

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. -№ 4 (123). - Р. 31-42. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/10.51452/kazatu.2024.4(123).1790

УДК 633.367.2

Исследовательская статья

## Влияние прайминга и регуляторов роста на симбиотическую активность и урожайность люпина узколистного (*Lupinus angustifolius*)

Тюлендинова С.Т.<sup>1</sup> , Гордеева Е.А.<sup>1</sup> , Шестакова Н.А.<sup>1</sup> , Hakl J.<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина

<sup>2</sup>Чешский университет естественных наук в Праге

**Автор-корреспондент:** Тюлендинова С.Т.: saniya\_98\_98@mail.ru

**Соавторы:** (1: ЕГ) gordeeva1311@mail.ru; (2: ШН) ninakul23@mail.ru

(3 Н) hakl@af.czu.cz

**Получено:** 09-10-2024 **Принято:** 06-12-2024 **Опубликовано:** 30-12-2024

### Аннотация

Предпосылки и цель. Зернобобовые культуры обладают высоким биологическим потенциалом и способностью повышать почвенное плодородие, что делает их значимыми для интенсификации земледелия в Республике Казахстан. Узколистный люпин сорта Орловский кормовой выбран объектом исследования благодаря его высокой урожайности и содержанию белка. Цель исследования – изучение влияния регуляторов роста на симбиотическую деятельность и продуктивность люпина узколистного в условиях степной зоны Северного Казахстана.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция», почва – чернозем обыкновенный. Изучалось влияние прайминга и регуляторов роста на симбиотическую активность и формирование урожайности люпина. Измерялись биометрические показатели корневой системы, количество, масса и активность клубеньков, динамика накопления сухого вещества и формирование элементов продуктивности.

Результаты. В 2023 году засушливые условия снижали симбиотическую активность корневой системы, а благоприятные условия 2024 года способствовали её увеличению до среднего и высокого уровней. Выявлены положительные корреляции между количеством и массой клубеньков и накоплением сухого вещества ( $r=0,71-0,83$ ), а также между активностью клубеньковых бактерий и урожайностью ( $r=0,92$ ). Применение регуляторов роста и прайминга семян положительно влияло на рост и развитие растений люпина, максимальная урожайность в 2023 году – 15,9 ц/га и 20,9 ц/га в 2024 году.

Закключение. Результаты исследования показывают значимость предпосевной обработки семян для повышения симбиотической активности люпина узколистного, увеличивающей его продуктивность. Полученные данные могут быть полезны для разработки методов предпосевной подготовки и агротехнических приемов для увеличения урожайности данной культуры.

**Ключевые слова:** люпин узколистный; симбиотическая деятельность; прайминг; регулятор роста; сухое вещество; клубеньковые бактерии.

### Введение

В повышении продуктивности полевых культур и улучшения почвенного плодородия значительная роль отводится зернобобовым культурам, в том числе и люпину, способным вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями. Это позволяет фиксировать атмосферный азот в почве, за счет чего возможно снизить затраты на удобрения. В среднем люпин накапливает о 150-

250 кг/га азота. Запахивая зеленую массу люпина, почва обогащается органическим веществом и улучшаются физико-химические свойства почвы [1, 2]. Симбиотическая деятельность обеспечивает стимулирование фотосинтетической активности, роста вегетативной массы и других физиологических процессов, положительно влияющие на продуктивность культуры [3]. Симбиотическая активность корневой системы зависит от внешних условий, в частности от влагообеспеченности и температурного режима; наличия питательных веществ [4].

На симбиотическую деятельность большое влияние оказывает обеспеченность питательными веществами. Поэтому обработка регуляторами роста значительно влияет на бобово-ризобийный симбиоз. В опытах О.Г. Волобуевой (2015) результаты исследований показали, что действие биопрепаратов и регуляторов роста положительно сказывается на показателях роста, надземной массе, массе корневой системы с клубеньками, числе и массе клубеньков и активности нитрогеназы. Так предпосевная обработка препаратом Эпин Экстра увеличивала количество клубеньков до 9 штук на растение, а массу – на 10-15%. В исследованиях Т.Н. Дроновой и Н.И. Бурцевой (2018) при применении микробиологических препаратов количество клубеньковых бактерий на корнях бобовых трав увеличивалось до 37,1-41 штук на растение, в то время как в контрольных вариантах они не обнаруживались. Наблюдалась достоверная прибавка по урожайности на 30,7-45,9%, также увеличивалось количество белка на 3-5% [5].

И.М. Ханиева, Т.М. Чапаев, К.Р. Канукова (2013) доказали, что применение регуляторов Бинорам и Гуапсин оказывают положительное влияние на число и массу клубеньков в посевах бобовых культур. Так в опытах, количество клубеньков в фазу бутонизации на растении было на 4-5 штук больше в сравнении с контролем, а масса – на 1,7-1,8 г больше. В фазу цветения показатели значительно увеличились: количество – на 14 штук с растения, масса – на 2,4-2,5 г. Максимальные показатели по количеству и массе клубеньков формировались в фазу бутонизации. Также отмечалась закономерность в формировании симбиотического аппарата в зависимости от метеорологических условий: в более увлажненные годы количество клубеньков было значительно выше [6].

Среди всех зернобобовых культур люпин является лучшим фиксатором азота. Люпин узколистый накапливает до 200 кг азота, что равноценно 40 т навоза (Анисимова, Сысолятин Крицкий и другие, 2021). За три года исследований в условиях Всероссийского научно-исследовательского института люпина коэффициент азотфиксации в контрольном варианте составил в среднем 44%, а при предпосевной обработке семян и опрыскивании регуляторами по вегетации – 57 %. Применение данных регуляторов обеспечивало прибавку урожайности – 3-3,5 ц/га [7].

