

Влияние погодных условий на физиологические особенности развития культуры *Lupinus angustifolius* L. при использовании биопрепаратов

© 2025. А. П. Кислицына, к. с.-х. н., с. н. с.,
А. Ю. Софронова, м. н. с., аспирант,
Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,
e-mail: zemltdel_niish@mail.ru

На культуре люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) проведена оценка влияния климатического фактора на действие ряда технологических приёмов: инокуляции семян препаратом клубеньковых бактерий Ризоверм, а также обработки семян и посевов комплексным ростостимулирующим препаратом Полимин™ Бор-Молибден. Эксперимент проводился в течение 2-х лет, резко различающихся по количеству выпавших осадков и температурному режиму. Первый год эксперимента (2023 г.) характеризовался как умеренно увлажнённый, гидротермический коэффициент вегетационного периода (ГТК) – 1,29, но осадки в течение летнего сезона выпадали крайне неравномерно, второй год (2024 г.) был засушливым (ГТК – 0,68). Количество пигментов в листьях в фазе массового цветения люпина узколистного в зависимости от условий года различалось. При благоприятном водно-температурном режиме этот показатель имел тесную связь с накоплением сухого вещества фитомассой растений в фазе сизо-зелёных бобов ($r=0,96$). В условиях засухи уровень связи характеризовался средним значением, $r=0,43$ ($p\leq 0,05$). Вследствие вегетативного израстания растений люпина узколистного при тёплой и дождливой погоде (в июле 2023 г. осадков выпало 227% от климатической нормы) в период цветения и формирования семян урожайность семян в разных вариантах опыта составила от 0,8 до 0,93 т/га, против 0,6 т/га в контроле. Инокуляция семян препаратом Ризоверм с обработкой посевов в период вегетации (фаза бутонизации) препаратом Полимин™ Бор-Молибден были наиболее эффективным приёмом и обеспечили прибавку урожая семян 55% к контролю (+0,33 т/га). В 2024 г., в условиях атмосферной и почвенной засухи, не было отмечено достоверного действия регулятора роста, как и инокуляции семян и их совместного применения, на содержание пигментов в листьях и продуктивность люпина. Урожайность семян люпина узколистного по вариантам опыта составила 0,82–0,87 т/га.

Ключевые слова: люпин узколистный, пигменты, каротиноиды, хлорофилл, урожайность семян, сухое вещество, стимуляторы роста.

Weather conditions affect the physiological features of the *Lupinus angustifolius* L. development when using biological products

© 2025. A. P. Kislitsyna ORCID: 0000-0001-7474-7359,
A. Y. Sofronova ORCID: 0000-0001-7153-7970,
Federal Agricultural Research Center of North-East named N.V. Rudnitsky,
166a, Lenin St., Kirov, Russia, 610007,
e-mail: zemltdel_niish@mail.ru

We assessed the climatic factor effect on the manifestation of two agricultural practices for the *Lupinus angustifolius*. The first was inoculation of lupine seeds with a Rhizoverm preparation of nodule bacteria. The second one was treatment of seeds and crops with a complex growth-stimulating preparation Polymin™ Boron-Molybdenum. The experiment was conducted for 2 years varied considerably in the precipitation amount and temperature conditions. The weather in 2023 was moderately humid (moisture index – 1.29), but precipitation during the summer season was extremely uneven. The weather in 2024 was arid (moisture index – 0.68). The leaves pigments' amount (LPA) during the mass flowering phase in lupine varied in different years. The LPA closely related to the accumulation of dry matter by the phytomass in the phase of gray-green beans ($r=0.96$) in favorable water-temperature conditions. The level of the above-mentioned relationship corresponded to the average values, $r=0.43$ ($p\leq 0.05$) in drought conditions. There was 227% precipitation from the climatic norm in July 2023. Due to vegetative overgrowth of *L. angustifolius* plants in warm and rainy weather during flowering and seed formation, the seed yield was 0.8–0.93 t/ha, versus 0.6 t/ha in the control. Seeds inoculation with Rizoverm combined with the crops treatment with Polymin™ Boron-Molybdenum during the

growing season (the budding phase) was the most effective method that provided 55% increase in seed yield compared to the control (+0.33 t/ha). In atmospheric and soil drought in 2024, there was no reliable effect of the growth regulator, as well as the inoculation of seeds or their combined use on the pigment content in leaves and the productivity. The *L. angustifolius* seeds yield according to the experimental variations was 0.82–0.87 t/ha.

Keywords: *Lupinus angustifolius*, pigments, carotenoids, chlorophyll, seed yield, dry matter, growth stimulants.

