

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>
УДК: 635.656:631.531.027

О.В. Путина^{1*}, О.В. Путин¹,
В.А. Жуков^{2,3}, А.Г. Беседин¹

¹ Крымская опытно-селекционная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Вавилова» 353384, Россия, Краснодарский край, г. Крымск, ул. Вавилова, 12.

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин-8, ш. Подбельского, 3.

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Вавилова» 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44

*Автор для переписки: olga-rhji@mail.ru

Финансирование. В работе использовались образцы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Исследование проводилось при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2020-911 от 16.11.2020 о предоставлении гранта в форме субсидии из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: О.В. Путина: концептуализация, методология, проведение исследования. О.В. Путин: проведение исследования. В.А. Жуков: концептуализация. А.Г. Беседин: методология. Все авторы принимали участие в написании статьи и ее редактировании.

Для цитирования: Путина О.В., Путин О.В., Жуков В.А., Беседин А.Г. Влияние дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* на растения овощного гороха. *Овощи России*. 2024;(4):85-91. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>

Поступила в редакцию: 12.05.2024

Принята к печати: 10.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Olga V. Putina^{1,*}, Oleg V. Putin¹,
Vladimir A. Zhukov^{2,3}, Anatoliy G. Besedin¹

¹ Krymsk Experiment Breeding Station – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources” (Krymsk EBS VIR Branch) 353384, Krasnodar Region, Krymsk, Vavilov St., 12

² Federal State Budget Scientific Institution “All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology” 196608, Russia, Saint Petersburg, Pushkin-8, Podbelsky ch., 3.

³ Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources” 190031, Russia, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 42, 44.

Funding. The work used samples from the VIR Collections of Plant Genetic Resources. The article was made with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement № 075-15-2020-911 date 16.11.2020 on providing a grant in the form of subsidies from the Federal budget of Russian Federation. The grant was provided for state support for the creation and development of a World-class Scientific Center “Agrotechnologies for the Future”.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: O.V. Putina: conceptualization, methodology, research implementation. O.V. Putin: conducting research. V.A. Zhukov: conceptualization. A.G. Besedin: methodology. All authors took part in writing the manuscript and editing it.

For citation: Putina O.V., Putin O.V., Zhukov V.A., Besedin A.G. Effect of additional inoculation with *Rhizobium leguminosarum* on vegetable pea plants. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):85-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>

Received: 12.05.2024

Accepted for publication: 10.06.2024

Published: 08.07.2024

Влияние дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* на растения овощного гороха

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Зерно овощных сортов гороха перерабатывают на консервных предприятиях, замораживают, сушат, употребляют в свежем виде. Промышленное выращивание гороха можно сделать более экологически безопасным, применяя препараты, которые содержат бактерии стимулирующие рост, например, виды *Rhizobium*. При дополнительной инокуляции ризобактериями бобовые культуры имеют более высокие значения биохимических показателей, признаков характеризующих вегетативное развитие и урожайности. Повышается их иммунитет и устойчивость к абиотическим стрессам.

Материал и методика. Цель наших исследований заключалась в оценке влияния дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a на биометрические, физиологические параметры и урожайность сортов овощного гороха. Эксперимент проводили на Крымской ОСС – филиале ВИР (Краснодарский край, г. Крымск). Изучали 6 коммерческих сортов селекции станции: Прима, Маяк, Альфа 2, Веста, Парус (безлисточкового морфотипа) и Патриот. Семена обрабатывали за день до посева водным раствором препарата Ризоторфин (производство «ЭКОС-БИОПРЕПАРАТЫ», г. Санкт-Петербург) и водой – в контрольном варианте.

Результаты. Применение препарата оказало ростостимулирующее действие на растения овощного гороха. При использовании Ризоторфина установлено увеличение значений биометрических показателей, физиологических и урожайности. Наблюдалось замедление перезревания зерна в фазу технической спелости. Эффективность применения препарата зависела от условий года. Максимальная разница между показателями изучаемых признаков по вариантам контроль и препарат была в 2023 году – с равномерным распределением осадков и оптимальными температурами. Выявлена генотип-зависимая реакция растений овощного гороха на обработку семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a. Наиболее отзывчив на дополнительную инокуляцию – сорт Парус безлисточкового морфотипа. Показатели большинства биометрических и физиологических признаков, а также урожайность у данного генотипа были значимо выше в варианте с применением препарата Ризоторфин. На основании полученных результатов мы рекомендуем применять препарат при выращивании сорта Парус на товарное производство.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

горох овощной, *Rhizobium leguminosarum*, биометрические показатели, сухое вещество, урожайность, стресс

Effect of additional inoculation with *Rhizobium leguminosarum* on vegetable pea plants

ABSTRACT

Relevance. Grain of vegetable pea varieties is processed at canning factories, frozen, dried, and consumed fresh. Industrial cultivation of peas can be made more environmentally friendly by using biological preparations that contain growth-stimulating bacteria, for example *Rhizobium* species. With additional inoculation with rhizobacteria, legumes have higher values of traits characterizing vegetative development, biochemical parameters and yield; their immunity and resistance to abiotic stress increases as well.