Л.И. Яловик (2022) отмечает положительное влияние регулятора роста Новосил на динамику накопления клубеньков узколистного люпина, масса увеличивалась на 6-10 г с м<sup>2</sup>. Максимальная масса наблюдалась в фазу цветения – 36 г/м<sup>2</sup>. Как следствие, увеличивалась продуктивность люпина на 25-26%. Данные исследователи доказали зависимость урожайности с симбиотической зависимостью [8]. Многочисленными исследованиями было доказано, что урожайность бобовых культур в значительной степени определяется симбиотической деятельностью. Так в опытах Л.А. Макеевой, В.Г. Пушкарева (2016) биологическая урожайность люпина узколистного находилась в прямой зависимости от симбиотической активности. Обработка регулятором роста Эпин Экстра увеличивала урожайность до 38,2-47,6 ц/га, увеличивало ассимилирующую поверхность и массу активных клубеньковых бактерий, фиксация азота увеличивалась до 96-106 кг/га. В опытах О.В. Трубуна и С.В. Руда (2019) обработка регуляторами роста Эмистим и Эпин способствовало активному нарастанию клубеньковых бактерий. В фазу бутонизации масса клубеньков при обработке увеличивалась на 20,6-50% [9].

В.Е. Головина и Р.В. Беляева (2022) в своих исследованиях установили корреляционные связи высокого и среднего уровня между количеством и массой клубеньков с надземной массой ( $r=0,7-0,8$ ), урожаем зерна ( $r=0,5-0,9$ ), сбором зеленой массы ( $r=0,7-0,8$ ) люпина узколистного [10].

### Материалы и методы

Закладка опытов проводилась согласно Методике полевого опыта по Б.А. Доспехову [11]. Люпин высевался на делянке размером 17 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. Схема опыта: 1) контроль; 2) предпосевная обработка Мегамикс Семена (2 л/т); 3) предпосевная обработка

Мегамикс Семена (2 л/т) в комплексе с обработкой Мегамикс Профи (0,7 л/га) по вегетации; 4) Мегамикс Семена (2 л/т)+Мегамикс Бор (1 л/га); 5) гидропрайминг; 6) нутрипрайминг Мегамикс Семена (2 л/т).

Прайминг – предпосевное замачивание семян, которое проводилось по Вудстоку и Тейлорсону (1998). Применялось два вида прайминга – гидропрайминг и нутрипрайминг. В гидропрайминге семена замачивались в воде на 2,5 часа и затем высушивались до состояния сыпучести. Аналогично проводился нутрипрайминг, представляющий собой замачивание в питательном растворе, в нашем случае это вода + Мегамикс Семена.

В исследованиях проводились следующие учеты и наблюдения: динамика накопления сухой массы, определение симбиотической активности корневой системы, структурные элементы продуктивности. Определение динамики накопления зеленой и сухой массы проводилось согласно Методическим указаниям по проведению лабораторных полевых опытов с кормовыми культурами Всероссийского научно-исследовательского института кормов им. В.Р. Вильямса (1981) [12].

Оценка симбиотической активности корневой системы проводилась по патенту «Способ оценки азотфиксирующей активности бобовых культур (RU 2286048, Стаценко А.П., 2006). В четырех точках выкапывались по 10 растений. Корневая система очищалась от почвы и промывалась проточной водой. С помощью лезвия клубеньки отделялись от корней. Навеска 0,5 г растиралась в ступке с кварцевым песком в 20 мл 96% спирта. Полученный гомогенат фильтровали через плотный бумажный фильтр. Полученный фильтрат использовался для оценки активности на фотоэлектроколориметре на синем светофильтре при 520 нм. В качестве контроля был этанол. Об активности азотфиксации судили по показаниям прибора (экстинция, ед): высокая фиксация – 0,750 и выше; средняя – 0,521-0,749; низкая – (0,500 и ниже) [13, 14].

Учет урожая и структурные элементы продуктивности согласно В.М. Лукомец (2010) [15]. Полученные данные анализировались с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием программы STATISTICA и MS Excel. В рамках эксперимента показатели были анализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA.

В годы исследований наблюдались контрастные метеорологические условия. В 2023 году сумма активных температур превышала среднееголетние показатели на 232,5 °С (рисунок 1). Наибольшие отклонения наблюдались в межфазный период цветение-плодообразование, что негативно сказалось на завязывании бобов. Количество осадков было существенно ниже нормы, что в сочетании с высокими температурами создавало засушливые условия в течение вегетационного периода. В 2024 году в начальные фазы роста и развития выпало большое количество осадков, повышенная влажность отрицательно сказывалась на формировании клубеньковых бактерий, поэтому клубеньки стали активно формироваться лишь в фазу бутонизации-цветения. Повышенная влажность вела к удлинению вегетационного периода.

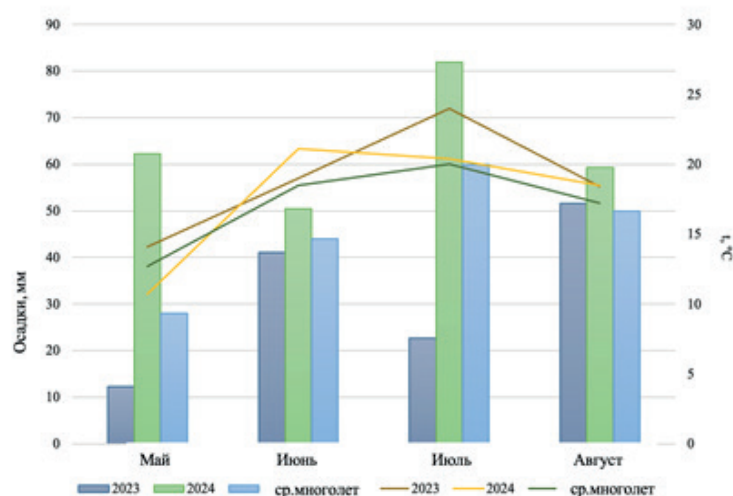


Рисунок 1 – Метеорологические условия вегетационного периода 2023-2024 гг.

