

Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 2 (58). С. 3-11
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2026; (2-58): 3-11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 633.367
Код ВАК 4.1.1

DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_3_11
EDN: ALJYLL

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Анна Николаевна Кононенко^{1✉}, Дарья Романовна Проценко²

^{1, 2} Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

¹ kan1910@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0467-3985>

² daraprotsenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6500-9027>

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы формирования азотфиксирующих бактерий на корнях люпина узколистного при применении ассоциативных ризобактерий в 2023–2025 годах. Для закладки полевого опыта использовали семена сорта люпина узколистного Фламинго. Инокуляция семян люпина проводилась перед посевом препаратами Ризобакт (марка к.ж.ф. и р.ж.ф.), содержащими штаммы *Rhizobium sp.* (*Rhizobium lupini*, штамм ПБТ-12), выделенные из клубеньков люпина без инокуляции (0,1 л/т), *Corynebacterium sp.* (0,1 л/т) штамм ПБТ-7, выделенный из ризопланы корней ячменя; штамм SB, выделенный из ризопланы корней сои; штамм SR, выделенный из ризопланы корней фасоли (0,1 л/т). Представлена динамика формирования количества и массы клубеньков на сорте Фламинго в зависимости от инокуляции в условиях Ленинградской области. Инокуляция биопрепаратами оказывает существенное влияние на урожайность семян и зеленой массы. К фазе блестящих бобов максимальное количество клубеньков (23,81 млн шт./га) и их массы (1259 кг/га) было накоплено в варианте с применением только штамма клубеньковых азотфиксирующих бактерий. В среднем за 3 года исследований наибольшую зеленую массу 10 т с 1 га набрал вариант с инокуляцией *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) со штаммом *Corynebacterium sp.* (SR), зеленая масса которого превышает контроль в среднем на 63 %. По урожайности семян достоверно лучшие результаты были получены в контрольном варианте и в варианте с инокуляцией только штаммом клубеньковых бактерий *Rhizobium lupini* (ПБТ-12), составив 1,2 и 1,1 т/га соответственно. При этом обнаружена умеренная зависимость массы клубеньков от урожайности зеленой массы и семян люпина узколистного.

Ключевые слова: люпин узколистный, инокуляция, корневая система, азотфиксирующие бактерии, ризосферные бактерии, сидерат, клубеньки, Ризобакт.

Благодарности: выражаем благодарность коммерческому директору научно-производственной компании ООО «Петербургские Биотехнологии» Попову Александру Анатольевичу за любезно предоставленные микробиологические препараты. Работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», технические средства предоставлялись ООО «Семеноводство» (Ленинградская область).

Для цитирования: Кононенко А.Н., Проценко Д.Р. Влияние инокуляции семян на продуктивность люпина узколистного в условиях Ленинградской области // Вестник Курганской ГСХА. 2026. № 2 (58). С. 3–11. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_3_11. EDN: ALJYLL.

Scientific article

THE EFFECT OF SEED INOCULATION ON THE PRODUCTIVITY OF NARROW-LEAVED LUPINE IN THE LENINGRAD REGION

Anna N. Kononenko^{1✉}, Daria R. Protsenko²

^{1, 2} Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

¹ kan1910@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-0467-3985>

² daraprotsenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6500-9027>

Abstract. The article discusses the formation of nitrogen-fixing bacteria on the roots of narrow-leaved lupine when using associative rhizobacteria in 2023–2025. The seeds of the narrow-leaved lupine, Flamingo variety, were used to lay the field experiment. Before sowing, lupine seed inoculation was carried out with Rhizobact preparations (brand k.zh.f. [liquid concentrate] and R.zh.f. [liquid solution]) containing *Rhizobium sp.* strains (*Rhizobium lupini*, strain PBT-12) isolated from lupin nodules without inoculation (0.1 l/t), *Corynebacterium sp.* (0.1 l/t) strain PBT-7 isolated from rhizoplane of barley roots; SB strain isolated from soybean root rhizoplane; SR strain isolated from bean root rhizoplane (0.1 l/t). The study presents the formation dynamics of the number and weight of nodules on the Flamingo variety depending on inoculation in the Leningrad region. Inoculation with biological products has a significant effect on the yield of seeds and green mass. By the shiny bean phase, the maximum number of nodules (23.81 million units/ha) and their weight (1,259 kg/ha) were accumulated in the variant using only a strain of nodular nitrogen-fixing

bacteria. On average, over 3 years of research, the highest green mass of 10 tons per 1 ha was gained by the variant inoculated with *Rhizobium lupini* (PBT-12) with the strain *Corynebacterium* sp. (SR), the green mass of which exceeds the control by an average of 63 %. In terms of seed yield, the significantly better results were obtained in the control variant and in the variant with inoculation with only a strain of nodule bacteria *Rhizobium lupini* (PBT-12), amounting to 1.2 and 1.1 t/ha, respectively. At the same time, it was found that there was a moderate dependence of the nodule mass on the yield of green mass and seeds of narrow-leaved lupine.