В решении проблемы производства полноценного растительного белка для животноводства люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) является одной из перспективных зернобобовых культур. Зерно люпина занимает лидирующее положение среди бобовых культур по содержанию сырого протеина (до 38–40%) [1, 2], сбалансированности самых ценных аминокислот, а также содержит витамины, полиненасыщенные жирные кислоты, макро- и микроэлементы [3]. Согласно международным стандартам по переваримости белок люпина близок к белку сои и практически не содержит ингибиторов трипсина и химотрипсина [4]. Кроме того, благодаря уникальным биологическим особенностям люпин узколистный способствует повышению плодородия почвы с одновременным улучшением её физического, агрохимического и фитосанитарного состояния. Культура характеризуется практически полным симбиотрофным азотным питанием и может накапливать до 200 кг/га атмосферного азота [5, 6]. Благодаря мощной корневой системе продуктивность люпина узколистного в минимальной степени зависит от применения удобрений [7]. При благоприятных почвенно-климатических условиях люпин способен формировать урожайность семян на уровне 3–4 т/га.

В условиях потепления климата люпин узколистный чувствует себя недостаточно комфортно в южной зоне Центрального региона из-за высоких температур в критические периоды роста и развития. Превышение необходимой суммы положительных температур уменьшает количество и степень развития репродуктивных органов. Продвижение посевов люпина узколистного в области с более низкими летними температурами в большей мере соответствует его биологическим потребностям [8, 9]. Появление новых скороспелых сортов и потепление климата позволяют возделывать его в районах с более коротким вегетационным периодом [8].

На северо-востоке европейской части России, в частности в Кировской области, люпин узколистный остаётся малораспространённой культурой, так как не всегда обеспечивает стабильную по годам урожайность семян,

что обусловлено рядом причин, главные из которых – почвенно-климатические условия. Для люпина узколистного наиболее благоприятные условия для получения высокого урожая семян складываются при среднесуточной температуре 16–17 °С и 200–250 мм осадков от всходов до созревания [3, 8], что при участившихся проявлениях засушливых явлений бывает не всегда. В связи с этим, оценка влияния погодных условий на эффективность возделывания люпина узколистного является актуальной.

Современная концепция развития сельского хозяйства предусматривает использование регуляторов роста для повышения урожайности культурных растений. Биоорганические удобрения, стимуляторы роста способствуют усилению роста и развитию растений, повышают их устойчивость к различным внешним факторам [10]. Регуляторы роста действуют, прежде всего, на ферментативные системы растений, ускоряют течение биохимических реакций, и, тем самым, увеличивают скорость формирования синтезируемого в процессе фотосинтеза органического вещества, что способствует повышению урожайности культуры [11]. В настоящее время активно ведутся исследования по разработке новых препаратов комплексного действия, включающих стимуляторы роста и микроэлементы. Задача состоит в разработке комплексных приёмов использования данных препаратов в сочетании с другими средствами биологизации и химизации сельскохозяйственного производства [12].

Цель исследования – изучить влияние погодных условий на эффективность инокуляции семян люпина узколистного сорта Брянский кормовой бактериальным препаратом Ризоверм, с одновременной обработкой семян и посевов биоорганическим комплексом Полимин™ Бор-Молибден.

Материалы и методы исследований

Объект исследования – люпин узколистный, сорт Брянский кормовой селекции ФГБНУ ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса (ВНИИ люпина, г. Брянск). Сорт универсального ис-

пользования. В наших исследованиях 2020–2022 гг. на сильнокислой легкосуглинистой дерново-подзолистой почве сорт Брянский кормовой отличался высокой урожайностью (более 2,0 т/га) и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды [13].

Исследования проводились на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого в 2023 и 2024 гг. Для инокуляции семян использовали препарат Ризоверм, содержащий комплекс симбиотических азотфиксирующих бактерий *Rhizobium lupine* (L.) и *Braderhizobium* sp. Препарат получен от ООО «Ризобиотики – Вятка», титр бактерий составлял $2 \cdot 10^9$ кл./г препарата. Обработку семян и посевов проводили биоорганическим комплексом Полимин™ Бор-Молибден, созданным на основе биостимуляторов природного происхождения (гуминовые и терпеновые кислоты) с добавлением микроэлементов бора и молибдена в хелатной форме. Концентрации бора и молибдена в препарате составляют по 15 г/л. В качестве хелатирующего агента используется оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ), которая сама является активным регулятором роста растений, обладает антимикробными (включая противовирусные) свойствами.

Обработку семян проводили в рекомендованной производителем дозе препарата (0,4 л/т). Внекорневую обработку травостоев люпина узколистного (по схеме опыта) осуществляли в фазу бутонизации. Доза препарата – 0,2 л/га, расход рабочей жидкости 200 л/га.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, среднекислая с повышенным содержанием подвижного фосфора (P_{2O_5}) и обменного калия (K_2O) (по Кирсанову), низким содержанием гумуса – 1,50–1,67%, средней обеспеченностью бором – 0,4 мг/кг, низкой – молибденом – 0,09 мг/кг почвы.