### Результаты и обсуждение

Вегетационный период 2023 года характеризовался выраженными засушливыми условиями, что оказало значительное влияние на развитие клубеньковых бактерий. Острая нехватка влаги привела к гибели части бактерий, а низкий уровень осадков в фазу цветения, совпадающую с пиком образования клубеньков, на фоне высоких температур негативно сказался на их численности. В контрольной группе было зафиксировано минимальное количество клубеньков – 26 шт на растение. Максимальное же количество клубеньков было получено при применении препарата Мегамикс Профи, достигнув 65 шт на растение. Во всех вариантах, где использовались препараты для обработки, количество клубеньков превышало контрольный вариант, варьируясь от 6 до 39 шт.

В 2024 году сложились более благоприятные условия для формирования клубеньковых бактерий. В фазу цветения минимальное число клубеньков составило 52 шт на растение в контрольном варианте, что было вдвое выше по сравнению с показателями предыдущего года. Благоприятное увлажнение оказало положительное влияние на эффективность препарата Мегамикс Бор, который обеспечил максимальное количество клубеньков – 103 шт на растение. В вариантах с применением Мегамикс Семена и Мегамикс Профи количество клубеньков находилось на одном уровне – 81-85 штук на растение, тогда как при использовании гидро- и нутрипрайминга их количество варьировалось в пределах 73-75 шт на растение (рисунок 2).

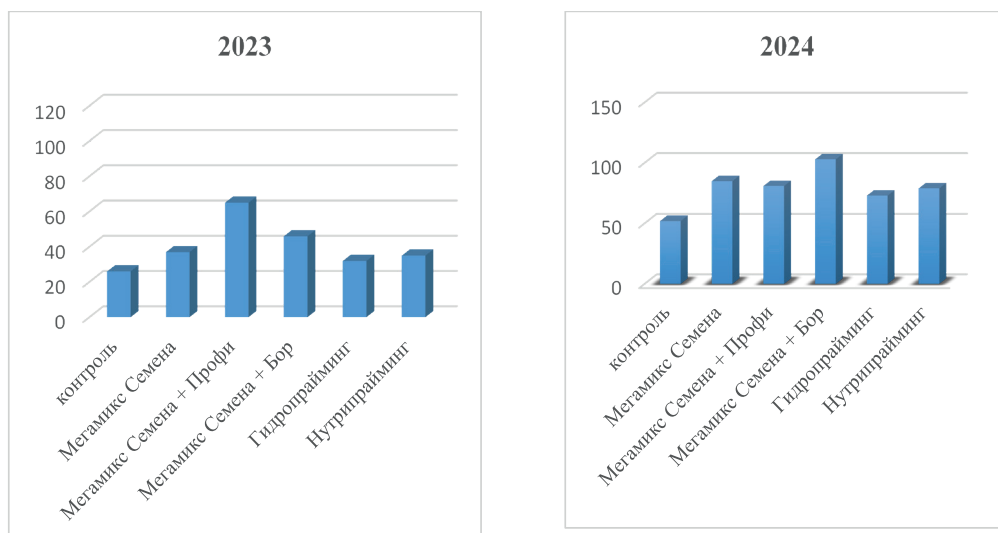


Рисунок 2 – Количество клубеньковых бактерий на корнях люпина, шт/растение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что увлажнение почвы играет ключевую роль в эффективности симбиоза между растением и клубеньковыми бактериями. Влага необходима для поддержания активности бактерий и их способности фиксировать азот. Когда почва хорошо увлажнена, растения могут лучше усваивать питательные вещества, что способствует активному росту клубеньков. В засушливых условиях этот процесс замедляется, так как растения и бактерии страдают от нехватки влаги. Таким образом, увеличение количества клубеньков в 2024 году связано с лучшими условиями увлажнения, которые способствовали повышению активности бактерий, а применение регуляторов роста дополнительно стимулировало этот процесс, улучшая симбиоз и повышая продуктивность растений.

У люпина установлены высокие и средние корреляционные связи между количеством и массой клубеньков с динамикой накопления сухого вещества ( $r=0,7-0,8$ ). В фазу цветения в обоих годах наблюдалось максимальное накопление сухого вещества в варианте с обработкой Мегамикс Семена+Бор, составившее 1,96 г/растение в 2023 году и 2,67 г/растение в 2024 году. В 2024 году зафиксировано значительное увеличение сухой биомассы по сравнению с предыдущим годом: 2,48 г/растение при гидропрайминге и 2,32 г/растение при нутрипрайминге, что в 1,7–2,3 раза превышает показатели 2023 года (рисунок 3).

Применение регуляторов роста и прайминг семян стимулируют обменные процессы, ускоряя рост и развитие корневой системы, а также усиливая фотосинтетическую активность. В результате в вариантах наблюдалось наибольшее накопление сухого вещества как в 2023, так и в 2024 годах. Однако, эффект оказался более выраженным в 2024 году благодаря улучшенным погодным условиям.

