$9,3 \pm 0,6$	$10,2 \pm 0,6$
Уфимская	$7,3 \pm 0,5$	$5,5 \pm 0,4$	$7,1 \pm 0,8$	$9,4 \pm 0,5$	$6,5 \pm 0,4$
Условия умеренной засухи $ГТК = 0,9$					
Золотистая	$6,5 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,4$	$8,3 \pm 0,7$	$3,3 \pm 0,2$	$6,5 \pm 0,4$
Уфимская	$7,6 \pm 0,8$	$4,8 \pm 1,0$	$4,7 \pm 1,4$	$5,7 \pm 1,0$	$4,0 \pm 0,4$
Эльза	$8,4 \pm 0,6$	$5,1 \pm 0,9$	$4,5 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,2$	$5,9 \pm 0,8$
Условия жесткой засухи $ГТК < 0,5$					
Золотистая	$1,6 \pm 0,8$	$2,5 \pm 0,8$	$1,2 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,6$
Уфимская	$2,1 \pm 0,6$	$0,7 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,4$
Уфимская*	$2,8 \pm 0,9$	$2,5 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,5$	$9,3 \pm 1,4$	$3,0 \pm 0,3$
Эльза	$0,6 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,4$	$0,8 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,6$	$1,1 \pm 0,4$

Примечание: опыт проводился с поливом до стадии бутонизации

Продукционный процесс бобовых растений зависит от многих факторов, в том числе от симбиотической азотфиксации. Эффективность бобово-ризобияльного симбиоза, в свою очередь, тесно связана с условиями водообеспеченности. При $ГТК \geq 1,0$ увеличение симбиотического потенциала под влиянием инокуляции отмечено только у растений сорта Золотистая (табл. 3), а у растений сорта Уфимская бактериализация либо незначимо влияла на клубенькообразующую активность по сравнению с контролем (изолят Ф5), либо снижала способность образовывать клубеньки (изоляты Ф4 и Ф6), что, возможно, обусловило отсутствие прибавки урожая в этих вариантах (см. табл. 2). При уменьшении влагообеспеченности ($ГТК 0,9$) как в контроле без инокуляции, так и во всех вариантах бактериальных обработок за исключением изолята Ф5 клубеньки на корнях фасоли всех исследуемых сортов не образовывались (см. табл. 3). Это можно связать как с уменьшением экссудации корнями растений аттрактивных веществ для привлечения бактерий, так и с сухостью почвы, в которой затруднен таксис бактерий к корням.

Снижение клубенькообразования при инокуляции изолятами эндофитных бактерий может быть связано с антагонистическими взаимоотношениями, возникающими между неризобияльными эндофитами и ризобиями [12]. Хотя изученные изоляты не подавляли рост эталонного штамма *Rhizobium leguminosarum* 2630, но в отношении аборигенных ризобий, которые также участвуют в образовании клубеньков, такое влияние нельзя исключить.

Сорт Уфимская по сравнению другими сортами был больше подвержен корневым гнилям (развитие болезней 52 %), но при инокуляции изолятом Ф6 заболеваемость снизилась в 4 раза (табл. 4). У растений сорта Золотистая (развитие болезней 40 %) отмечено существенное снижение заболеваемости при инокуляции изолятом Ф4. Влияние обработок изолятами на корневые гнили устойчивого к ним сорта Эльза было незначимым, тогда как эталонный штамм усиливал проявление болезней.

Клубенькообразование, шт./раст., фасоли при инокуляции бактериальными ассоциациями в различных климатических условиях

Сорт	Контроль	Эталон 2630	Изолят Ф4	Изолят Ф5	Изолят Ф6
ГТК $\geq 1,0$					
Золотистая	28,4 \pm 3,4	34,1 \pm 3,2	41,0 \pm 4,0	40,1 \pm 4,3	30,3 \pm 3,3
Уфимская	22,9 \pm 8,6	14,8 \pm 5,3	3,1 \pm 0,8	20,3 \pm 6,0	6,5 \pm 1,6
ГТК = 0,9					
Золотистая	0	0	0	10,3 \pm 2,8	0
Уфимская	0	0	0	0	0
Эльза	0	0	0	13,8 \pm 2,9	0

Таблица 4

Заболееваемость корневыми гнилями разных сортов фасоли при инокуляции бактериальными ассоциациями при ГТК $\geq 0,9$