Keywords: narrow-leaved lupine, inoculation, root system, nitrogen-fixing bacteria, rhizospheric bacteria, green manure, nodules, Rhizobact.

Acknowledgments: our gratitude is expressed to Aleksandr Anatolyevich Popov, Commercial Director of the scientific and production company ООО Petersburg Biotechnologies (LLC), for kindly providing microbiological preparations. The work was funded from the budget of St. Petersburg State Agrarian University, technical facilities were provided by the seed production company, ООО Semenovodstvo (LLC) (Leningrad Region).

For citation: Kononenko A.N., Protsenko D.R. The effect of seed inoculation on the productivity of narrow-leaved lupine in the Leningrad region // Vestnik Kurganskoy GSHA. 2026; (2-58): 3-11. DOI: 10.52463/2227-4227_2026_58_3_11. EDN: ALJYLL. (In Russ).

Введение. Люпин, как представитель зерновых бобовых культур, демонстрирует высокую способность к формированию симбиотического аппарата с бактериями рода *Rhizobium*. Этот симбиоз обеспечивает люпину доступ к дополнительному источнику азота, что является важным для роста и развития растений [1]. Характер размещения клубеньков на корневой системе у люпина узколистного следующий: 60–90 % клубеньков находится на главном корне, остальные в радиусе до 12 см. Глубина проникновения 25–27 см, 60–95 % клубеньков расположены в слое 0–15 см [2]. Когда влажность почвы снижается в середине вегетации до критического уровня, то клубеньки отмирают (иногда полностью) и появляются вновь при восстановлении влажности почвы до оптимальной. Активность симбиоза значительно зависит от агрономических условий, связанных с уходом за вегетирующими растениями, а также фазы развития растений [3]. Количество фиксированного азота воздуха зависит не только от массы клубеньков с леггемоглобином, но и от продолжительности «работы» этой массы. Чем дольше клубеньки фиксируют азот, тем больше его будет усвоено [4]. Состояние симбиотической системы в период вегетации растений достаточно полно отражает величина активного симбиотического потенциала – производство массы активных клубеньков на продолжительность их функционирования. Чем больше масса клубеньков и чем дольше они находятся в активном состоянии, тем больше азота воздуха усваивает симбиотическая система [5; 6]. Симбиотические азотфиксирующие бактерии являются важнейшим звеном в биологическом круговороте азота в природе [7].

В последние годы особую значимость приобретает разностороннее изучение бактериальных препаратов на формирование продуктивности различных сельскохозяйственных культур. Это обуславливается необходимостью снижения зависимости от минеральных удобрений, при сохранении высокой урожайности сельскохозяйственных культур [8]. Активно изучается вопрос взаимодействия различных сельскохозяйственных культур с ассоциативными ризосферными бактериями, в том числе их взаимодействие с бобовыми.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал о положительном действии ассоциативных ризобактерий на рост, питание и адаптацию сельскохозяйственных растений к неблагоприятным климатическим и почвенным факторам. Известно, что некоторые ризосферные бактерии могут оказывать благоприятное влияние на формирование азотфиксирующего симбиоза с клубеньковыми бактериями. Это происходит за счет снижения стрессовых фитогормонов, к которым чувствительно клубенькообразование [9–11]. При этом эффективность применения бактериальных препаратов существенно зависит от почвенно-климатических условий региона выращивания, что определяет необходимость комплексного изучения данного вопроса [8; 12].

В последнее время активно изучается вопрос взаимодействия различных сельскохозяйственных культур с ассоциативными ризосферными бактериями, в том числе их взаимодействие с бобовыми культурами. Накоплен значительный экспериментальный материал о положительном действии ассоциативных ризобактерий на рост, питание и адаптацию сельскохозяйственных растений к неблагоприятным климатическим и почвенным факторам. Известно, что некоторые ризосферные бактерии могут оказывать благоприятное влияние на формирование азотфиксирующего симбиоза с клубеньковыми бактериями. Это происходит за счет снижения стрессовых фитогормонов, к которым чувствительно клубенькообразование [8]. Ризобактерии способны синтезировать абсолютно различные виды фитогормонов с разной степенью интенсивности. Поэтому также перспективно их изучение в качестве альтернативы минеральным удобрениям, химическим средствам защиты и регуляции роста растений.

Ранее не было изучено взаимодействие инокуляции ризосферными бактериями и их совместное применение с азотфиксирующими бактериями на такой бобовой культуре, как люпин узколистный, а также их влияние на формирование симбиотического аппарата и урожайность культуры.

Цель исследования – изучить активность симбиотической деятельности ассоциативных ризо-

бактерий на корневой системе люпина узколистного и их влияние на урожайность культуры в условиях Ленинградской области.