Общая площадь делянки 15 м², повторность четырёхкратная. Всего было заложено 6 вариантов опыта:

- 1) фон (контроль) – фосфорно-калийные удобрения в дозе $P_{30}K_{60}$;
- 2) фон + азотные удобрения (N_{30}) в форме аммиачной селитры;
- 3) фон + инокуляция бактериальным препаратом Ризоверм;
- 4) фон + Полимин™ Бор-Молибден (обработка семян);
- 5) фон + инокуляция Ризовермом + Полимин™ Бор-Молибден (обработка семян);

6) фон + инокуляция Ризовермом + Полимин™ Бор-Молибден (в период вегетации).

Предшественник люпина – яровая пшеница. Посев узкорядный, проводился сеялкой точного высева при достижении оптимальной температуры почвы.

Норма высева семян – 1,3 млн. всхожих зёрен на гектар.

Все полевые исследования и наблюдения были проведены в соответствии с методическими указаниями [14].

Для определения содержания пигментов растения отбирали в фазу массового цветения люпина. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях осуществляли в ацетоновых вытяжках на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU Corporation, Япония) согласно методике [15].

Статистическую обработку результатов проводили путём дисперсионного анализа с помощью пакета программ «AGROS», версия 2.07.

Результаты и обсуждение

Погодные условия в годы исследований существенно отличались по температурному режиму и распределению осадков по месяцам в период вегетации люпина от среднемноголетних показателей (табл. 1).

Вегетационный период 2023 г. характеризовался как умеренно увлажнённый, гидротермический коэффициент (ГТК) – 1,29, но в июне (фазы ветвления и бутонизации) количество осадков составило всего 38% от среднемноголетних показателей. Запасы продуктивной влаги в почве в этот период оценивались как низкие – 8,38 мм [16] и в фазу «начало цветения» достигали 9,88 мм, что отрицательно сказалось на развитии симбиотической системы люпина и растений в целом. В первой пятидневке июля на центральном стебле растений образовались бобы. Обильные дожди, начавшиеся с 7 июля (за месяц выпало 227% от климатической нормы), способствовали нарастанию вегетативной массы, боковому ветвлению, с последующим цветением и бобообразованием. Затянувшееся созревание семян на боковых побегах увеличило сроки вегетации до 112 дней и привело к потере семян при уборке.

Рост и развитие растений в 2024 г. проходили в условиях жаркой и сухой погоды. Гидротермический коэффициент сезона составил 0,68, что характеризует его как засушливый. Резкое потепление после прохладной погоды

Таблица 1 / Table 1

Метеорологические условия вегетационного периода 2023–2024 гг.
Meteorological conditions of the 2023–2024 growing season

Год исследования Research year	Месяц / Month				
	май May	июнь June	июль July	август August	сентябрь September
Средняя температура воздуха за месяц, °C / Average monthly air temperatures, °C					
2023	13,8	14,1	18,6	17,4	13,0
2024	7,5	18,8	19,8	16,2	
Средняя многолетняя Long-term mean	11,9	16,4	18,9	15,9	9,2
Количество осадков за месяц, мм / Monthly precipitation, mm					
2023	45,0	30,0	177,0	15,0	12,4
2024	65,0	31,0	40,0	30,0	22,0
Среднее многолетнее Long-term mean	52,5	78,2	77,4	71,4	62,1

мая и последующая жаркая и сухая погода способствовали быстрому прохождению фаз онтогенеза (период от посева до полной зрелости семян составил 91 день). Запасы влаги в почве в фазу ветвления 10 июня составляли 25,7 мм (средняя обеспеченность), что было достаточно для роста растений на первых этапах развития, но к фазе цветения–бобообразования влажность почвы в слое 0–20 см была ниже оптимальных показателей.

Обработка семян и посевов ростостимулирующим препаратом не повлияла существенно на длину межфазных периодов, в большей мере они зависели от температурного и водного режима. Внесение N_{30} в виде аммиачной селитры под культивацию в условиях обильных осадков июля 2024 г. сказалось на длительности фаз цветения и созревания семян, они наступали позже на 2–3 дня относительно других вариантов опыта.

Количественное содержание пигментов и их соотношение в тканях растений являются фактором, определяющим физиологическое состояние растения [17]. От содержания фотосинтетических пигментов – хлорофиллов зависит эффективность функционирования фотосинтетического аппарата и биологическая продуктивность растений [18].

В зависимости от погодных условий года и применяемой технологии содержание пигментов в листьях люпина узколистного в фазу массового цветения люпина различалось. В условиях жёсткой засухи в конце июня и июле 2024 г. количественное содержание основного зелёного пигмента хлорофилла *a* (Chl *a*), который отвечает за продуктивность, было в среднем по опыту на 15,7% ниже, чем в 2023 г. (табл. 2, 3).