Сорт	Контроль	Эталонный штамм 2630	Изолят Ф4	Изолят Ф5	Изолят Ф6
Распространенность болезни, %; НСР ₀₅ = 6,3					
Золотистая	76,6	70,0	63,3	63,3	86,6
Уфимская	86,6	70,0	76,6	86,6	43,3
Эльза	54,8	79,3	63,3	46,8	45,2
Интенсивность (степень) поражения растений, балл; НСР ₀₅ = 0,2					
Золотистая	2,1	2,4	1,8	1,6	2,4
Уфимская	2,4	2,0	1,7	2,0	0,9
Эльза	1,7	2,1	1,8	1,3	1,4
Развитие болезни, %; НСР ₀₅ = 6,2					
Золотистая	40,2	33,6	28,5	33,7	52,0
Уфимская	52,0	35,0	43,4	57,7	13,0
Эльза	24,1	40,2	28,5	21,7	13,1

Несмотря на выявленное в данном исследовании отсутствие прямого антагонизма по отношению к *F. oxysporum* in vitro, бактериальные изоляты снижали интенсивность поражения корневыми гнилями у инокулированных растений в полевых условиях. Это может быть связано с участием бактерий в индукции защитных фитоиммунных реакций растений и/или в конкуренции с патогенами за свою экологическую нишу [16].

Заключение. Выделенные из клубеньков фасоли целостные изоляты клубеньков Ф4, Ф5 и Ф6 содержали помимо ризобий другие виды бактерий, которые находились с ризобиями в нейтральных отношениях, проявляли слабую фунгистатическую активность против *Fusarium oxysporum*. Инокуляция семян фасоли изолятами Ф4, Ф5 и Ф6 в дозе 10⁷ кл./мл in vitro способствовала стимуляции роста корня по сравнению с контролем, но при увеличении этой дозы на два порядка данный эффект не выявлялся. В полевых условиях влияние инокуляции фасоли изолятами клубеньков на семенную продуктивность зависело от сорта растений и применяемых бактерий. Сорт Золотистая положительно отзывался на инокуляцию изолятами Ф4 и Ф6 в широком диапазоне гидротермических условий. Сорт Уфимская давал урожай выше контроля только при инокуляции изолятом Ф5 при достаточной влагообеспеченности. Сорт Эльза реагировал на инокуляцию либо негативно, либо нейтрально по сравнению с контролем. Инокуляция отдельными изолятами способствовала увеличению клубенькообразования при взаимодействии с сортом Золотистая и привела к снижению развития болезней у растений сорта Уфимская. Бактериальные изоляты клубеньков рассматриваются как перспективный объект для разработки на их основе биопрепаратов с учетом специфичности определенных сорт-штаммовых комбинаций и гидротермических условий, оказывающих существенное влияние на эффективность симбиоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова О. В. Эффективность предпосевной обработки ризоторфином семян разных сортов фасоли // Аграрный научный журнал. 2016. № 9. С. 3–5.
2. Васильева Е. Н., Ахтемова Г. А., Афонин А. М., Борисов А. Ю., Тихонович И. А., Жуков В. А. Культивируемые эндофитные бактерии стеблей и листьев гороха посевного (*Pisum sativum* L.) // Экологическая генетика. 2020. Т. 18. № 2. С. 169 – 184. DOI: 10.17816/ecogen17915.
3. Гарипова С. Р., Гарифуллина Д. В., Маркова О. В., Иванчина Н. В., Хайруллин Р. М. Изучение бактериальных ассоциаций эндофитов клубеньков, способствующих повышению продуктивности бобовых растений // Агротехника. 2010. № 11. С. 50–58.
4. Гарипова С. Р., Гарифуллина Д. В., Баймиев Ан. Х., Хайруллин Р. М. Межмикробные взаимоотношения бактерий *Serratia* sp. Ent16 – симбионта клубенька гороха и колонизация ими эндосферы гороха // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53. № 3. С. 299–307. DOI: 10.7868/S0555109917030060.
5. Елисеєва Л. В., Нестерова О. П., Прокопьева М. В. Изучение способов посева сортов фасоли в условиях Чувашской Республики // Аграрный научный журнал. 2019. № 8. С. 12–16. DOI: 10.28983/asj.y2019i8pp12-16.
6. Иванчина Н. В., Гарипова С. Р., Хайруллин Р. М. Влияние дозы клеток эндофитных штаммов *Bacillus subtilis*, продуцирующих индолил-3-уксусную кислоту, на рост и продуктивность гороха (*Pisum sativum* L.) // Агротехника. 2018. № 4. С. 39–44. DOI: 10.7868/S0002188118040051.
7. Казыдуб Н. Г., Фрейлих Е. С., Коцубинская О. А., Скопинцева К. В. Технологические и сортовые особенности выращивания фасоли на семена в условиях Южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Омского ГАУ. 2018. Т. 29. № 1. С. 19–25.
8. Маркова О. В., Гарипова С. Р. Отбор перспективных линий фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) сорта Эльза и особенности их симбиотрофного питания в различных почвенно-климатических условиях Предуралья // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. № 3. С. 709–712.