Материалы и методы. Для закладки полевого опыта использовали семена нового сидерального сорта люпина узколистного Фламинго, включенного в реестр в 2023 г. Инокуляция семян люпина проводилась перед посевом препаратом Ризобакт (марка к.ж.ф.) – *Rhizobium sp.* (*Rhizobium lupini*, штамм ПБТ-12), выделенным из клубеньков люпина без инокуляции (0,1 л/т), а также препаратом Ризобакт (марка р.ж.ф.) – *Corynebacterium sp.* (0,1 л/т) штамм ПБТ-7, выделенным из ризопланы корней ячменя; штамм SB, выделенный из ризопланы корней сои; штамм SR, выделенный из ризопланы корней фасоли (0,1 л/т). Схема опыта предусматривала следующие варианты.

1. Контроль (без удобрений, без инокуляции).
2. N20 (селитра аммиачная).
3. Ризобакт (марка к.ж.ф.) *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12).
4. Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7).
5. Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм SB).
6. Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм SR).
7. Ризобакт (марка к.ж.ф.) *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7).
8. Ризобакт (марка к.ж.ф.) *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм SB).
9. Ризобакт (марка к.ж.ф.) *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + Ризобакт (марка р.ж.ф.) *Corynebacterium sp.* (штамм SR).

Действие штаммов определяли по оценке продуктивности семян и зеленой массы люпина

узколистного. Препараты с данными штаммами были предоставлены фирмой ООО «Петербургские Биотехнологии». Исследование проводилось в 2023–2025 годах в ФГБОУ ВО «СПбГАУ». Полевой опыт был заложен в семеноводческом хозяйстве ООО «Семеноводство» Гатчинского района Ленинградской области. По агрохимическим показателям почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная, содержание гумуса – 3,69 %, подвижного фосфора – 158,0 мг/кг, подвижного калия – 153,0 мг/кг, pH – 5,0.

Посев опыта проводился в конце первой декады мая. Размещение вариантов систематическое, размер делянки 21 м², повторность 4-кратная. Предшественник – овес яровой. Посев люпина узколистного был проведен на глубину 3–4 см. Норма высева составила 1,2 млн всхожих семян на га.

Математическая обработка результатов выполнялась методом дисперсионного анализа в изложении Б. А. Доспехова [14]. Сырая масса активных клубеньков и симбиотический потенциал определялся по методике Г. С. Посыпанова [2].

В годы исследований 2023–2025 гг. в основные фазы развития люпина узколистного проводились учеты формирования активных клубеньков на корнях растений. Число азотфиксирующих клубеньков определяли методом подсчета, при выкапывании кома почвы с корнями, и их последующим отмыванием, и отделением клубеньков. При изучении динамики формирования симбиотического аппарата растительные образцы отбирали в фазы розетки, стеблевания, бутонизации и блестящих бобов. Масса клубеньков в основном зависит от фазы развития культуры и условий возделывания и может не меняться в течение 7–10 дней.

Сумма температур и количество осадков за вегетацию люпина узколистного в годы иссле-

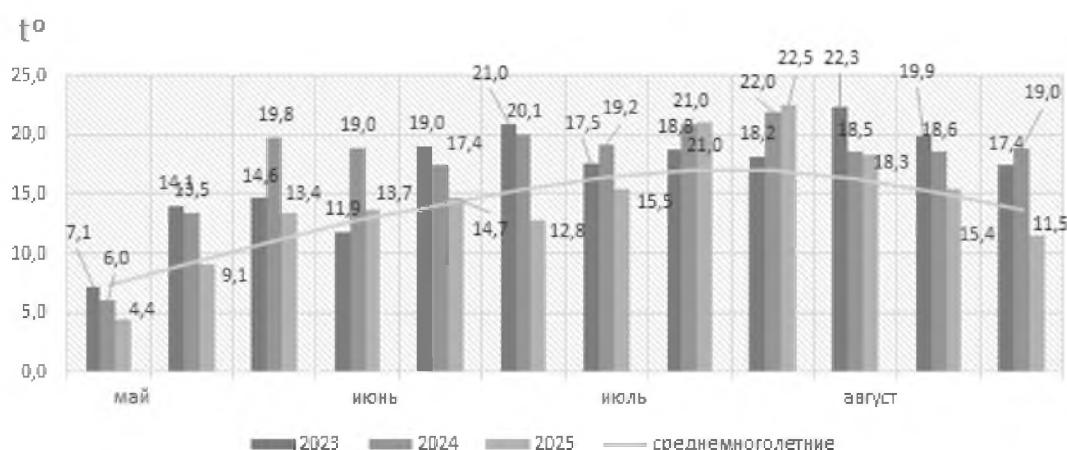


Рисунок 1 – Среднедекадная температура воздуха в период вегетации люпина в 2023–2025 гг., °С
Figure 1 – Ten-day mean air temperature during the lupine growing season in 2023–2025, °C