Такая же закономерность наблюдалась в отношении хлорофилла *b* (Chl *b*), который

является облигатным компонентом фотосинтетического аппарата высших растений и регулятором процесса биосинтеза и деградации светособирающих антенных комплексов, концентрация его снизилась на 6,7%. Снижение содержания или отсутствие Chl *b* вызывает задержку цветения и преждевременный запуск программ онтогенетического и индуцированного старения растения [19].

Каротиноиды – обязательные компоненты пигментных систем. Они выполняют защитную функцию, предохраняя хлорофилл от фотоокисления, тем самым стабилизируют его содержание. Содержание их в условиях жаркой и сухой погоды 2024 г. в среднем было ниже на 16,9%, чем в 2023 г.

В 2023 г. все изучаемые агроприёмы достоверно способствовали повышению содержания пигментов в листьях люпина узколистного относительно контрольного варианта (табл. 2). Инокуляция семян микробиологическим препаратом Ризоверм повышала содержание Chl *a* на 37,9%, Chl *b* на 34,2%. Содержание каротиноидов возросло при этом в 1,3 раза. Обработка семян только стимулятором роста Полимин™ Бор-Молибден (вариант 4 в табл. 2) увеличивала содержание зелёных пигментов (Chl *a*+Chl *b*) в листьях люпина узколистного по отношению к контролю на 26,9%, но её влияние было ниже действия инокуляции препаратом Ризоверм. Совместная обработка семян стимулятором роста с инокуляцией, как и инокуляция с последующей обработкой комплексным препаратом в период вегетации не повышали концентрацию пигментов в тканях листа относительно одной бактериализации семян.

Вследствие атмосферной засухи вегетационного периода 2024 г. обработка регулятором роста не оказала стимулирующего влияния

Таблица 2 / Table 2

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях люпина узколистного в фазу цветения, 2023 г.
Photosynthetic pigments content in the *Lupinus angustifolius* leaves during the flowering phase, 2023

Варианты Variants	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Каротиноиды Carotenoids	Chl <i>a</i> / Chl <i>b</i>
	мг/г сухого вещества / mg/g of dry matter			
1. P ₃₀ K ₆₀ (фон) контроль 1. P ₃₀ K ₆₀ (background) control	7,79±0,33	3,45±0,37	2,55±0,31	2,36±0,05
2. Фон + N ₃₀ 2. Background + N ₃₀	11,36±0,19	4,98±0,08	3,54±0,10	2,30±0,01
3. Фон + ИБП 3. Background + ИБР	10,99±0,29	4,6±0,5	3,45±0,06	2,57±0,13
4. Фон + ПБМ (обработка семян) 4. Background + РВМ (seed treatment)	10,0±0,6	4,51±0,18	3,03±0,19	2,23±0,08
5. Фон + ИБП + ПБМ (обработка семян) 5. Background + ИБР + РВМ (seed treatment)	10,8±0,6	4,72±0,30	3,32±0,18	2,30±0,04
6. Фон + ИБП + ПБМ (в период вегетации) 6. Background + ИБР + РВМ (during the growing season)	11,0±0,1	4,83±0,08	3,42±0,03	2,29±0,02
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,51	0,75	0,56	—

Примечание к таблицам 2–4: Chl – хлорофилл; ПБМ – ПолиминTM Бор-Молибден; ИБП – инокуляция бактериальным препаратом Ризоверм; (±) – ошибка среднего; HCP₀₅ – это наименьшая существенная разница между значениями при p≤0,05. Проверк обозначает, что расчёты не проводились.

Note to Tables 2–4: Chl – chlorophyll; PBM – PolyminTM Boron-Molybdenum; IBP – inoculation with the Risovertm bacterial preparation; (±) – error of the mean; LSD₀₅ is the least significant difference between values at p≤0.05. A dash means no calculations performed.

Таблица 3 / Table 3

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях люпина узколистного в фазу «цветение» 2024 г.
Photosynthetic pigments content in the *Lupinus angustifolius* leaves during the flowering phase, 2024

Варианты Variants	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Каротиноиды Carotenoids	Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i>
	мг/г сухого вещества / mg/g of dry matter			
1	9,5±0,8	4,62±0,25	2,96±0,35	2,07±0,05
2	8,5±1,1	4,1±0,5	2,7±0,29	2,07±0,02
3	10,3±0,6	4,95±1,1	3,3±0,8	2,10±0,04
4	7,84±0,35	3,73±0,20	2,51±0,01	2,13±0,08
5	7,72±0,26	3,70±0,05	2,5±0,15	2,1±0,05
6	8,3±0,4	4,03±0,24	2,5±0,13	2,07±0,02
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	F ₁ ≤F ₀₅	F ₁ ≤F ₀₅	F ₁ ≤F ₀₅	—

Примечание: названия вариантов указаны в таблице 2. F₁≤F₀₅ – полученные значения существенно не отличаются между собой при p<0,05.