9. Маркова О. В., Гарипова С. Р. Адаптивный потенциал сортов фасоли, возделываемых в условиях Южного Предуралья // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 4. С. 40-43. DOI: 10.26178/AE.2020.78.87.007.

10. Ханадеева М. А., Старичкова Н. И., Злобина Н. Л., Антонюк Л. П. Испытание в полевых условиях перспективного для агробиотехнологии штамма ризобактерии *Azospirillum brasilense* // Аграрный научный журнал. 2015. № 5. С. 30–35.

11. Celmeli T., Sari H., Canci H., Sari D., Adak A., Eker T., Toker C. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. P. 166. DOI:10.3390/agronomy8090166.

12. Chihaoui S. A., Mhadhbi H., Mhamdi R. The antibiosis of nodule-endophytic agrobacteria and its potential effect on nodule functioning of *Phaseolus vulgaris* // *Archives of Microbiology*. 2012. Vol. 194. No. 12. P. 1013-1021. DOI: 10.1007/s00203-012-0837-7.

13. Costa L. E. O., Queiroz M. V. B., Arnaldo C., Moraes C. A. Araújo E. F. Isolation and characterization of endophytic bacteria isolated from the leaves of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) // *Braz. J. Microbiol.* 2012. Vol. 43. No. 4, P. 1562–1575. DOI.org/10.1590/S1517-83822012000400041.

14. Dahmani M. A., Desrut A., Moumen B., Verdon J., Mermouri L., Kacem M., Coutos-Thévenot P., Kaid-Harche M., Bergès T., Vriet C. Unearthing the plant growth-promoting traits of *Bacillus megaterium* RmBm31, an endophytic bacterium isolated from root nodules of *Retama monosperma* // *Front Plant Sci.* 2020. Vol. 11. P. 124. DOI:10.3389/fpls.2020.00124.

15. Gang S., Saraf M., Waite C.J., Buck M., Schumacher J. Mutualism between *Klebsiella* SGM 81 and *Dianthus caryophyllus* in modulating root plasticity and rhizospheric bacterial density // *Plant Soil*. 2018. Vol. 421. No. 1. P. 273–288. DOI:10.1007/s11104-017-3440-5.

16. Hacquard S., Spaepen S., Garrido-Oter R., Schulze-Lefert P. Interplay between innate immunity and the plant microbiota // *Annual Review of Phytopathology*. 2017. Vol. 55. No.1. P. 565-589. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080516-035623.

17. Korir H., Mungai N.W., Thuita M., Hamba Y., Masso C. Co-inoculation effect of Rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil // *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 7. No. 8. P. 141. DOI: 10.3389/fpls.2017.00141.

18. Martinez-Hidalgo P., Hirsch A. M. The nodule microbiome: N₂-fixing Rhizobia do not live alone // *Phytobiomes*. 2017. P. 1–13. DOI.org/10.1094/PBIOMES-12-16-0019-RVW.

19. Menéndez E., Paço A. Is the application of plant probiotic bacterial consortia always beneficial for plants? Exploring synergies between rhizobial and non-rhizobial bacteria and their effects on agro-economically valuable crops // *Life*. 2020. Vol. 10. P. 24. DOI:10.3390/life10030024.

20. Sendi Y., Pfeiffer T., Koch E., Mhadhby H., Mrabet M. Potential of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) root microbiome in the biocontrol of root rot disease and traits of performance // *J. Plant Dis. Prot.* 2020. Vol. 127. P. 453–462. DOI.org/10.1007/s41348-020-00338-6.

REFERENCES

1. Antonova O. V. Efficiency of pre-sowing treatment with rhizotorfin for seeds of different varieties of beans. *Agrarian scientific journal*. 2016; 9: 3–5. (In Russ.).

2. Vasil'eva E. N., Akhtemova G.A., Afonin A.M., Borisov A.Yu., Tikhonovich I.A., Zhukov V.A. Cultivated endophytic bacteria of stems and leaves of pea (*Pisum sativum* L.). *Ecological genetics*. 2020; 18; 2: 169 – 184. DOI: 10.17816/ecogen17915. (In Russ.).

3. Garipova S. R., Garifullina D. V., Markova O. V., Ivanchina N. V., Khairullin R. M. The study of bacterial associations of endophytes of nodules, contributing to the increase in the productivity of leguminous plants. *Agrochemistry*. 2010; 11: 50–58. (In Russ.).

4. Garipova S. R., Garifullina D. V., Baimiev An. Kh., Khairullin R. M. Intermicrobial relationships of bacteria *Serratia* sp. Ent16 - a symbiont of a pea nodule and colonization of the pea endosphere by them. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2017; 53; 3: 299–307. DOI: 10.7868/S0555109917030060. (In Russ.).