Осадки, мм

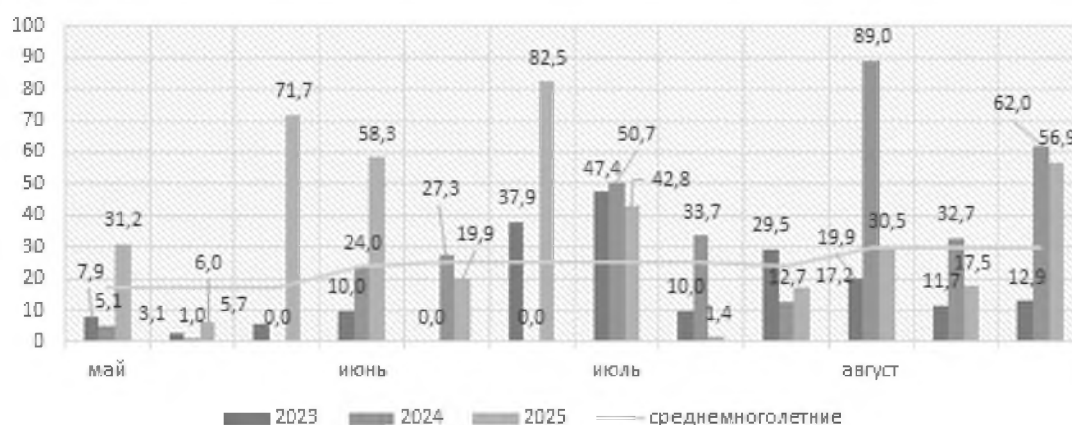


Рисунок 2 – Среднедекадная сумма осадков в период вегетации люпина в 2023–2025 гг., мм

Figure 2 – Ten-day mean precipitation during the lupine vegetation period in 2023–2025, mm

дований приведены на рисунках 1 и 2, по данным метеостанции ФГБОУ ВО «СПбГАУ» (Пушкин, г. Санкт-Петербург). Агроклиматические условия отличались по годам исследования, но в целом, отражали климатические особенности Ленинградской области и обеспечили достаточно высокую продуктивность посева люпина узколистного. При оценке погодных условий с использованием ГТК, описывающего вегетационный период с температурами воздуха выше 10 °С, наблюдается следующая картина: в 2023 году ГТК составил 0,97, что соответствует верхней границе засушливой зоны увлажнения, а в 2024 году – 1,6, что соответствует зоне избыточного увлажнения, в 2025 году – 2,55, также соответствует избыточному увлажнению. Вегетационный период 2023 года был засушливым, что негативно повлияло на формирование вегетативной массы растений люпина. По влажности 2024 год соответствовал среднегодовым показателям, что позволило растениям получить необходимую влагу в период активного роста. В 2025 году выпало почти в 3 раза больше осадков за май и июнь в сравнении со среднегодовыми показателями, что в совокупности с более низкими температурами первой части лета создало неблагоприятные условия для роста и развития растений. Сумма активных температур выше 10 °С в период вегетации люпина узколистного в 2023 году составила 1947 °С, в 2024 году – 1588 °С, в 2025 году – 1582 °С. За тот же период сумма выпавших осадков составила в 2023 году – 188 мм, в 2024 году – 333 мм, в 2025 году – 405 мм.

Установлено, что на формирование клубеньков оказывают влияние погодные условия в том числе, так как оптимальное количество влаги способствует более активному действию микробиологических препаратов.

Результаты исследований и их обсуждение. В наших исследованиях до наступления фазы стеблевания не было отмечено образования клубеньков. В таблице 1 представлена динамика формирования сырой массы активных клубеньков в основные фазы развития люпина узколистного по годам исследований. Была отмечена сильная зависимость формирования симбиотического аппарата от агроклиматических условий сезона. Засушливые условия в период вегетации в 2023 году повлияли угнетающе на формирование клубеньков на корнях люпина узколистного. При этом коинокуляция азотфиксирующих бактерий с ризосферными незначительно стимулировала образование клубеньков, что можно объяснить со снижением стрессовых факторов у растений, связанных с засухой.

Анализируя данные в среднем за 3 года исследований (таблица 2), к фазе стеблевания масса активных клубеньков колебалась от 0,29 до 3,7 млн шт./га. Значение в контрольном варианте составило 0,59 млн шт./га. Минимальное значение 0,29 кг/га отмечено в 4-м варианте с инокуляцией *Corynebacterium sp.* (ПБТ-7), что на 51 % меньше контроля. Максимальное значение в 7-м варианте с инокуляцией *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) совместно со штаммом *Corynebacterium sp.* (ПБТ-7) превысило контроль на 527 %.

Масса активных клубеньков в эту фазу колебалась от 11,7 кг/га до 30,8 кг/га. Максимальное значение 33,7 кг/га отмечено в 5-м варианте при инокуляции *Corynebacterium sp.* (SB), которое превысило контроль со значением 12,6 кг/га на 167 %.