Methodology. The aim of our study was to evaluate the effect of additional inoculation of *Rhizobium leguminosarum* strain 245a on biometric and physiological parameters and yield of vegetable pea varieties. The experiment was carried out at Krymsk Experiment Breeding Station – a branch of VIR (Krasnodar Region, Krymsk). We studied six commercial cultivar: Prima, Mayak, Alpha 2, Vesta, Parus (leafless morphotype) and Patriot. The seeds were treated the day before sowing with an aqueous solution of the biopreparation Rhizotorfin (produced by ECOS BIOPREPARATIONS, St.Petersburg) and with water in the control variant.

Results. The use of the preparation had a growth-stimulating effect on vegetable pea plants. An increase in the length of plants, the height of attachment of the lower pod and the number of completed pods on the plant was found. An increase in the content of dry matter in the total biomass of plants, stems with leaves and pods was noted when using Rhizotorfin. Also, inoculation with rhizobacteria contributed to an increase in yield. The effectiveness of the biopreparation depended on the conditions of the year. The maximum difference between the values of the studied traits for the control and treatment variants was in 2023 - with a uniform distribution of precipitation and optimal temperatures during the growing season. A genotype-dependent reaction of vegetable pea plants to seed treatment with bacteria *Rhizobium leguminosarum* strain 245a was revealed. The most responsive to additional inoculation is the variety Parus of the leafless morphotype. The values of most biometric and physiological traits and yield in this genotype were significantly higher in the variant with the use of the Rhizotorfin biopreparation. Based on the results obtained, we recommend using the Rhizotorfin biopreparation when growing the variety Parus for commercial production.

KEYWORDS:

vegetable peas, *Rhizobium leguminosarum*, biometric indicators, dry matter, yield, stress

Введение

Широкое распространение алиментарно-ассоциированных заболеваний, связанных с недостатком или переизбытком веществ, поступающих в организм, вызывает социальные и экономические риски не только для отдельного человека, но и для государств. Устойчивое развитие обеспечивается здоровым населением, для которого необходимо качественное улучшение питания и доступ к безопасным продуктам [1, 2].

Горох овощной, как и другие зернобобовые культуры, в первую очередь – источник протеина – строительного материала для организма. В пересчете на сухое вещество в его семенах содержится в среднем 25% общего белка (состоящего из альбумина и запасующих глобулинов легумина и вицилина) с перевариваемостью *in vitro* более 90% (89,3-95,6%). Такой белок ценен в составе зерна гороха и в качестве изолята добавляемого в другие продукты питания для повышения их функциональности и питательной ценности. Наличие большого числа незаменимых аминокислот, высокоамилозного крахмала, макро- и микроэлементов, витаминов и низкое содержание антипитательных и аллергенных веществ позволяет отнести овощной горох к ценной диетической культуре [3].

Зеленое зерно овощных сортов гороха в фазу технической спелости перерабатывают на консервных предприятиях, замораживают, сушат, употребляют в свежем виде. В процессе созревания окраска зерна теряется, увеличивается концентрация сухих веществ и крахмала, уменьшается содержание сахара, и повышается плотность [4, 5]. Благоприятный период для уборки в среднем составляет 6 дней и зависит от генотипа и климатических факторов. Изменение текстуры зерна это качественный показатель позволяющий определить оптимальное время уборки. Для его установления, при промышленном производстве овощного гороха, используют различные приборы, в том числе финометр [5, 6, 7]. Принцип их действия основан на замере силы потраченной на разрушение зерен выраженной в градусах. При созревании плотность зерна увеличивается, усилий на его разрушение требуется больше, соответственно, показатель прибора (градус) повышается. Важно, максимально замедлить процесс перезревания овощного гороха.

Промышленное выращивание гороха предполагает использование пестицидов [8] избыточное применение которых приводит к их накоплению в окружающей среде и товарной части растений, являющейся сырьем или конечным продуктом питания. Повысить экологическую безопасность производства возможно, заменяя химические препараты биологическими [9]. Для зернобобовых культур показан значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции ризобактериями – симбионтами стимулирующими рост растений бобовых культур, образующих клубеньки. Растения в вариантах с использованием бактерий имеют более высокие значения биохимических, биометрических, физиологических показателей и урожайности [например 10, 11]. Повышается их сопротивляемость в отношении стрессовых факторов [12]. Ризобии, способные вступать в симбиоз с растениями гороха и образовывать клубеньки, присутствуют в почве на территории

большой части Российской Федерации, что характерно не для всех бобовых культур. Внесение ризобактерий в виде биопрепарата, дополнительно к имеющейся в почве аборигенной микрофлоре, может оказывать положительное влияние на растения. Недавние исследования показали, что у высокоотзывчивого на инокуляцию почвенными микроорганизмами зернового генотипа происходит замедление созревания семян [13]. Применительно к овощным сортам, описанное явление имеет большое значение для пролонгации периода созревания зерна в фазу технической спелости. Однако у растений гороха отмечена высокая сортоспецифическая реакция на обработку семян бактериями [14, 15]. Необходимо изучение проявления симбиотического взаимодействия между определенным генотипом и штаммом ризобий.

Цель наших исследований заключалась в оценке влияния дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a на биометрические, физиологические параметры и урожайность сортов овощного гороха.