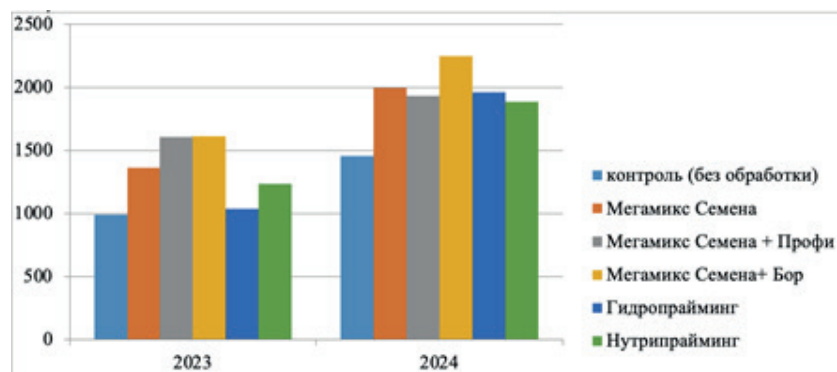


Рисунок 3 – Динамика накопления сухого вещества люпином, кг/га

В 2023 году длина корневой системы в контрольном варианте была больше, но при обработке регуляторами корни формировались более толще и с большим количеством боковых корней. Максимальная масса корней отмечена в варианте Мегамикс Семена+Профи – 33,9 г/растение, что в 2,2 раза превышает контроль. Масса клубеньков в этом варианте также значительно превышала показатели остальных вариантов, составив 6,8 г/растение. Несмотря на высокие показатели массы корней и клубеньков, активность клубеньковых бактерий в данном варианте была на среднем уровне. В варианте с Мегамикс Семена при высоких показателях массы корневой системы – 33,9 г/растение и клубеньков – 3,9 г/растение активность была низкой. Это может быть связано с дефицитом макро- и микроэлементов, а также влаги в почве к моменту цветения, что негативно сказалось на симбиотической активности. Аналогичная ситуация наблюдалась при применении гидропрайминга. Тем не менее, прайминг в питательном растворе обеспечивал более высокую активность клубеньковых бактерий. Наилучшие результаты по активности клубеньковых бактерий были достигнуты при обработке Мегамикс Бор, которая обеспечила высокую активность при средних показателях массы корневой системы (29,1 г/растение) и клубеньков (2,2 г/растение). При оптимальном увлажнении повышалась эффективность применяемых регуляторов. Все варианты обработок повышали активность клубеньковых бактерий. Лучшим вариантом также был Мегамикс Бор, наряду с повышением активности, отмечались наибольшие показатели по массе корней - 48,1 г/растение и клубеньков – 2,9 г/растение.

Таким образом, данные за два года исследований показывают, что наиболее эффективной обработкой является комбинация Мегамикс Семена+Бор, обеспечивающая не только максимальное количество и массу клубеньков и корней, но и высокую активность клубеньковых бактерий (таблица 1).

Таблица 1 – Симбиотическая активность (СА) люпина узколистного в зависимости от применения регуляторов роста

Вариант	Корневая система			Клубеньковые бактерии		
	длина, см	сырая масса, г	сухая масса, г	масса, г	длина волны, нм	СА
2023 год						
Контроль	20	14,8	3,6	0,02	0,350	низкая
Мегамикс Семена	20	33,9	7,2	3,9	0,540	низкая
Мегамикс Семена+Профи	19	59,2	10,9	6,8	0,418	средняя

Продолжение таблицы 1

Мегамикс Семена+Бор	19,5	29,1	8,1	2,2	0,922	сильная
Гидропрайминг	19	16,7	4,1	0,4	0,421	низкая
Нутрипрайминг	19,7	17,2	4,4	1,1	0,535	средняя
Tukey test HSD $\alpha=0,05$	0,69	0,06	<0,001	<0,001	0,66	-
2024 год						
Контроль	22	39,6	8,4	0,9	0,432	низкая
Мегамикс Семена	21	42,3	9,2	1,2	0,527	средняя
Мегамикс Семена+Профи	22	42,4	9,5	1,3	0,504	средняя
Мегамикс Семена+Бор	24	48,1	11,3	2,9	0,756	сильная
Гидропрайминг	22	44	10,6	1,9	0,529	средняя
Нутрипрайминг	21	47,3	11	2,0	0,601	средняя
Tukey test HSD $\alpha=0,05$	0,01	0,96	0,73	0,14	0,96	-
Коэффициент корреляции r:						
Количество клубеньков-накопление сухого вещества=0,71						
Масса клубеньков-накопление сухого вещества=0,83						

Результаты за 2023 год показывают, что в контрольном варианте наблюдалась низкая симбиотическая активность, что коррелировало с минимальными показателями по числу бобов (3 шт/растение) и массе семян с растения (0,96 г), а также низкой урожайностью – 7,9 ц/га. Применение Мегамикс Семена привело к увеличению числа бобов (3 шт/растение) и массы семян (1,31 г), что повысило урожайность до 10,9 ц/га. Наиболее высокие результаты были зафиксированы при использовании Мегамикс Семена+Бор, где наблюдалась сильная симбиотическая активность, максимальное число бобов (5 шт), количество семян (17,4 шт/растение) и наибольшая урожайность – 15,9 ц/га.

В 2024 году, благодаря более благоприятным погодным условиям и применению регуляторов роста, показатели значительно возросли по сравнению с предыдущим годом. В контрольном варианте число бобов увеличилось до 5 штук/растение, а урожайность составила 11 ц/га. В вариантах с применением Мегамикс Семена, Мегамикс Семена+Профи и Мегамикс Семена+Бор наблюдалось значительное повышение урожайности, которая достигла максимальных значений при применении Мегамикс Семена+Бор – 20,9 ц/га, что сопровождалось сильной симбиотической активностью и наибольшим числом бобов (7 штук/растение) и массой семян (3,9 г). Это объясняется более эффективным усвоением азота и других питательных веществ из почвы.

Также отмечены высокие результаты при применении гидропрайминга и нутрипрайминга в 2024 году. При этом наблюдалось увеличение как количества бобов, так и массы семян, что также положительно сказалось на урожайности (15,5 и 15,1 ц/га соответственно). Высокий коэффициент корреляции ( $r=0,92$ ) между симбиотической активностью и урожайностью подтверждает прямую зависимость этих показателей, подчеркивая эффективность применения регуляторов роста для повышения продуктивности люпина узколистного (таблица 2).