В фазу бутонизации соотношение по вариантам изменилось. Максимальное количество активных клубеньков было отмечено в 7-м варианте с комбинированным применением штамма

Таблица 1 – Динамика формирования сырой массы активных клубеньков в 2023–2025 гг, кг/га
Table 1 – Dynamics of formation of the crude mass of active nodules in 2023–2025, kg/ha

Вариант опыта*	Межфазные периоды								
	стеблевания			бутионизации			блестящих бобов		
	2023 г	2024 г	2025 г	2023 г	2024 г	2025 г	2023 г	2024 г	2025 г
1	30,0	7,9	0,0	266,6	131,6	284,4	432,0	1960,2	672,0
2	16,8	18,8	22,8	184,6	165,2	140,4	381,7	785,3	1024,0
3	21,4	13,8	19,9	362,8	159,2	207,4	620,8	702,7	2454,2
4	9,6	25,6	0,0	253,0	185,6	100,8	415,0	751,6	709,6
5	84,0	17,0	0,0	333,2	249,2	16,8	528,6	1018,1	247,2
6	14,4	19,1	13,2	415,8	300,6	250,2	424,3	905,2	472,8
7	27,6	19,7	12,0	912,8	255,5	556,3	946,3	840,5	1419,8
8	32,4	33,5	26,4	545,8	184,4	350,6	595,9	680,3	1622,2
9	16,8	15,1	8,4	472,6	157,0	451,2	713,2	992,9	1396,1
НСР05	1,4	0,8	1,3	6,2	8,8	9,4	16,6	14,9	21,3

*1. Контроль (без удобрений, без инокуляции); 2. N20 (селитра аммиачная); 3. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12); 4. *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7); 5. *Corynebacterium sp.* (штамм SB); 6. *Corynebacterium sp.* (штамм SR); 7. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7); 8. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм SB); 9. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм SR)

Таблица 2 – Динамика формирования активного симбиотического потенциала по фазам развития культуры в среднем за годы исследований

Table 2 – Dynamics of formation of active symbiotic potential by phases of cultural development on average over the years of research

Вариант*	Фазы вегетации					
	стеблевания		бутионизации		блестящих бобов	
	количество активных клубеньков, млн шт. / 1 га	сырая масса активных клубеньков, кг / 1 га	количество активных клубеньков, млншт. / 1 га	сырая масса активных клубеньков, кг / 1 га	количество активных клубеньков, млн шт. / 1 га	сырая масса активных клубеньков, кг / 1 га
1	0,59	12,6	2,44	227,5	3,54	1021,4
2	0,59	19,5	1,63	163,4	2,88	730,3
3	1,08	18,4	6,36	243,1	23,81	1259,2
4	0,29	11,7	2,35	179,8	2,67	625,4
5	0,68	33,7	3,17	199,7	3,63	598,0
6	0,47	15,6	3,43	322,2	3,83	600,8
7	3,70	19,8	13,10	574,9	13,35	1068,9
8	1,99	30,8	12,13	360,3	14,26	966,1
9	1,94	13,4	12,52	360,3	14,43	1034,1

*1. Контроль (без удобрений, без инокуляции); 2. N20 (селитра аммиачная); 3. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12); 4. *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7); 5. *Corynebacterium sp.* (штамм SB); 6. *Corynebacterium sp.* (штамм SR); 7. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм ПБТ-7); 8. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм SB); 9. *Rhizobium lupini* (штамм ПБТ-12) + *Corynebacterium sp.* (штамм SR)

клубеньковых бактерий *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) со штаммом *Corynebacterium sp.* (ПБТ-7), значение составило 13,1 кг/га, при значении контроля 2,44 кг/га. Немного меньшие значения были получены в 8-м и 9-м вариантах – 12,13 и 12,52 т/га соответственно. Масса клубеньков превысила контроль в 7-м варианте опыта более чем в два раза.

К фазе блестящих бобов максимальное количество (23,81 млн. шт./га) и масса клубеньков (1259 кг/га) были накоплены в 3-м варианте с применением только штамма клубеньковых азотфиксирующих бактерий, при контроле 3,54 млн шт./га и 1021,4 кг/га соответственно. Минимальное количество клубеньков отмечено в варианте с азотными удобрениями. Примерно на том же уровне установлено состояние в 4, 5 и 6-м варианте, где не было инокуляции клубеньковыми бактериями.

Как видно из таблицы 3, инокуляция различными штаммами ризосферных бактерий и их совместное применение с азотфиксирующими оказали существенное влияние на урожайность зеленой массы и семян люпина узколистного. Урожайность зеленой массы учитывалась в фазу блестящих бобов, урожайность семян в фазу полной спелости. В среднем за 3 года исследований наибольшую зеленую массу (10 т с 1 га) набрал вариант 9 с инокуляцией *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) со штаммом *Corynebacterium sp.* (SR), зеленая масса которого превышала контроль в среднем на 63 %. По урожайности семян достоверно лучшие результаты были получены в контрольном и в 3-м варианте с инокуляцией только штаммом клубеньковых

бактерий *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) и составили 1,2 и 1,1 т/га соответственно.