Материалы и методы

Исследование влияния применения биологического препарата Ризоторфин, содержащего штамм *Rhizobium leguminosarum* 245a на растения гороха овощного использования проводилось на Крымской OCC – филиале ВИР (Краснодарский край, г. Крымск) в 2021-2023 годах. Испытывали 6 коммерческих сортов селекции станции разных сроков созревания: Прима – очень ранний, Маяк и Альфа 2 – ранние, Веста – среднеранний, Парус (безлисточкового морфотипа) и Патриот – среднеспелые. Ризоторфин – для гороха, произведенный на базе предприятия «ЭКОС БИОПРЕПАРАТЫ» (г. Санкт-Петербург), получали ежегодно от производителя. Семена обрабатывали водным раствором препарата и дистиллированной водой (контроль) за день до посева. Норма расхода – 1 кг на 1 т семян. Посев осуществляли в оптимальные агрономические сроки в третьей декаде марта механизировано сеялкой СКС-6-10 на глубину 5-6 см. Площадь делянки составила 10 м², учетная площадь – 1 м². Повторность опыта трехкратная. Содержание сухих веществ определяли высушиванием частей растений при 105°C. Для измерения биометрических параметров брали снопы по 10 растений.

Изменение текстуры зерна овощного гороха в процессе созревания устанавливали при помощи финометра. Из выполненных бобов вымолачивали зерно. Далее, пробы помещали в финометр и снимали показания в условных градусах. Согласно ГОСТу 5312-2014 «Горох овощной свежий для консервирования», из сырья с показателями финометра 29-45 градусов получают консервы высшего сорта, 46-56 градусов – первого и 57-72 – второго. Замеры начинали проводить, когда показатели соответствовали высшему сорту, по всем вариантам опыта в трех повторностях. Учеты вели в течение 7 суток.

Определяли долю влияния генотипа (сорта), варианта обработки (контроль, препарат), среды (год) и взаимодействия факторов на результирующий признак проведением многофакторного дисперсионного анализа (Factorial ANOVA, LSD-test) с использованием пакета программ STATISTICA10.

Результаты и их обсуждение

Климатические факторы оказывают значительное влияние на рост, развитие растений гороха и симбиотическую активность ризобактерий. В 2021 году период от посева до всходов был переувлажненным, гидротермический коэффициент равнялся 10,1. До наступления фазы «цветение» прошло два ливневых дождя, интенсивность осадков составила 58,1 мм и 67,0. Большое количество влаги привело к заболачиванию почвы и ее переуплотнению. Низкий уровень аэрации способствовал угнетению корневой системы, что отрицательно отразилось на развитии растений овощного гороха. Недостаток кислорода в почве также негативен для ризобактерий. В 2022 году в период вегетации гороха осадки выпадали неравномерно, после появления всходов их практически не наблюдалось. Гидротермический коэффициент составил 0,7-0,8. Недостаток влаги компенсировали проведением двух поливов, в период вегетативного роста и бутонизации, с оросительной нормой 250 м³/га. Рост сортов овощного гороха в 2023 году проходил в более благоприятных условиях при равномерном распределении осадков. Значения гидротермического коэффициента находились в пределах от 1,3 для ранних сортов до 1,7 для поздних.

Овощные луцильные сорта гороха используются для переработки и потребления в свежем виде в фазу «техническая спелость», когда нижние бобы еще зеленые и имеют характерную сеточку. В эту фазу проводили оценку зависимости биометрических параметров, физиологических и урожайности сортов овощного гороха от дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамм 245а.

По результатам трехлетнего эксперимента (2021-2023 годы) изменчивость изучаемых биометрических параметров зависела от сорта гороха и взаимодействия факторов сорт*год (табл.1). Генотипы значительно отличались по показателям вегетативных и продуктивных признаков, что подтверждает их контрастность. Среднее значение высоты растений по сортам в 2021 году составило 44,6 см, 2022 – 52,1, 2023 – 58,6. Высота прикрепления нижнего боба находилась на уровне 33,9 см в 2021 году; 44,3 – 2022 и 43,9 – 2023. Высота растений и высота прикрепления нижнего боба у всех сортов были ниже в 2021 году – менее благоприятном по климатическим показателям в период вегетации гороха. Для признаков, характеризующих продуктивность, отмечена иная тенденция. По генотипам, среднее значение числа выполненных бобов на растении составило 3,9 шт. в

Таблица 1. Средние показатели биометрических параметров сортов овощного гороха и характеристика их зависимости от источников вариации (Краснодарский край, 2021-2023 гг.).
Table 1. Values of biometric parameters of vegetable pea varieties and characteristics of their dependence on sources of variation (Krasnodar Region, 2021-2023).

Сорт	Вариант обработки	Длина стебля, см.	Высота прикрепления нижнего боба, см.	Выполненных бобов на растении, шт.	Длина боба, см.	Зерен в бобе, шт.
Прима	контроль	41,9	28,0	3,2	7,5	5,9
	препарат	45,6	31,1	3,5	7,2	5,3
Маяк	контроль	38,4	30,0	3,3	8,0	6,4
	препарат	40,4	29,8	3,8	8,2	6,4
Альфа 2	контроль	54,7	43,9	3,9	7,4	5,5
	препарат	58,1	42,4	4,3	7,4	5,4
Веста	контроль	55,7	46,1	4,5	8,0	6,3
	препарат	56,3	46,1	4,3	7,9	6,2
Парус	контроль	53,8	44,6	4,1	7,5	5,8
	препарат	57,2	47,5	4,4	7,6	6,2
Патриот	контроль	58,5	48,0	4,2	8,6	6,6
	препарат	60,3	50,8	4,3	8,3	6,5
среднее значение	контроль	50,0	40,1	3,9	7,8	6,0
	препарат	53,0	41,2	4,1	7,8	6,0
Источник вариации Source of Variation		значение p (уровень значимости влияния фактора) p value (significance level of influence of factors)				
Сорт		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Вариант обработки		0,000	0,032	0,028	0,331	0,344
Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,226
Сорт*Вариант обработки		0,757	0,061	0,208	0,086	0,461
Сорт*Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Вариант обработки*Год		0,026	0,044	0,194	0,009	0,147
Сорт*Вариант обработки*Год		0,037	0,309	0,146	0,088	0,000