Таблица 2 – Структурные элементы продуктивности люпина узколистного в зависимости от уровня симбиотической активности (СА)

Вариант	СА	Число бобов на растении, шт	Количество семян с растения, шт	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га
2023 год						
Контроль	низкая	3	7,8	0,96	120	7,9
Мегамикс Семена	средняя	3	9,6	1,31	124	10,9
Мегамикс Семена+Профи	низкая	4	13,4	1,40	127	11,5

Продолжение таблицы 2

Мегамикс Семена+Бор	сильная	5	17,4	1,92	125	15,9
Гидропрайминг	низкая	3	8,1	1,8	125	10,2
Нутрипрайминг	средняя	4	8,5	2,0	129	11,4
Tukey test HSD $\alpha=0,05$		0,02	0,19	0,03	0,02	0,01
2024 год						
Контроль	низкая	5	18	2,4	128	11
Мегамикс Семена	средняя	6	20	2,6	132	15,4
Мегамикс Семена+Профи	средняя	7	24	3,1	134	16,8
Мегамикс Семена+Бор	сильная	7	26	3,9	136	20,9
Гидропрайминг	средняя	9	30	4,2	139	15,5
Нутрипрайминг	средняя	7	27	4	135	15,1
Tukey test HSD $\alpha =0,05$		0,13	0,14	0,03	0,03	0,19
Коэффициент корреляции r: Симбиотическая активность (длина волны)-урожайность=0,92						

Таким образом, результаты исследования подчеркивают, что оптимизация симбиотической активности и применение регуляторов роста в благоприятных условиях существенно увеличивают продуктивность люпина узколистного. Это открывает перспективы для улучшения агрономических практик, направленных на повышение урожайности бобовых культур в условиях изменения климата.

Проведенные исследования подтвердили, что применение регуляторов роста и прайминга семян оказывает значительное влияние на накопление сухого вещества у люпина узколистного. В обоих исследуемых годах – 2023 и 2024, наблюдались корреляционные связи ( $r=0,7-0,8$ ) между количеством и массой клубеньков и динамикой накопления сухой биомассы. Это подчеркивает важность симбиотической деятельности клубеньковых бактерий для формирования продуктивности растений.

Во всех вариантах, где применялись регуляторы роста, наблюдалось значительное превышение по количеству клубеньков по сравнению с контролем. Различия между вариантами составляли от +6 до +39 шт, что подчеркивает важность применения препаратов для улучшения симбиотической активности. Особенно эффективно себя проявили Мегамикс Профи и Мегамикс Бор, которые стабильно обеспечивали максимальные результаты как в стрессовых, так и в благоприятных условиях. Варианты с применением гидро- и нутрипрайминга также показали высокие результаты, особенно в благоприятных условиях 2024 года, где количество клубеньков варьировалось в пределах 73-75 шт/растение. Это указывает на значительное влияние предпосевной обработки на симбиотическую активность, что особенно важно в засушливых условиях. В 2023 году эффективность прайминга была менее выраженной, но все же превысила показатели контрольного варианта. К такому же выводу пришли В.В. Конончук, С.М. Тимошенко и др. (2020) [16].

Множество исследований подтверждают, что активное образование клубеньков у бобовых растений связано с увеличением накопления сухого вещества. Например, в работах Smith et al. (2020) и Jones et al. (2018) наблюдается положительная корреляция между количеством клубеньков и биомассой растений, что подтверждает данные нашего исследования. Высокие установленные корреляционные связи ( $r=0,7-0,8$ ), согласуются с выводами других авторов о важности симбиотических отношений для эффективного накопления питательных веществ.

Предпосевная обработка семян в комплексе с обработкой регуляторами по вегетации наиболее эффективный метод повышения продуктивности. Это соответствует данным из исследований Brown et al. (2019) и Williams et al. (2021), где показано, что комбинированные обработки часто приводят к более значительному увеличению сухой биомассы. Это может быть связано с синергетическим эффектом, когда несколько активных компонентов действуют вместе, усиливая общую продуктивность растений. Исследования показали, что регуляторы роста и

технологии обработки семян значительно влияют на симбиотическую активность клубеньковых бактерий, что, в свою очередь, отражается на продуктивности люпина узколистного. В литературе отмечается, что применение регуляторов роста может улучшить обменные процессы в растениях, способствуя росту корневой системы и увеличению фотосинтетической активности, что подтверждает результаты нашего исследования (Khan et al., 2015; Majeed et al., 2016).

Согласно исследованиям, оптимальные условия для симбиоза между растениями и клубеньковыми бактериями могут варьироваться в зависимости от уровня увлажненности и доступных макро- и микроэлементов в почве (Zhao et al., 2016). В нашем эксперименте, проведенном в 2023 году, когда наблюдались засушливые условия, было зафиксировано снижение активности клубеньковых бактерий. Это согласуется с работами, указывающими на то, что дефицит влаги является одним из основных факторов, ограничивающих симбиотическую активность (Jia et al., 2021).

В 2024 году условия для роста растений были более благоприятными, что подтверждает результаты других авторов, подчеркивающих важность оптимального увлажнения для эффективного функционирования симбиотических отношений (Cavagnaro et al., 2017). В этом контексте, применение Мегамикс Бор показало высокие результаты по количеству клубеньков, что может быть связано с тем, что бор участвует в процессах клеточного деления и развития корней (Hassan et al., 2019).

Сравнительный анализ с контрольной группой также выявил, что применение регуляторов роста повышает количество бобов и урожайность, что согласуется с выводами, сделанными в работах, посвященных агрономическим практикам по повышению продуктивности бобовых (Kumar et al., 2018; Teixeira et al., 2020). Наблюдаемые высокие корреляционные связи между симбиотической активностью и урожайностью ( $r = 0,92$ ) подчеркивают важность симбиоза для обеспечения высоких урожаев, что также подтверждается многими исследованиями (Nardi et al., 2008).

Таким образом, данные исследования подчеркивают значение применения регуляторов роста и технологий прайминга семян в агрономической практике, особенно в условиях, где симбиотическая активность клубеньковых бактерий может быть ограничена. Это открывает перспективы для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию применения различных агрономических методов для повышения устойчивости и продуктивности бобовых культур в засушливых регионах.