Динамичность передвижения ассимилятов, их суточная ритмичность и изменчивость по фазам органогенеза во многом зависят от внешних условий. Часто избыточное поступление азотсодержащих соединений в вегетативные органы приводит к снижению ухудшения формирования вегетативных органов. Поэтому может не происходить повышение семенной продуктивности люпина узколистного при увеличении его вегетативной массы [15–17].

Внесение даже малых доз минеральных азотных удобрений в почву оказывало влияние на развитие клубеньков и продолжительность их работы. Удобрение приводило к ингибированию образования клубеньков на корнях.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что вне зависимости от динамики перераспределения пластических веществ, бактериализованные растения имеют по развитию заметное преимущество перед контрольными. Улучшение азотного питания бактериализованных растений происходит на фоне потребления азота из почвы и симбиотрофного процесса посредством аборигенных ризобий. В ситуации острого дефицита данного элемента даже небольшое его поступление под влиянием штаммов инокулянтов, обеспечивает заметное влияние на рост растений. Кроме того, бактериальные препараты оказывают на семена стимулирующее действие [16].

Для установления влияния образования клубеньковых бактерий на продуктивность был проведен корреляционный анализ зависимости

Таблица 3 – Влияние инокуляции на продуктивность люпина узколистного и формирование клубеньковых бактерий на корнях

Table 3 – Effect of inoculation on productivity of narrow-leaved lupine and formation of root nodule bacteria

Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Урожайность семян, т/га	Масса клубеньков, кг/га
1. Контроль	6,09	1,07	1021,40
2. N (20)	6,04	0,88	730,30
3. <i>Rhizobium lupini</i> (ПБТ-12)	8,76	1,33	1259,20
4. <i>Corynebacterium sp.</i> (ПБТ-7)	6,26	0,98	625,40
5. <i>Corynebacterium sp.</i> (SB)	7,97	1,02	598,00
6. <i>Corynebacterium sp</i> (SR)	7,12	0,92	600,80
7. <i>Rhizobium lupini</i> (ПБТ-12) + <i>Corynebacterium sp.</i> (ПБТ-7)	9,19	1,08	1068,90
8. <i>Rhizobium lupini</i> (ПБТ-12) + <i>Corynebacterium sp.</i> (SB)	8,73	1,16	966,10
9. <i>Rhizobium lupini</i> (ПБТ-12) + <i>Corynebacterium sp.</i> (SR)	10,00	1,09	1034,10

урожайности зеленой массы и урожайности семян от массы клубеньков. Коэффициент корреляции r для обеих выборок составил 0,56, что соответствует умеренно положительной зависимости факторов.

Таким образом, можно отметить прямую зависимость урожайности семян и зеленой массы от образования клубеньков на корнях люпина узколистного. В среднем за годы исследований лучшие результаты показали варианты в которых проводилась инокуляция азотфиксирующими бактериями, как в чистом виде, так и совместно с ризосферными штаммами.

Заключение. Проведенные исследования показали, что к фазе блестящих бобов максимальное количество клубеньков (23,81 млн шт./га) и их массы (1259 кг/га) было накоплено в 3-м варианте с применением только штамма клубеньковых азотфиксирующих бактерий. В среднем за 3 года исследований наибольшую зеленую массу (10 т с 1 га) набрал вариант 9 с инокуляцией *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) со штаммом *Corynebacterium sp.* (SR), зеленая масса которого превышает контроль в среднем на 63 %. По урожайности семян достоверно лучшие результаты были получены в контрольном и в 3-м варианте с инокуляцией только штаммом клубеньковых бактерий *Rhizobium lupini* (ПБТ-12) и составила 1,2 и 1,1 т/га соответственно. При этом установлена умеренная зависимость массы клубеньков от урожайности зеленой массы и семян люпина узколистного.