41,9 – жирным выделены значимые отличия между показателями контроля и препарата, по результатам многофакторного дисперсионного анализа (Factorial ANOVA, Fisher LSD, при $p < 0,05$)

41,9 – Significant differences between the values of 'control' and the 'preparation' are highlighted in bold, according to the results of multivariate analysis of variance (Factorial ANOVA, Fisher LSD, при $p < 0,05$)

2021 году, 3,2 – 2022, 4,8 – 2023. Длина боба в 2021 году и 2023 была 8,0 см., 2022 – 7,4. Число зерен в бобе практически не отличалось по годам наблюдений и составило 5,9-6,2 шт. Показатели числа выполненных бобов на растении и длины бобов у большинства изучаемых сортов были самыми низкими в 2022 году. В этот год период формирования и налива бобов проходил в условиях недостаточной обеспеченности влагой. Число бесплодных узлов и общее на растении, ширина боба имели значения характерные для каждого сорта и значимо не отличались между годами наблюдений и вариантами применения препарата (данные не представлены).

Выявлено статистически значимое влияние препарата Ризоторфин на биометрические признаки овощного гороха. При использовании препарата, в среднем по сортам, длина растений, высота прикрепления нижнего боба и число выполненных бобов на растении были выше, в сравнении со значениями контрольного варианта (табл.1). Отсутствие значи-

мой взаимосвязи между сортом и вариантом обработки по биометрическим показателям указывает на зависимость реакции растений на применение дополнительной инокуляции ризобиями от генотипа. В варианте с использованием препарата отмечено статистически значимое увеличение высоты растений сортов Прима (+3,7 см к показателю контрольного варианта), Альфа 2 (+3,3), Парус (+3,4), и высоты прикрепления нижнего боба у сортов Прима (+3,1), Парус (+2,8), Патриот (+2,8). Для сорта Маяк установлено повышение числа выполненных бобов на растении при применении Ризоторфина на 0,4 шт. в сравнении со значением контроля.

Эффективность симбиотического взаимодействия между генотипами овощного гороха и ризобактериями оценивали по сухой надземной биомассе растений и его частей. Изменчивость показателей изучаемых признаков была обусловлена генотипом, условиями выращивания, вариантом применения дополнительной инокуляции, и взаимодействием

Таблица 2. Сухая масса растений и урожайность сортов овощного гороха с характеристикой их зависимости от источников вариации (Краснодарский край, 2021-2023 годы).
Table 2. The content of dry substances in the above-ground biomass of plants and the yield of vegetable pea varieties with characteristics of their dependence on sources of variation (Krasnodar Region, 2021-2023).

Сорт	Вариант обработки	Сухая масса, г/м ²				Урожайность зеленого горошка, кг/м ²
		общая	стеблей и листьев	бобов	лопаток	
Прима	контроль	425,5	185,6	231,0	8,9	0,62
	препарат	490,6	217,9	255,5	17,2	0,70
Маяк	контроль	358,4	146,5	206,9	5,0	0,55
	препарат	415,9	174,1	236,7	5,2	0,64
Альфа 2	контроль	385,9	203,8	169,7	12,4	0,43
	препарат	425,0	222,0	186,1	17,0	0,51
Веста	контроль	519,7	268,3	240,4	11,0	0,70
	препарат	438,5	235,9	196,3	6,3	0,62
Парус	контроль	448,0	227,8	210,6	9,6	0,58
	препарат	565,4	296,0	261,5	7,9	0,72
Патриот	контроль	544,5	264,0	274,1	6,4	0,74
	препарат	595,2	288,8	299,0	7,4	0,85
Год						
2021	контроль	380,0	159,4	213,0	2,0	0,54
	препарат	382,8	161,9	213,5	1,9	0,54
2022	контроль	418,0	220,8	195,3	7,6	0,47
	препарат	475,6	251,8	221,9	7,5	0,56
2023	контроль	542,9	267,8	258,1	17,0	0,80
	препарат	606,8	303,7	282,1	21,1	0,91
среднее значение	контроль	447,0	216,0	222,1	8,9	0,60
	препарат	488,4	239,1	239,2	10,2	0,67
Source of Variation Источник вариации		значение p (уровень значимости влияния фактора) p value (significance level of influence of factors)				
Сорт		0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Вариант обработки		0,007	0,0025	0,048	0,376	0,005
Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Сорт*Вариант обработки		0,008	0,012	0,046	0,136	0,140
Сорт*Год		0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Вариант обработки*Год		0,186	0,144	0,385	0,405	0,167
Сорт*Вариант обработки*Год		0,501	0,365	0,712	0,309	0,505