5. Eliseeva L. V., Nesterova O. P., Prokop'eva M. V. Studying the methods of sowing bean varieties in the conditions of the Chuvash Republic. *Agrarian scientific journal*. 2019; 8: 12–16. DOI: 10.28983/asj.y2019i8pp12-16. (In Russ.).

6. Ivanchina N. V., Garipova S. R., Khairullin R. M. Influence of the dose of cells of endophytic strains of *Bacillus subtilis* producing indolyl-3-acetic acid on the growth and productivity of peas (*Pisum sativum* L.). *Agrochemistry*. 2018; 4: 39–44. DOI: 10.7868/S0002188118040051. (In Russ.).

7. Kazydub N. G., Freilikh E. S., Kotsubinskaya O. A., Skopintseva K. V. Technological and varietal features of growing beans for seeds in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2018; 29; 1: 19–25. (In Russ.).

8. Markova O.V., Garipova S.R. Selection of promising bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Elza and features of their symbiotrophic nutrition in different soil and climatic conditions of the Cis-Urals. *Bulletin of the Bashkir University*. 2013; 18; 3: 709–712. (In Russ.).

9. Markova O. V., Garipova S.R. Adaptive potential of bean varieties cultivated in the conditions of the Southern Cis-Urals. *Problems of agrochemistry and ecology*. 2020; 4: 40-43. DOI: 10.26178/AE.2020.78.87.007. (In Russ.).

10. Khanadeeva M. A., Starichkova N. I., Zlobina N. L., Antonyuk L. P. Field testing of a promising strain of rhizobacterium *Azospirillum brasilense* for agrobiotechnology. *Agrarian scientific journal*. 2015; 5: 30–35. (In Russ.).

11. Celmeli T., Sari H., Canci H., Sari D., Adak A., Eker T., Toker C. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*. 2018; 8: 166. DOI:10.3390/agronomy8090166.

12. Chihaoui S. A., Mhadhbi H., Mhamdi R. The antibiosis of nodule-endophytic agrobacteria and its potential effect on nodule functioning of *Phaseolus vulgaris*. *Archives of Microbiology*. 2012; 194; 12: 1013-1021. DOI: 10.1007/s00203-012-0837-7.

13. Costa L. E. O., Queiroz M. V. B., Arnaldo C., Moraes C. A. Araújo E. F. Isolation and characterization of endophytic bacteria isolated from the leaves of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Braz. J. Microbiol.* 2012; 43; 4:1562-1575. DOI.org/10.1590/S1517-83822012000400041.

14. Dahmani M. A., Desrut A., Moumen B., Verdon J., Mermouri L., Kacem M., Coutos-Thévenot P., Kaid-Harche M., Bergès T., Vriet C. Unearthing the plant growth-promoting traits of *Bacillus megaterium* RmBm31, an endophytic bacterium isolated from root nodules of *Retama monosperma*. *Front Plant Sci.* 2020; 11: 124. DOI:10.3389/fpls.2020.00124.

15. Gang S., Saraf M., Waite C. J., Buck M., Schumacher J. Mutualism between *Klebsiella* SGM 81 and *Dianthus caryophyllus* in modulating root plasticity and rhizospheric bacterial density. *Plant Soil*. 2018; 421; 1: 273–288. DOI:10.1007/s11104-017-3440-5.

16. Hacquard S., Spaepen S., Garrido-Oter R., Schulze-Lefert P. Interplay between innate immunity and the plant microbiota. *Annual Review of Phytopathology*. 2017; 55; 1: 565-589. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080516-035623.

17. Korir H., Mungai N. W., Thuita M., Hamba Y., Masso C. Co-inoculation effect of Rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil. *Front. Plant Sci.* 2017; 7; 8: 141. DOI: 10.3389/fpls.2017.00141.

18. Martinez-Hidalgo P., Hirsch A. M. The nodule microbiome: N₂-fixing Rhizobia do not live alone. *Phytobiomes*. 2017: 1–13. DOI.org/10.1094/PBIOMES-12-16-0019-RVW.

19. Menéndez E., Paço A. Is the application of plant probiotic bacterial consortia always beneficial for plants? Exploring synergies between rhizobial and non-rhizobial bacteria and their effects on agro-economically valuable crops. *Life*. 2020; 10: 24. DOI:10.3390/life10030024.

20. Sendi Y., Pfeiffer T., Koch E., Mhadhby H., Mrabet M. Potential of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) root microbiome in the biocontrol of root rot disease and traits of performance. *J. Plant Dis. Prot.* 2020; 127: 453–462. DOI.org/10.1007/s41348-020-00338-6.

Статья поступила в редакцию 20.08.2021; одобрена после рецензирования 2.09.2021; принята к публикации 12.09.2021.

The article was submitted 20.08.2021; approved after reviewing 2.09.2021; accepted for publication 12.09.2021.