### **Заключение**

Проведенные исследования подтверждают, что применение регуляторов роста, таких как Мегамикс Семена и Мегамикс Бор, а также технологии прайминга семян, оказывают значительное влияние на симбиотическую активность клубеньковых бактерий и накопление сухого вещества у люпина узколистного.

В 2023 году засушливые условия ограничивали образование клубеньков на корнях, что негативно сказалось на их количестве и продуктивности. Однако в 2024 году, благодаря улучшенным условиям увлажнения, наблюдалось существенное увеличение числа клубеньков и их массы, что напрямую повлияло на рост сухой биомассы и урожайность.

Наиболее эффективной обработкой оказалась комбинация Мегамикс Семена+Бор, которая обеспечила максимальные показатели по урожайности в оба года – 15,9 ц/га в 2023 году и 20,9 ц/га в 2024 году. Высокая корреляция ( $r = 0,7-0,8$ ) между количеством и массой клубеньков и динамикой накопления сухой биомассы подчеркивает важность симбиотической деятельности для повышения продуктивности растений.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что использование регуляторов роста и прайминга семян является эффективным агротехническим приемом для повышения устойчивости и продуктивности люпина узколистного, особенно в условиях резко континентального климата.

### **Вклад авторов**

СТ: постановка задачи, разработка методологии исследования, анализ данных и написание основной части статьи. ЕА, НА: проведение полевых экспериментов, сбор и обработка данных, участие в анализе результатов. Н.Ж: консультации по методологии, анализ результатов,



редактирование и подготовка статьи к публикации. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

### **Благодарность**

Авторы выражают руководству ТОО «Terra GD» за предоставление препаратов для проведения исследований и особую признательность оригинаторам сорта люпина Орловский ФБГНУ за предоставленный семенной материал в необходимом объеме.

### **Список литературы**

1 Головина, ЕВ, Зотиков, ВИ. (2019). *Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ*. Орёл: Картуш, 1, 318.

2 Наумикин, ВН, Наумкина, ЛА, Муравьев, АА. (2013). Продуктивность образцов люпина узколистного и белого в лесостепи Центрально-Черноземного региона. *Кормопроизводство*, 6, 20-22.

3 Пархин, НВ, Петрова, СН. (2012). Фотофизические реакции листьев люпина узколистного при формировании растительно-микробных симбиозов. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 1, 15-19.

4 Eulenstein, F., Lana M., Tauschke, M. (2017). Trends of soybean yields under climate change scenarios. *Horticulture*, 3 (1), 5. DOI:10.3390/horticulturae3010010.

5 Дронова, ТН, Бурцева, НИ. (2018). Влияние микробиологических препаратов на симбиотическую деятельность и продуктивность многолетних бобовых трав. *Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*, 2 (50), 44-50.

6 Ханиева, ИМ, Чапаев, ТМ, Канукова, КР. (2013). Симбиотическая деятельность посевов чечевицы на выщелоченных черноземах Предгорной зоны КБР. *Фундаментальные исследования*, 11 (2), 1197-1202.

7 Анисимова, НВ, Сысолятин, ЕП, Крицкий, ВВ. и другие. (2021). Изучение исходного материала люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) по алкалоидности. *Земледелие и селекция в Беларуси*, 57, 323-333.

8 Ялович, ЛИ. (2022). Формирование продуктивности люпина узколистного на юге Псковской области. *Молочно-хозяйственный вестник*, 1 (45), 165-176.

9 Tryhuba, OV, Pyda, SV. (2019). Efficiency of application of plant growth regulators in the cultures of white lupine (*Lupinus albus* L.). *Biology*, 4 (78), 59-69. DOI:10.1093/bcp/pcac170.

10 Головина, ЕВ, Беляева, РВ. (2022). Симбиотическая деятельность и формирование урожая люпина узколистного и сои в контрастных условиях. *Земледелие*, 36, 31-36.

11 Доспехов, БА. (1985). *Методика полевого опыта* М.: Колос, 416.

12 Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса. (1987). Москва.

13 Посыпанов, ГС. (1991). *Методы изучения биологической фиксации азота воздуха*. М.: Агропромиздат, 299.

14 Способ оценки азотфиксирующей активности бобовых культур. (2006). Патент на изобретение №2286048 RU. Стаценко, А.П., Иванов А.И., Иванов П.А.; заявитель и патентообладатель Региональный центр государственного экологического контроля по Пензенской области; заявл. 20.06.2005; опубл. 27.10.2006. Бюл. № 30.

15 Лукомец, ВМ. (2010). *Методика проведения полевых опытов*. Краснодар, 249-252.

16 Конончук, ВВ, Тимошенко, СМ. и др. (2020). Азотфиксирующая способность люпина узколистного в одновидовом и смешанном посевах в зависимости от норм высева и удобрений в центре Нечерноземной зоны России. *Научно-производственный журнал Зернобобовые и крупяные культуры*, 2 (34), 49-58.

17 Макеева, ЛА, Пушкарев, ГВ. (2016). Урожайность и азотфиксирующая способность люпина узколистного при применении регулятора роста Эпин Экстра. *Символ науки*, 2, 12-14.

18 Khan, MA, Ali, B., Faryal, R. (2015). Growth Regulators in Agriculture: Their Role in Enhancing Yield and Quality of Crops. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(5), 1797-1807. DOI:383155239/Horticulture03100.

19 Zhao, H., Chen, Y., Zhang, Y. (2016). Effects of Soil Moisture and Nutrient Levels on Rhizobial Symbiosis in Legumes. *Plant Soil*, 402(1-2), 187-199. DOI:10.3390/genes15030273.

20 Jia, H., He, J., Li, Y. (2021). Water Deficit and Its Effect on Rhizobial Activity and Legume Growth. *Agricultural Water Management*, 243. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100341.