Лопатка – плоский боб на начальном этапе развития

ем факторов год*вариант обработки, сорт*вариант обработки (табл.2). Сухая надземная биомасса растений значительно отличалась по годам наблюдений и составила 381,4 г/м² в 2021 году, 446,8 – 2022 году, 574,8 – 2023 году. Показатели сухой массы стеблей с листовым аппаратом также различались. Самое низкое значение признака отмечено в 2021 году – 160,7 г/м², в 2022 году и 2023 показатели были выше на 75,6 и 125,0 соответственно. Сухая масса бобов в 2021 и в 2022 годах значимо не отличалась и составила 231,2 г/м² и 208,6. Максимальный уровень отмечен в 2023 году – 270,1 г/м². На плоские бобы в фазе «лопатка» приходилось в 2021 году – 7,5 г/м² ассимилятов, в 2022 – 2,0, в 2023 – 19,0. В неблагоприятных условиях 2021 года сухая масса вегетативных и генеративных частей растений была значимо ниже, в сравнении с показателями 2023 года. Формирование вегетативных органов растений в 2022 году проходило при достаточном обеспечении влагой, что способствовало накоплению ассимилянтов в стеблях с листьями и надземной биомассе. Низкое значение сухой массы бобов обусловлено отсутствием осадков и высокими температурами в период образования и налива бобов. Самые высокие значения всех изучаемых признаков были в 2023 году – наиболее благоприятном по климатическим факторам для роста и развития растений овощного гороха.

Применение препарата оказало значительное влияние на сухую массу растений, стеблей и листьев, а также бобов. Средние по сортам значения данных признаков выше в варианте с использованием Ризоторфина, в сравнении с контролем (табл. 2). Данная тенденция прослеживалась не во все годы наблюдений. В условиях 2021 года по изучаемым параметрам между вариантом с применением препарата и без него разницы не наблюдалось. Значимые отличия установлены при развитии растений в более благоприятных погодных условиях 2022 и 2023 годов. Наиболее отзывчивы на дополнительную инокуляцию сорта Веста и Парус. Для сорта Веста характерна

негативная реакция, выраженная в значительном уменьшении показателей сухой массы растений (-84,14 г/м² к контролю) и бобов (-44,1). Значительный положительный эффект применения препарата выявлен для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа, у которого большинство показателей сухой массы выше в этом варианте (табл. 2).

Скорость перезревания сортов овощного гороха учитывали от начала фазы «техническая спелость», когда показатель плотности зерна, измеряемый финометром, был 29-45 градусов. Сравнение средних значений по сортам показало, что самые высокие темпы созревания у сорта Парус (6,8 град./сут.). Медленнее всех перезревает зерно сорта Альфа 2 (5,1 град./сут.). Показатели сортов Веста, Прима, Патриот, Маяк составили 5,8 град./сут., 5,7, 5,5, 5,3 соответственно. Интенсивность перезревания овощного гороха зависит от климатических факторов. Засушливые условия, высокая температура и недостаток влаги, приводят к увеличению суточного изменения градусов и сокращают оптимальный период уборки до 2-3 суток [4, 7]. Наши результаты подтверждают эти данные. При жарких и засушливых условиях 2021 и 2022 годов в период формирования бобов значения признака были 6,1 град./сут. и 5,2 соответственно. В 2023 году процесс созревания проходил медленнее, показатель равнялся 4,2 град./сут. Применение препарата несколько замедлило интенсивность перезревания овощного гороха. Данный показатель, в среднем по эксперименту, составил 5,8 град./сут. для контрольного варианта и 5,6 – при использовании дополнительной инокуляции. Тенденция наблюдалась в 2021 и 2022 гг., в условиях 2023 года разница между вариантами обработки составила 0,1 град./сут. Наибольшие отличия между показателями отмечены у сорта Альфа 2, значения в варианте с применением препарата Ризоторфин ниже на 0,7 град./сут., в сравнении с контролем. Для остальных сортов разница между показателями контроля и препарата не превышала 0,2 град./сут. (рис. 1).

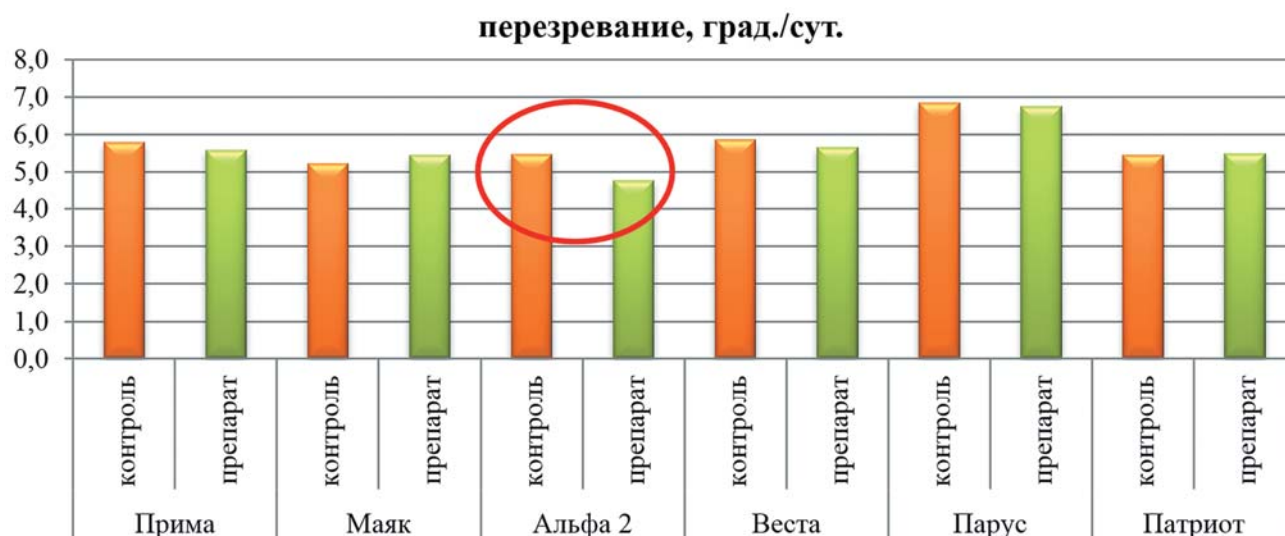


Рис. 1. Интенсивность изменения плотности зерна овощных сортов гороха за сутки в зависимости от применения препарата Ризоторфин (Краснодарский край, 2021-2023 годы)