Note: the names of the variants see in Table 2. F₁≤F₀₅ – the obtained values do not differ significantly from each other at p<0.05.

на процесс фотосинтеза. Концентрация хлорофилловых пигментов и каротиноидов в листьях люпина узколистного в этих вариантах опыта была ниже контроля (табл. 3).

Инокуляция семян (вариант 3 в таблице 3) способствовала незначительному накоплению пигментов в листьях по отношению к другим вариантам опыта.

Режим корневого питания азотом оказывает сильное влияние на содержание хлоро-

филла в листьях, от которого зависит полнота поглощения светового потока и интенсивность восстановления CO₂. Авторы работы [20] отмечают увеличение содержания хлорофилла в листьях люпина при внесении азотных удобрений на 23% по сравнению с вариантом без внесения азота.

В наших исследованиях в зависимости от погодных условий влияние минерального азота на содержание пигментов различалось.

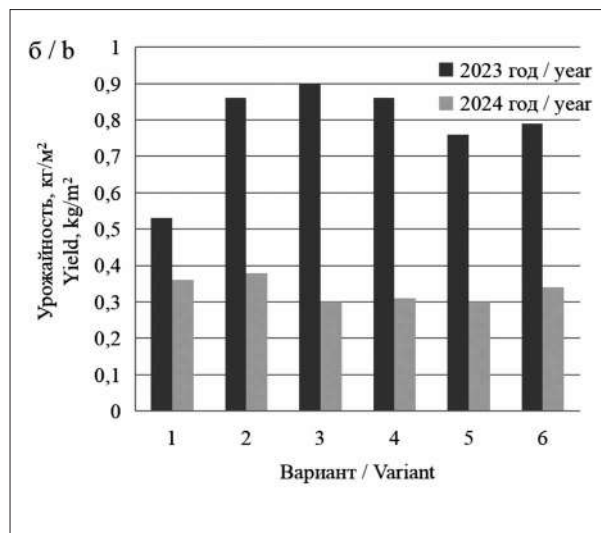
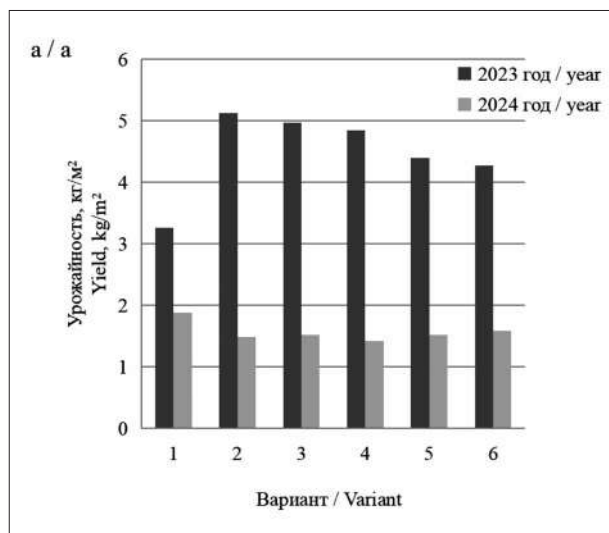


Рис. Урожайность зелёной массы (а) и сбор сухого вещества (б) люпина узколистного, кг/м² (фаза сизо-зелёного боба) по годам исследований. Названия вариантов указаны в таблице 2
Fig. Yield of *Lupinus angustifolius* green mass and dry matter, kg/m² (the blue-green bean phase) in the studies years. The variants names are listed in Table 2

Если в 2023 г. при внесении N_{30} содержание Chl *a* возрастало по отношению к контролю ($P_{30}K_{60}$) на 42,5%, Chl *b* на 44,3%, то в условиях засухи 2024 г. снижалось на 11,0 и 11,3% соответственно.

Одним из информативных показателей, характеризующих работу фотосинтетического аппарата, является соотношение Chl *a*/Chl *b*. Это соотношение связано с активностью главного хлорофилла (Chl *a*), и чем оно больше, тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен составлять 2,2–3,0 [21, 22]. В 2023 г. при благоприятном водно-температурном режиме в фазу массового цветения люпина это отношение было в пределах нормы (2,23–2,35), что указывало на достаточно хорошую работу фотосинтетического аппарата. В 2024 г. было ниже оптимальных значений (2,07–2,10) по всем вариантам опыта, что свидетельствует об ограничении фотосинтеза у люпина в условиях сухой и жаркой погоды. Соответственно, линейный рост растений и нарастание биомассы было ограничено. Основной рост растений в высоту (80% от высоты растений к концу вегетации) закончился к фазе цветения. В 2023 г. в силу биологических особенностей культуры, в отличие от злаков, нарастание биомассы продолжалось до фазы созревания бобов.