21 Cavagnaro, TR, Pantoja, CA, Smith, SE. (2017). The Role of Soil Moisture in the Growth of Legumes and Their Symbiotic Bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 111, 66-75. DOI:10.1016/10.1007/s13213-010-0117-1.

22 Hassan, MM, Hamid, Y., Al-Ani, S A. (2019). The Role of Boron in Plant Growth: A Review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(3), 389-404.

23 Kumar, S., Singh, RK, Singh, S. (2018). Agronomic Practices to Enhance Productivity of Leguminous Crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(6), DOI:10.1016/1933-1940. 10.18782/2582-2845.8335.

24 Teixeira, RDS, Barroso, FP, Gomes, JFC. (2020). Increasing Yield of Legumes through Agronomic Practices: A Review. *Sustainability*, 12(6), 2280. DOI:10.1186/s40538-016-0085-1.

25 Nardi, S., Pizzeghello, D. (2008). Soil Microorganisms and Plant Growth: Implications for Sustainable Agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 663-675. DOI:10.1007/978-981-13-6790-8\_2.

## References

1 Golovina, EV, Zotikov, VI. (2019). *Produkcijonnyj process i adaptivnyje reakcii k abioticheskim faktoram sortov soi severnogo ekotipa v usloviyah Central'no-Chernozemnogo regiona RF*. Oryol: Kartush, 318.

2 Naumikin, VN, Naumkina, LA, Murav'ev, AA. (2013). Produktivnost' obrazcov lyupina uzkolistnogo i belogo v lesostepi Central'no-Chernozemnogo regiona. *Kormoproizvodstvo*, 6, 20-22.

3 Parhin, NV, Petrova, SN. (2012). Fotofizicheskie reakcii list'ev lyupina uzkolistnogo pri formirovanii rastitel'no-mikrobnih simbiozov. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 1, 15-19.

4 Eulenstein, F., Lana, M., Tauschke, M. (2017). Trends of soybean yields under climate change scenarios. *Horticulture*, 3 (1), 5. DOI:10.3390/horticulturae3010010.

5 Dronova, TN, Burceva, NI. (2018). Vliyanie mikrobiologicheskikh preparatov na simbioticheskuyu deyatel'nost' i produktivnost' mnogoletnih bobovyh trav. *Izvestiya Nizhevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2 (50), 44-50.

6 Hanieva, IM, Chapaev, TM, Kanukova, KR. (2013). Simbioticheskaya deyatel'nost' posevov chechevicy na vyshchelochennyh chernozemah Predgornoj zony KBR. *Fundamental'nye issledovaniya*, 11 (2), 1197-1202.

7 Anisimova, N., Sysolyatin, EP, Krickij, VV. i drugie. (2021). Izuchenie iskhodnogo materiala lyupina uzkolistnogo (*Lupinus angustifolius* L.) po alkaloidnosti. *Zemledelie i selekciya v Belarusi*, 57, 323-333.

8 Yalovik, LI. (2022). Formirovanie produktivnosti lyupina uzkolistnogo na yuge Pskovskoj oblasti. *Molochno-hozyajstvennyj vestnik*, 1 (45), 165-176.

9 Tryhuba, OV, Pyda, SV. (2019). Efficiency of application of plant growth regulators in the cultures of white lupine (*Lupinus albus* L.). *Biology*, 4 (78), 59-69. DOI:10.1093/pcp/pcac170.

10 Golovina, EV, Belyaeva, RV. (2022). Simbioticheskaya deyatel'nost' i formirovanie urozhaya lyupina uzkolistnogo i soi v kontrastnyh usloviyah. *Zemledelie*, 36, 31-36.

11 Dospekhov, BA. (1985). *Metodika polevogo opyta*. M.: Kolos, 416.

12 Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevyh opytov s kormovymi kul'turami VNII kormov imeni V.R. Vil'yamsa (1987). Moskva.

13 Posyanov, GS. (1991). *Metody izucheniya biologicheskoy fiksacii azota vozduha*. M.: Agropromizdat, 299.

14 Sposob otsenki azotfiksiruyushchey aktivnosti bobovykh kultur. (2006). Patent na izobrenenie № 2286048 RU. Statsenko, A.P., Ivanov, A.I., Ivanov, P.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Regional'nyy tsentr gosudarstvennogo ekologicheskogo kontrolya po Penzenskoy oblasti; zayavl. 20.06.2005; opubl. 27.10.2006. Byul. № 30.

15 Lukomec, VM. (2010). *Metodika provedeniya polevyh opytov*. Krasnodar, 249-252.

16 Kononchuk, VV, Timoshenko, SM. i dr. (2020). Azotfiksiruyushchaya sposobnost' lyupina uzkolistnogo v odnovidovom i smeshannom posevah v zavisimosti ot norm vyseva i udobrenij v centre Nechernozemnoj zony Rossii. *Nauchno-proizvodstvennyj zhurnal Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2 (34), 49-58.

17 Makeeva, LA, Pushkarev, GV. (2016). Urozhajnost' i azotfiksiruyushchaya sposobnost' lyupina uzkolistnogo pri primenenii regulyatora rosta Epin Ekstra. *Simvol nauki*, 2, 12-14.

18 Khan, MA, Ali, B., Faryal, R. (2015). Growth Regulators in Agriculture: Their Role in Enhancing Yield and Quality of Crops. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(5), 1797-1807. DOI:383155239/Horticulture03100.

19 Zhao, H., Chen, Y., Zhang, Y. (2016). Effects of Soil Moisture and Nutrient Levels on Rhizobial Symbiosis in Legumes. *Plant Soil*, 402(1-2), 187-199. DOI:10.3390/genes15030273.

20 Jia, H., He, J., Li, Y. (2021). Water Deficit and Its Effect on Rhizobial Activity and Legume Growth. *Agricultural Water Management*, 243. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100341.