Fig. 1. The intensity of changes in grain density of vegetable pea varieties per day depending on the use of the biopreparation Rhizotorfin (Krasnodar region, 2021-2023)

Урожайность зеленого горошка зависела от сорта, варианта применения препарата, условий года выращивания и взаимодействия факторов сорт*год (табл.2). Максимальное значение признака было у сорта Патриот (0,80 кг/м²) среднеспелой группы созревания, минимальное – у раннего Альфа 2 (0,47). Урожайность Примы (0,66 кг/м²), Маяка (0,60), Весты (0,66) и Паруса (0,65) значимо не отличалась. В условиях 2021 и 2022 годов, в среднем по эксперименту, сформирован сопоставимый урожай зеленого горошка – 0,54 кг/м² и 0,52 соответственно. Значимо выше показатель 2023 года – 0,86 кг/м². Значительное положительное влияние на урожайность генотипов оказало применение дополнительной инокуляции семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* 245a (табл.2). Использование препарата привело к увеличению показателя у сорта Прима на 11,8%, Маяк – 16,1, Альфа 2 – 17,8, Парус – 24,3, Патриот – 14,4, в сравнении со значениями контроля. Проведение многофакторного дисперсионного анализа подтвердило значимость отличий между вариантами обработки для сорта Парус.

Применение дополнительной инокуляции ризобактериями оказало ростостимулирующий эффект на растения гороха овощного. Значения всех изучаемых признаков были выше в данном варианте (табл.1 и 2, рис.1). Действие препарата, в большей степени, проявлялось в годы с благоприятными погодными условиями на начальных этапах роста растений овощного гороха, когда происходил процесс колонизации корневой системы растений ризобактериями, и начиналось формирование клубеньков. Влияние недостатка кислорода в пахотном горизонте почвы на бактерии *Rhizobium leguminosarum* мало изучено, однако, можно предположить, что оно оказывает значительное негативное воздействие, также как повышенная кислотность почвы [16, 17] или высокие температуры [18]. В 2021 году, после инокуляции и посева семян в пахотном горизонте почвы сложились условия недостаточной аэрации, что негативно отразилось на процессе взаимодействия между корневой системой растений и симбионтами. Показатели большинства изучаемых признаков значимо не отличались по вариантам применения препарата (табл.1 и 2). Условия 2022 года были более засушливыми, однако, проведение одного полива после посева и второго в период бутонизации способствовали симбиозу между горохом и ризобактериями. В большей степени это отразилось на физиологических признаках характеризующих вегетативное развитие – сухая масса растений и стеблей с листовым аппаратом – их показатели были значимо выше при применении Ризоторфина в сравнении с контролем (табл.2). Сухая масса бобов и урожайность были незначительно выше при использовании препарата. В оба года изучения отмечено снижение интенсивности созревания зерна, показатель в варианте с применением препарата был ниже контрольного на 0,2 град./сут. Наибольший эффект дополнительной инокуляции отмечен в 2023 году – с равномерным распределением осадков и оптимальными температу-

рами на протяжении всего периода вегетации гороха. Значения большинства биометрических параметров, физиологических и урожайности были выше при использовании препарата (табл.1 и 2). Влияния применения Ризоторфина на скорость созревания, в среднем по генотипам, не установлено.

Изучение влияния дополнительной инокуляции гороха посевного бактериями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* показало зависимость эффективности симбиоза от генотипа [14, 15]. Данная тенденция наблюдалась и в нашем трехлетнем эксперименте, при оценке отзывчивости овощных сортов на применение коммерческого штамма ризобактерий. Для большинства генотипов отмечены более высокие значения биометрических признаков, физиологических и урожайности в варианте с применением препарата Ризоторфин (табл.2). Растения сорта Веста среднераннего срока созревания, выращенные с применением препарата и без него, по биометрическим показателям не отличались (табл.1). Разница наблюдалась в значениях физиологических признаков и урожайности, они были выше в контрольном варианте (табл.2). Для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа среднего срока созревания установлен значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции семян ризобактериями. Длина стебля, высота прикрепления нижнего боба, сухая масса надземной части растений, стеблей с листовым аппаратом, бобов и урожайность были значимо выше в варианте с применением препарата Ризоторфин (табл.1 и 2).

Выводы

Установлено значительное ростостимулирующее влияние применения препарата Ризоторфин содержащего штамм *Rhizobium leguminosarum* 245a на растения овощного гороха. Использование препарата привело к увеличению длины растений, высоты прикрепления нижнего боба и числа выполненных бобов на растении, повышению сухой массы растений, стеблей с листьями, а также бобов. Наблюдалось снижение интенсивности созревания зерна. Дополнительная инокуляция ризобактериями способствовала повышению урожайности зеленого горошка в фазу технической спелости.