Урожайность зелёной массы и сбор сухого вещества в фазу сизо-зелёных бобов в засушливых погодных условиях (рис.) были в 2,4 раза ниже, чем в 2023 г. по всем вариантам опыта. Если в 2023 г. обработка семян и посевов ростостимулирующими препаратами и

инокуляция семян достоверно увеличивали накопление сухого вещества растениями, то в условиях засухи 2024 г. значимых различий с контролем не отмечено.

В 2023 г. между содержанием пигментов в листьях люпина узколистного в фазу массового цветения и накоплением сухой фитомассы растениями отмечается тесная связь. Коэффициент корреляции сбора сухого вещества с суммарным содержанием хлорофиллов (Chl *a*+Chl *b*), составляет 0,96 при 5% уровне значимости. В 2024 г. эта зависимость достигает только средних значений, $r=0,43$.

Прямо пропорциональной зависимости между накоплением сухого вещества растениями люпина и урожайностью семян не отмечено. Если в 2023 г. коэффициент корреляции между накоплением сухого вещества растениями в фазе сизо-зелёных бобов и урожайностью семян составил 0,76, то в условиях засухи, когда наблюдалось опадение листьев, цветков и бобов, только на 11% зависел от накопления сухого вещества (коэффициент детерминации $R^2=0,11$). Коэффициент корреляции (r) равнялся 0,33. Хотя между суммой пигментов в листьях и урожайностью семян отмечается более высокий уровень связи, коэффициент корреляции $r=0,51$. Урожайность семян в оба года исследований была низкой (табл. 4).

Высокие среднесуточные температуры в период цветения – завязывание семян и дефицит осадков в 2024 г. (дневные температуры достигали 32–34 °C) спровоцировали

Таблица 4 / Table 4

Урожайность семян люпина узколистного по годам исследований, т/га
Yield of *Lupinus angustifolius* seeds in the studies years, t/ha

Варианты / Variants	2023 г.	2024 г.	Среднее / Average
1	0,60	0,80	0,70
2	0,83	0,82	0,82
3	0,81	0,86	0,84
4	0,82	0,87	0,85
5	0,86	0,84	0,85
6	0,93	0,85	0,89
HCp ₀₅ / LSD ₀₅	0,122	F _Γ ≤F ₀₅	—

Примечание: названия вариантов указаны в таблице 2.
Note: the variants names see in Table 2.

сбрасывание цветков и завязей, что и определило снижение урожайности семян люпина. В 2023 г. невысокая урожайность семян связана с вегетативным израстанием растений. При тёплой и влажной погоде в период после цветения у сортов люпина с обычным неограниченным ветвлением наблюдается длительный вегетативный рост (израстание), что приводит к перераспределению пластических веществ, большая часть которых идёт на поддержание функционирования фотосинтетического аппарата растений, но не на синтез белковых веществ и формирование семян [23, 24]. При таких условиях (перепады температуры, неравномерное распределение осадков, избыточная влажность) урожайность семян люпина может снижаться на 50% и более [25].

Несмотря на вегетативное израстание растений все изучаемые агроприёмы достоверно повысили урожайность семян, но наиболее значимая прибавка к контролю отмечена в варианте опыта с инокуляцией семян и применением комплексного препарата Полимин™ Бор-Молибден в период вегетации 0,33 т/га (55,0%). Вероятно, использование стимулятора роста по вегетирующим растениям увеличивало урожайность за счёт лучшего оттока ассимилянтов в семена. В условиях 2024 г. тенденция сохранилась, но достоверного действия комплексного препарата, как и бактериализации семян, и применения азотных удобрений на семенную продуктивность люпина в сравнении с контролем не проявилось.

Закключение

Действие погодных условий на эффективность изучаемых агроприёмов на люпине узколистном различалось по годам исследований. В 2023 г. в условиях вегетативного израстания люпина инокуляция семян Ризовермом, обработка семян и посевов регулятором роста По-

лимин™ Бор-Молибден, применение азотных удобрений достоверно повышали концентрацию пигментов в его листьях, способствовали накоплению биомассы и росту урожайности семян относительно контроля. Наиболее значимая прибавка семян к контролю отмечена в варианте опыта с инокуляцией семян и применением комплексного препарата Полимин™ Бор-Молибден в период вегетации (в фазу «бутонизация»), 0,33 т/га (55,0%). В условиях атмосферной и почвенной засухи 2024 г. достоверного действия регулятора роста, инокуляции семян и их совместного применения на содержание пигментов в листьях и продуктивность люпина не проявилось.

Между содержанием зелёных пигментов в листьях и накоплением сухой фитомассы растениями люпина узколистного в фазе сизо-зелёного боба в 2023 г. отмечается тесная связь (r=0,96). В 2024 г. эта зависимость достигает только средних значений, r=0,43.