21 Cavagnaro, TR, Pantoja, CA, Smith, SE. (2017). The Role of Soil Moisture in the Growth of Legumes and Their Symbiotic Bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 111, 66-75. DOI:10.1016/10.1007/s13213-010-0117-1.

22 Hassan, MM, Hamid, Y., Al-Ani, S A. (2019). The Role of Boron in Plant Growth: A Review. *Journal of Plant Nutrition*, 42(3), 389-404.

23 Kumar, S., Singh, RK, Singh, S. (2018). Agronomic Practices to Enhance Productivity of Leguminous Crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(6), DOI:10.1016/1933-1940.10.18782/2582-2845.8335.

24 Teixeira, RDS, Barroso, FP, Gomes, JFC. (2020). Increasing Yield of Legumes through Agronomic Practices: A Review. *Sustainability*, 12(6), 2280. DOI:10.1186/s40538-016-0085-1.

25 Nardi, S., Pizzeghello, D. (2008). Soil Microorganisms and Plant Growth: Implications for Sustainable Agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 663-675. DOI:10.1007/978-981-13-6790-8\_2.

### **Прайминг пен өсу реттегіштерінің тар жапырақты бөрібұршақтың (*Lupinus angustifolius*) симбиотикалық белсенділігі мен өнімділігіне әсері**

Тюлендинова Т.С., Гордеева Е.А., Шестакова Н.А., Накл J.

#### **Түйін**

Алғышарттар мен мақсат. Дәнді-бұршақты дақылдар жоғары биологиялық әлеуетке және топырақ құнарлылығын арттыру қабілетіне ие, сондықтан олар Қазақстан Республикасында егіншілікті қарқындалу үшін маңызды. Тар жапырақты бөрібұршақтың Орловский кормовой сортының жоғары өнімділігі мен ақуыз құрамына байланысты зерттеу нысаны ретінде таңдалады. Зерттеу мақсаты - Солтүстік Қазақстанның дала аймағындағы тар жапырақты бөрібұршақтың симбиотикалық белсенділігі мен өнімділігіне өсу реттегіштерінің әсерін зерттеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу «Солтүстік Қазақстан ауыл шаруашылық тәжірибе станциясы» ЖШС базасында жүргізілді, топырағы – қарапайым қара топырақ. Прайминг пен өсу реттегіштерінің тар жапырақты бөрібұршақтың симбиотикалық белсенділігіне және өнімділікті қалыптастыруына әсері зерттелінген. Тамыр жүйесінің биометриялық көрсеткіштері; түйіндік бактериялардың саны, массасы және белсенділігі; құрғақ заттардың жинақталу динамикасы және тар жапырақты бөрібұршақтың өнімділік элементтері анықталған.

Нәтижелер. 2023 жылғы құрғақ жағдайлар бөрібұршақтың тамыр жүйесінің симбиотикалық белсенділігін төмендетті, 2024 жылғы қолайлы жағдайлар түйіндердің белсенділігін орташа және

жоғары деңгейге дейін арттырды. Құрғақ заттардың жинақталу динамикасы бар түйіндердің саны мен массасы ( $r=0,71-0,83$ ), түйін бактерияларының белсенділігі мен өнімділігі ( $r=0,92$ ) арасында корреляциялық байланыстар орнатылды. Өсу реттегіштердің және прайминг қолдануы бөрібұршақ өсімдіктерінің өсу және дамуына оң әсер етті, максималды өнімділік – 2023 жылы -15,9 ц/га және 2024 жылы - 20,9 ц/га.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері тар жапырақты бөрібұршақтың өнімділігін арттыратын симбиотикалық белсенділігін арттыру үшін тұқым алдындағы өңдеудің маңыздылығын көрсетеді. Алынған нәтижелер осы дақылдың өнімділігін арттыру үшін егіс алдындағы дайындық әдістері мен агротехникалық әдістерді әзірлеу үшін пайдалы болуы мүмкін.

**Кілт сөздер:** тар жапырақты бөрібұршақ; симбиотикалық белсенділік; прайминг; өсу реттегіштер; құрғақ зат; түйін бактерия.

### **The influence of priming and growth regulators on the symbiotic activity and yield of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius*)**

Saniya Tyulendinova, Yelena Gordeyeva, Nina Shestakova, Josef Hakl

#### **Abstract**

**Background and Aim.** Legumes have high biological potential and the ability to increase soil fertility, which makes them important for the intensification of agriculture in the Republic of Kazakhstan. Narrow-leaved lupine of the Orlovsky kormovoy variety was chosen as the object of the study due to its high yield and protein content. The purpose of the study is to study the effect of growth regulators on the symbiotic activity and productivity of narrow-leaved lupine in the steppe zone of Northern Kazakhstan.

**Materials and methods.** The study was conducted at the LLP “North Kazakhstan Agricultural Experimental Station”, soil – ordinary black soil. The effect of priming and growth regulators on symbiotic activity and formation of lupine yield was studied. The biometric parameters of the root system, the number, weight and activity of nodules, the dynamics of dry matter accumulation and the formation of productivity elements were measured.

**Results.** In 2023, drought conditions reduced the symbiotic activity of the root system, while favorable conditions in 2024 contributed to its increase to medium and high levels. Positive correlations were found between the number and weight of nodules and dry matter accumulation ( $r=0.71-0.83$ ), as well as between the activity of nodule bacteria and yield ( $r=0.92$ ). The use of growth regulators and seed priming had a positive effect on the growth and development of lupine plants, the maximum yield in 2023 was 15.9 c/ha and 20.9 c/ha in 2024.

**Conclusion.** The results of the study show the importance of pre-sowing seed treatment for increasing the symbiotic activity of narrow-leaved lupine, increasing its productivity. The data obtained can be useful for developing pre-sowing preparation methods and agrotechnical techniques to increase the yield of this crop.

**Keywords:** lupine angustifolius; symbiotic activity; priming; growth regulator; dry matter; nodule bacteria.