Эффективность применения ризобактерий на овощном горохе зависела, в том числе, от погодных условий года. Нарушение водно-воздушного режима в пахотном горизонте почвы в начале симбиотического взаимодействия нивелировало разницу между вариантами применения препарата по большинству изучаемых признаков.

Отмечена генотип-зависимая реакция растений овощного гороха на обработку семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a.

Для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа выявлен значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции ризобактериями, в том числе, на урожайность зеленого горошка. На основании полученных результатов мы рекомендуем применять препарат Ризоторфин, при выращивании данного сорта на товарное производство.

• Литература

1. Итоги второй Международной конференции по вопросам питания. Семьдесят вторая сессия всемирной ассамблеи здравоохранения. ВОЗ; 2019 [протитировано 13.05.2024]. Доступно: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_58-ru.pdf
2. Ускорение мер по обеспечению безопасности пищевых продуктов. Семьдесят третья сессия всемирной ассамблеи здравоохранения. ВОЗ; 2020 [протитировано 13.05.2024]. Доступно: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA73/A73_R5-ru.pdf
3. Кайгородова И.М., Ушаков В.А., Голубкина Н.А., Котляр И.П., Пронина Е.П., Антошкина М.С. Пищевая ценность, качество сырья и продовольственное значение культуры гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2022;(3):16-32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32> <https://elibrary.ru/wlxvhj>
4. Дрозд А.М., Самарина Л.Н. Изменение продуктивности овощных сортов гороха и качества зеленого горошка в процессе его перезревания. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976;56(2):29-39.
5. Rutledge P.J., Board P.W. Comparison of physical methods for estimating the maturity of raw, frozen and cooked peas. *Journal of Texture Studies*. 1980;11(4):379-388. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1980.tb01316.x>
6. Anderson J.A.D., White J.G.H. The relationship between green pea yield and tenderometer reading. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 1974;2:31-33. <https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10427666>
7. Fallon E., Tremblay N., Desjardins Y. Relationships among growing degree-days, tenderness, other harvest attributes and market value of processing pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Quebec. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006;86(2):525-537. <https://doi.org/10.4141/P04-144>
8. Беседин А.Г. Сорта и основные приемы возделывания гороха овощного на Кубани. *Овощи России*. 2013;(1):86-89. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-86-89> <https://elibrary.ru/qcjhxr>
9. Šunjka D., Mechora Š. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation—Recent advances. *Plants*. 2022;11(2):172. <https://doi.org/10.3390/plants11223172>
10. Hafeez F., Shah N., Malik K. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae strains for nitrogen fixation using nitrogen-15 isotope dilution. *Biol Fertil Soils*. 2000;(31):65–69. <https://doi.org/10.1007/s003740050625>
11. Mishra P.K., Bisht S.C., Jeevanandan K., Kumar S., Bisht J.K., Bhatt J.C. Synergistic effect of inoculating plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-FB1 on growth and nutrient uptake of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2014;60(6):799-815. doi.org/10.1080/03650340.2013.843773
12. Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
13. Mamontova T., Afonin A.M., Ihling C., Soboleva A., Lukasheva E., Sulima, A.S., Shtark O.Y., Akhtemova G.A., Povydysh M.N., Sinz A., Frolov A., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A. Profiling of seed proteome in pea (*Pisum sativum* L.) lines characterized with high and low responsiveness to combined inoculation with nodule bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *Molecules*. 2019;24(8):1603. <https://doi.org/10.3390/molecules24081603>
14. Zhukov V.A., Akhtemova G.A., Zhermakov A.I., Sulima A.S., Shtark O.Y., Tikhonovich I.A. Evaluation of the symbiotic effectiveness of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in pot experiment. *Agric. Biol.* 2017;52:607-614. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.607>
15. Штарк О.Ю., Данилова Т.Н., Наумкина Т.С., Васильчиков А.Г., Чеботарь В.К., Казаков А.Е., Жернакова А.И., Неманкин Т.А., Прилепская Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Анализ исходного материала гороха посевного (*Pisum sativum* L.) для селекции сортов с высоким симбиотическим потенциалом и выбор параметров для его оценки. *Экологическая генетика*. 2006;4(2):22-28. <https://elibrary.ru/hznusv>
16. Drew E.A., Denton M.D., Sadras V.O., Ballard R.A. Agronomic and environmental drivers of population size and symbiotic performance of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in Mediterranean-type environments. *Crop and Pasture Science*. 2012;63(5):467-477. <https://doi.org/10.1071/CP12032>
17. Fettel N.A., Evans C.M., Carpenter D.J., Brockwell J. Residual effects from lime application on soil pH, rhizobial population and crop productivity in dryland farming systems of central New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2007;47(5):608-19. <https://doi.org/10.1071/EA06070>
18. Serova T.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Seliverstova E.V., Gorshkov A.P., Romanyuk D.A., Zhukov V.A., Tsyganov V.E. Effects of elevated temperature on *Pisum sativum* nodule development: I—Detailed characteristic of unusual apical senescence. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(24):17144. <https://doi.org/10.3390/ijms242417144>