Вместе с тем урожайность семян люпина не зависела от накопления надземной биомассы растениями. При вегетативном израстании растений в 2023 г. урожайность семян люпина узколистного составила только 9,0–11,8% от накопленного сухого вещества в фазу сизо-зелёного боба. В условиях засухи 2024 г. эта величина достигала 21,6–22,2% и возрастала до 28,0–28,6% в вариантах с инокуляцией семян бактериальным препаратом Ризоверм и обработкой их препаратом Полимин™ Бор-Молибден.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема FNWE-2025-0005).

Литература

1. Артюхов А.И., Победов А.В. Люпин – важная составляющая часть стратегии самообеспечения России

комплементарным белком // Кормопроизводство. 2012. № 5. С. 3–4.

2. Косолапов В.М., Фицев А.И., Гаганов А.П., Мамаева М.В. Горох, люпин, вика, бобы: оценка и использование в кормлении сельскохозяйственных животных. М.: Угрешская типография, 2009. 373 с.

3. Агеева П.А., Почутин Н.А., Матюхина М.В. Люпин узколистный – источник ценных питательных веществ для использования в кормопроизводстве // Кормопроизводство. 2020. № 10. С. 29–33. doi: 10.25685/krm.2020.11.40.001

4. Федорова З.Н. Энергопротеиновый концентрат на основе экструдированного люпина в кормлении телят // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 4. С. 142–148. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11146

5. Такунов И.П. Люпин – эффективное средство биологической интенсификации кормопроизводства // Кормопроизводство. 2005. № 6. С. 2–5.

6. Чекмарёв П.А., Артюхов А.И., Юмашев Н.П., Яговенко Л.Л. Роль люпина в формировании плодородия почвы // Достижения науки и техники в АПК. 2011. № 10. С. 17–20.

7. Такунов И.П., Яговенко Л.Л. Удобрение кормовых люпинов // Агрохимия. 1996. № 2. С. 107–120.

8. Агеева П.А., Матюхина М.В., Почутин Н.А., Громова О.М. Результаты и перспективы селекции сидеральных сортов узколистного люпина во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2 (34). С. 59–63. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11170

9. Наумкин В.Н., Наумкин Л.А., Куренская О.Ю., Лукашевич М.И., Агеева П.А. Оценка сортов люпина по урожайности и качеству семян, адаптивности и устойчивости растений к засухе // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 1. С. 132–141.

10. Шаповал О.А., Можарова И.П., Коршунов А.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях // Защита и карантин растений. 2014. № 6. С. 16–20.

11. Рябчинская Т.А., Зиминая Т.В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // Агрохимия. 2017. № 12. С. 62–92. doi: 10.7868/S0002188117120092

12. Волобуева О.Г., Скоробогатова И.В., Шильникова В.К. Влияние биопрепарата Альбит на содержание фитогормонов в растениях фасоли разных сортов и эффективность симбиоза // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. № 1. С. 105–113.

13. Кислицына А.П., Попов Ф.А., Светлакова Е.А., Софронова А.Ю. Оценка сортов люпина узколистного по урожайности и адаптивности в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 2. С. 267–275. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.267-275

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

15. Lichtenthaler H., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Curr. Protoc. Food Anal. Chem. 2001. V. 1. No. 1. P. F4.2.1–F4.2.6. doi: 10.1002/0471142913.faf0403s01

16. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 445 с.

17. Головкин Т.К., Далькэ И.В., Бачаров Д.С. Мезоструктура и активность фотосинтетического аппарата трёх видов растений сем. *Crassulaceae* в холодном климате // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 5. С. 671–680.

18. Никитишен В.И., Терехова Л.М., Личко В.И. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания // Агрохимия. 2007. № 8. С. 35–43.

19. Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 843–855. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

20. Кононов А.С., Шкотова О.Н., Шугаев А.В. К вопросу о влиянии азота, биопрепаратов, молибдена, бора и янтарной кислоты на эффективность физиологических процессов одновидовых и бобово-злаковых агроценозов // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. 2014. № 1 (5). С. 56–65.

21. Титова М.С., Розломий Н.Г. Динамика фотосинтезирующей активности хвои *Picea ajanensis* и *Picea Smithiana* в условиях зелёной зоны г. Уссурийска // Живые и биокосные системы. 2015. № 12. Статья 4. doi: 10.18522/2308-9709-2015-12-4

22. Лебедева Т.С., Сытник К.М. Пигменты растительного мира. Киев: Наукова думка, 1986. 83 с.

23. Яговенко Л.Л., Мисникова Н.В., Яговенко Г.Л. Зависимость между метеорологическими условиями вегетационного периода и количеством и качеством урожая семян люпина узколистного в севооборотах // Кормопроизводство. 2012. № 5. С. 13–16.