Список источников

1. Блинник А.С. Технологические приемы повышения урожайности и улучшения качества семян люпина белого в условиях Центрально-Черноземного региона: дис. ... канд. с.-х. наук: 4.1.1. Белгород, 2024. 141 с.
2. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха: справочное пособие. М.: Агропромиздат, 1991. 300 с.
3. Атласова Л.Г. Симбиотическая деятельность клубеньковых бактерий *Medicago falcata* L. в условиях Центральной Якутии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 77-80. EDN: VBYMXD.
4. Тойгильдин А.Л. Сравнительная урожайность и продуктивность симбиотической фиксации азота зерновых бобовых культур в севооборотах лесостепи Поволжья // Нива Поволжья. 2017. № 4 (45). С. 144-151. EDN: ZTIEQR.
5. Довбан К.И. Зеленое удобрение в современном земледелии. Вопросы теории и практики. Монография. Минск: Белорусская наука, 2009. 404 с. ISBN 978-985-08-1019-9. EDN: RBAYED.
6. Кислицына А.П., Софронова А.Ю. Влияние погодных условий на физиологические особенности развития культуры *Lupinus angustifolius* L. при использовании биопрепаратов // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 3. С. 142-150. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-3-142-150. EDN: QGZHHM.
7. Рожкова Л.В., Захарова М.Н. Применение биологических препаратов как фактор повышения урожайности и качества семян сои // Плодородие. 2026. № 2 (149). С. 88-91. DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.17. EDN: SHFDZK.
8. Черкасов Е.А. Влияние бактериальных препаратов на урожайность зернобобовых культур и влияние почвенно-климатических условий на развитие клубеньков // Аграрные конференции. 2025. № 1 (49). С. 1-6. EDN: SUUGHO.
9. Влияние эндофитных бактерий на эффективность азотфиксирующего симбиоза у различных сортов сои / Д.Р. Сафина [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 36-41. DOI: 10.18286/1816-4501-2025-4-36-41. EDN: HEHQND.
10. Влияние элементов агротехнологии на продуктивность люпина узколистного при возделывании на зерно в изменяющемся климате Центрального Нечерноземья / В.В. Конончук [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 2 (54). С. 90-101. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-2-90-101. EDN: SRNIWY.
11. Хассан Башар Абд Хассан Влияние ассоциативных ризобактерий на формирование продуктивности мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 4.1.1. Санкт-Петербург, 2024. 19 с.
12. Сортовая специфичность эффектов ризобактерий в отношении азотфиксирующего симбиоза и минерального питания сои в условиях агроценоза / Ю.В. Береговая [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 5. С. 977-993. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.977rus. EDN: YODNWP.
13. Проценко Д.Р., Кононенко А.Н. Влияние ассоциативных ризобактерий на урожайность люпина узколистного в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2025. № 1 (79). С. 26-35. DOI: 10.24411/2078-1318-2025-1-26-35. EDN: SMXIPG.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2014. 352 с.

15. Гурьев Г.П. Эффективность применения на чечевице биопрепаратов, содержащих клубеньковые бактерии, в зависимости от погодных условий // Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 4 (56). С. 37-44. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-4-37-44. EDN: WDPTBW.

16. Ястребова А.В., Рябова Т.Н., Коконев С.И. Урожайность зерна люпина узколистного в зависимости от развития клубеньковых бактерий // Кормопроизводство. 2023. № 8. С. 7-9. EDN: EAMLYI.

17. Влияние клубеньковых бактерий на формирование вегетативной массы сои и развитие симбиотического аппарата на черноземе выщелоченном / В.А. Тильба [и др.] // Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 79-87. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-79-87. EDN: VFFWZH.

References

1. Blinnik A.S. Tekhnologicheskie priemy povysheniya urozhainosti i uluchsheniya kachestva semyan lyupina belogo v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [Technological methods for increasing the yield and improving the quality of white lupine seeds in the Central Black Earth Region] [Dissertation]. Belgorod; 2024: 141. (In Russ).
2. Posypanov G.S. *Metody izucheniya biologicheskoi fiksatsii azota vozdukh: spravochnoe posobie* [Methods for studying the biological fixation of atmospheric nitrogen: a reference manual]. Moscow: Agropromizdat; 1991: 300. (In Russ).
3. Atlasova L.G. Simbioticheskaya deyatelnost' klubenkovykh bakterii Medicago falcata L. v usloviyakh Tsentral'noi Yakutii [Symbiotic activity of nodule bacteria Medicago falcata L. in the conditions of Central Yakutia]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2015; 17(5): 77-80. EDN: VBVMXD. (In Russ).
4. Toygildin A.L. Sravnitel'naya urozhainost' i produktivnost' simbioticheskoi fiksatsii azota zernovykh bobovykh kul'tur v sevooborotakh lesostepi Povolzh'ya [Comparative yield and productivity of symbiotic nitrogen fixation of grain legumes in crop rotations of the Volga forest-steppe]. *Volga Region Farmland*. 2017; 4(45): 144-151. EDN: ZTIEQR. (In Russ).
5. Dovban K.I. *Zelenoe udobrenie v sovremennoy zemledelii. Voprosy teorii i praktiki. Monografiya* [Green Manure in Modern Agriculture: Theoretical and Practical Issues. Monograph]. Minsk: Belorusskaya nauka; 2009: 404. ISBN 978-985-08-1019-9. EDN: RBAYED. (In Russ).
6. Kislytsyna A.P., Sofronova A.Yu. Vliyaniye pogodnykh uslovii na fiziologicheskie osobennosti razvitiya kul'tury Lupinus angustifolius L. pri ispol'zovanii biopreparatov [The influence of weather conditions on the physiological characteristics of the development of Lupinus angustifolius L. crop using biopreparations]. *Theoretical and applied ecology*. 2025; (3): 142-150. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-3-142-150. EDN: QGZHMM. (In Russ).
7. Rozhkova L.V., Zakharova M.N. Primeneniye biologicheskikh preparatov kak faktor povysheniya urozhainosti i kachestva semyan soi [The use of biological preparations as a factor in increasing the yield and quality of soybean seeds]. *Plodorodie*. 2026; 2(149): 88-91. DOI: 10.25680/S19948603.2026.149.17. EDN: SHFDZK. (In Russ).
8. Cherkasov E.A. Vliyaniye bakterial'nykh preparatov na urozhainost' zernobobovykh kul'tur i vliyaniye pochvenno-klimaticheskikh uslovii na razvitiye klubenk'ov [The influence of bacterial preparations on the yield of grain legumes and the influence of soil and climatic conditions on the development of nodules]. *Agrarnye konferentsii*. 2025; 1(49): 1-6. EDN: SUUGHO. (In Russ).
9. Safina D.R. [et al.] Vliyaniye ehndofitnykh bakterii na ehffektivnost' azotfiksiruyushchego simbioza u razlichnykh sortov soi [The influence of endophytic bacteria on the efficiency of nitrogen-fixing symbiosis in different soybean varieties]. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2025; 4(72): 36-41. DOI: 10.18286/1816-4501-2025-4-36-41. EDN: HEHQND. (In Russ).
10. Kononchuk V.V. [et al.] Vliyaniye ehlemenov agrotekhnologii na produktivnost' lyupina uzkolistnogo pri vozdeleyvanii na zerno v izmenyayushchetsya klimate Tsentral'nogo Nechernozem'ya [The influence of agricultural technology elements on the productivity of narrow-leaved lupine when grown for grain in the changing climate of the Central Non-Black Earth Region]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2025; 2(54): 90-101. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-2-90-101. EDN: SRNIWY. (In Russ).
11. Hassan Bashar Abd Hassan Vliyaniye assotiativnykh rizobakterii na formirovaniye produktivnosti myagkoi pshenitsy v usloviyakh Leningradskoi oblasti [The influence of associative rhizobacteria on the formation of soft wheat productivity in the Leningrad region]: abstract of the dissertation of a candidate of agricultural sciences. Saint Petersburg; 2024: 19. (In Russ).