• References

1. Assembly. WHO; 2019 [cited 05/13/2024]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_58-ru.pdf (In Russ.)
2. Accelerating food safety measures. Seventy-third World Health Assembly. WHO; 2020 [cited 05/13/2024]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA73/A73_R5-ru.pdf (In Russ.)
3. Kaigorodova I.M., Ushakov V.A., Golubkina N.A., Kotlyar I.P., Pronina E.P., Antoshkina M.S. Nutritional value, quality of raw materials and food value of vegetable pea culture (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):16-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32> <https://elibrary.ru/wlxvhj>
4. Drozd A.M., Samarina L.N. Changes in the productivity of vegetable pea varieties and the quality of green peas during their overripening. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 1976;56(2):29-39. (In Russ.)
5. Rutledge P.J., Board P.W. Comparison of physical methods for estimating the maturity of raw, frozen and cooked peas. *Journal of Texture Studies*. 1980;11(4):379-388. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1980.tb01316.x>
6. Anderson J.A.D., White J.G.H. The relationship between green pea yield and tenderometer reading. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 1974;2:31-33. <https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10427666>
7. Fallon E., Tremblay N., Desjardins Y. Relationships among growing degree-days, tenderness, other harvest attributes and market value of processing pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Quebec. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006;86(2):525-537. <https://doi.org/10.4141/P04-144>
8. Bessedin A.G. Varieties and basic techniques of pea cultivation in Kuban. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(1):86-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-86-89> <https://elibrary.ru/qcjhxr>
9. Šunjka D., Mechora Š. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation—Recent advances. *Plants*. 2022;11(2):172. <https://doi.org/10.3390/plants11223172>
10. Hafeez F., Shah N., Malik K. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae strains for nitrogen fixation using nitrogen-15 isotope dilution. *Biol Fertil Soils*. 2000;(31):65–69. <https://doi.org/10.1007/s003740050625>
11. Mishra P.K., Bisht S.C., Jeevanandan K., Kumar S., Bisht J.K., Bhatt J.C. Synergistic effect of inoculating plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-FB1 on growth and nutrient uptake of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2014;60(6):799-815. doi.org/10.1080/03650340.2013.843773
12. Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
13. Mamontova T., Afonin A.M., Ihling C., Soboleva A., Lukasheva E., Sulima, A.S., Shtark O.Y., Akhtemova G.A., Povydysh M.N., Sinz A., Frolov A., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A. Profiling of seed proteome in pea (*Pisum sativum* L.) lines characterized with high and low responsiveness to combined inoculation with nodule bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *Molecules*. 2019;24(8):1603. <https://doi.org/10.3390/molecules24081603>
14. Zhukov V.A., Akhtemova G.A., Zhermakov A.I., Sulima A.S., Shtark O.Y., Tikhonovich I.A. Evaluation of the symbiotic effectiveness of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in pot experiment. *Agric. Biol.* 2017;52:607-614. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.607>
15. Shtark O.Y., Danilova T.N., Naumkina T.S., Vasilchikov A.G., Chebotar V.K., Kazakov A.E., Zhermakov A.I., Nemankin T.A., Prilepskaya N.A., Borisov A.Y., Tikhonovich I.A. Analysis of pea (*Pisum sativum* L.) source material for breeding of cultivars with high symbiotic potential and choice of criteria for its evaluation. *Ecological Genetics*. 2006;4(2):22-28. <https://elibrary.ru/hznusv>
16. Drew E.A., Denton M.D., Sadras V.O., Ballard R.A. Agronomic and environmental drivers of population size and symbiotic performance of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in Mediterranean-type environments. *Crop and Pasture Science*. 2012;63(5):467-477. <https://doi.org/10.1071/CP12032>
17. Fettel N.A., Evans C.M., Carpenter D.J., Brockwell J. Residual effects from lime application on soil pH, rhizobial population and crop productivity in dryland farming systems of central New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2007;47(5):608-19. <https://doi.org/10.1071/EA06070>
18. Serova T.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Seliverstova E.V., Gorshkov A.P., Romanyuk D.A., Zhukov V.A., Tsyganov V.E. Effects of elevated temperature on *Pisum sativum* nodule development: I—Detailed characteristic of unusual apical senescence. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(24):17144. <https://doi.org/10.3390/ijms242417144>

Об авторах:

Ольга Владимировна Путина – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, автор для переписки: olga-rhji@mail.ru, SPIN-код: 3183-9952, <https://orcid.org/0000-0003-1013-7273>

Олег Владимирович Путин – кандидат с.-х. наук, научный работник, kross67@mail.ru, AuthorID: 844462

Владимир Александрович Жуков – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией генетики растительно-микробных взаимодействий, vzhukov@arriam.ru, SPIN-код: 2610-3670, <https://orcid.org/0000-0002-2411-9191>

Анатолий Григорьевич Беседин – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом генетических ресурсов и селекции овощных культур, kross67@mail.ru, AuthorID: 701520

About the Authors:

Olga V. Putina – Cand. Sci. (Biology), Researcher, SPIN-code: 3183-9952, <https://orcid.org/0000-0003-1013-7273>, Corresponding Author, olga-rhji@mail.ru

Oleg V. Putin – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, kross67@mail.ru, AuthorID: 844462

Vladimir A. Zhukov – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Genetics of Plant-Microbe Interactions, vzhukov@arriam.ru, SPIN-code: 2610-3670, <https://orcid.org/0000-0002-2411-9191>

Anatoliy G. Bessedin – (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Genetic Resources and Vegetable Breeding, kross67@mail.ru, AuthorID: 701520