12. Beregovaya Yu.V. [et al.] Sortovaya spetsifichnost' ehffektov rizobakterii v otnoshenii azot-fiksiruyushchego simbioza i mineral'nogo pitaniya soi v usloviyakh agrotsenoza [Varietal specificity of rhizobacteria effects on nitrogen-fixing symbiosis and mineral nutrition of soybeans under agrocenosis conditions]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2018; 53(5): 977-993. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.977rus. EDN: YODNWP. (In Russ).

13. Protsenko D.R., Kononenko A.N. Vliyaniye assotsiativnykh rizobakterii na urozhainost' lyupina uzkolistnogo v Leningradskoi oblasti [The influence of associative rhizobacteria on the yield of narrow-leaved lupine in the Leningrad region]. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2025; 1(79). 26-35. DOI: 10.24411/2078-1318-2025-1-26-35. EDN: SMXIPG. (In Russ).

14. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy [Field experiment methodology with the basics of statistical processing of research results]. Moscow: Moscow; 2014: 352. (In Russ).

15. Guryev G.P. Ehffektivnost' primeneniya na chechevitse biopreparatov, sodержashchikh kluben'kovye bakterii, v zavisimosti ot pogodnykh uslovii [The effectiveness of using biopreparations containing nodule bacteria on lentils, depending on weather conditions]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2025; 4(56): 37-44. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-4-37-44. EDN: WDPTBW. (In Russ).

16. Yastrebova A.V., Ryabova T.N., Kokonov S.I. Urozhainost' zerna lyupina uzkolistnogo v zavisimosti ot razvitiya kluben'kovykh bakterii [Grain yield of narrow-leaved lupine depending on the development of nodule bacteria]. *Fodder Production*. 2023; (8): 7-9. EDN: EAMLYI. (In Russ).

17. Tilba V.A. [et al.] Vliyaniye kluben'kovykh bakterii na formirovaniye vegetativnoi massy soi i razvitiye simbioticheskogo apparata na chernozeme vyshchelochennom [The influence of nodule bacteria on the formation of vegetative mass of soybeans and the development of the symbiotic apparatus on leached chernozem]. *Oil crops*. 2020; 1(181): 79-87. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-79-87. EDN: VFFWZH. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Кононенко А.Н. – научное руководство; научное редактирование текста; доработка текста.

Проценко Д.Р. – идея; сбор материала; обработка материала; написание статьи.

AUTHOR CONTRIBUTION

Kononenko, A.N. – scientific guidance; scientific text editing; text revision.

Protsenko, D.R. – an idea; collecting material; processing material; writing an article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

А.Н. Кононенко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 800450.

Д.Р. Проценко – аспирант; AuthorID 1209295.

Information about the author

A.N. Kononenko – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 800450.

D.R. Protsenko – Postgraduate Student; AuthorID 1209295.

Статья поступила в редакцию 17.05.2026; одобрена после рецензирования 29.05.2026; принята к публикации 18.06.2026.

The article was submitted 17.05.2026; approved after reviewing 29.05.2026; accepted for publication 18.06.2026.