24. Химия и биохимия бобовых растений / Под ред. М.Н. Запрометова. М.: Агропромиздат, 1986. 336 с.

25. Головина Е.В., Беляева Р.В. Симбиотическая деятельность и формирование урожая люпина узколистного и сои в контрастных погодных условиях // Земледелие. 2022. № 6. С. 31–36. doi: 10.24412/0044-3913-2022-6-31-36

References

1. Artyukhov A.L., Podobelov A.V. Lupine is the important part of strategy for Russia's self-provision with complementary protein // Kormoproizvodstvo. 2012. No. 5. P. 3–4 (in Russian).

2. Kosolapov V.M., Fitsev A.I., Gaganov A.P., Mamaeva M.V. Pea, lupine, vetch, beans: their value and using in

feeding of farm animals. Moskva: Ugreshskaya tipografiya, 2009. 373 p. (in Russian).

3. Ageeva P.A., Pochutina N.A., Matyukhina M.V. Blue lupine – source of valuable nutrients in forage production // *Kormoproizvodstvo*. 2020. No. 10. P. 29–33 (in Russian). doi: 10.25685/krm.2020.11.40.001

4. Fedorova Z.N. Energy-protein concentrate based on extruded lupine for extingual soy in the feeding of calves // *Legumes and groat crops*. 2019. No. 4. P. 142–148 (in Russian). doi: 10.24411/2309-348X-2019-11146

5. Takunov I.P. Lupine is an effective means of biological intensification of forage production // *Kormoproizvodstvo*. 2005. No. 6. P. 2–5 (in Russian).

6. Chekmarev P.A., Artyukhov A.I., Yumashev N.P., Yagovenko L.L. Role of lupine in soil fertility formation // *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2011. No. 10. P. 17–20 (in Russian).

7. Takunov I.P., Yagovenko L.L. Fertilization of forage lupines // *Agrokhimia*. 1996. No. 2. P. 107–120 (in Russian).

8. Ageeva P.A., Matyukhina M.V., Pochutina N.A., Gromova O.M. Results and outlook of breeding of sideral narrow-leaved lupin varieties in the Russian Lupin research institute // *Legumes and groat crops*. 2020. No. 2 (34). P. 59–63. (in Russian). doi: 10.24411/2309-348X-2020-11170

9. Naumkin V.N., Naumkin L.A., Kurenskaya O.Y., Lukashevich M.I., Ageeva P.A. Evaluation of lupine varieties for yield and seed quality, adaptability and plant resistance to drought // *Innovations in Agricultural complex: problems and perspectives*. 2019. No. 1. P. 132–141 (in Russian).

10. Shapoval O.A., Mozharova I.P., Korshunov A.A. Plant growth regulators in agrotechnologies // *Plant protection and quarantine*. 2014. No. 6. P. 16–20 (in Russian).

11. Ryabchinskaya T.A., Zimina T.V. Regulators of plant growth and development in modern technologies of crop production // *Agrokhimia*. 2017. No. 12. P. 62–92 (in Russian). doi: 10.7868/S0002188117120092

12. Volobueva O.G., Skorobogatova I.V., Shilnikova V.K. Effect of the Albit biopreparation on the phytohormones content in bean plants of different varieties and the effectiveness of symbiosis // *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2010. No. 2. P. 105–113 (in Russian).

13. Kislitsyna A.P., Popov F.A., Svetlakova E.A., Sofronova A.Yu. The assessment of blue lupine varieties according to productivity and adaptability in the conditions of Kirov region // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023. V. 24. No. 2. P. 267–275 (in Russian). doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.267-275

14. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment. Moskva: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).

15. Lichtenthaler H., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoides: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // *Curr. Protoc. Food Anal. Chem.* 2001. V. 1. No. 1. P. F4.2.1–F4.2.6. doi: 10.1002/0471142913.faf0403s01

16. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods of studying the physical properties of soils. Moskva: Agropromizdat, 1986. 415 p. (in Russian).

17. Golovko T.K., Dalke I.V., Bacharov D.S. Mesostucture and activity of photosynthetic apparatus of three Crassulacean species grown in cold climate // *Plant Physiology*. 2008. V. 55. No. 5. P. 671–680 (in Russian).

18. Nikitishen V.I., Terekhova L.M., Lichko V.I. Formation of the assimilation apparatus and photosynthesis productivity of plants in various conditions of mineral nutrition // *Agrokhimia*. 2007. No. 8. P. 35–43 (in Russian).

19. Tyutereva E.V., Dmitrieva V.A., Voitsekhovskaja O.V. Chlorophyll *b* as a source of signals steering plant development (review) // *Agricultural Biology*. 2017. V. 52. No. 5. P. 843–855 (in Russian). doi: 10.15389/agrobiol.2017.5.843rus

20. Kononov A.S., Shkotova O.N., Shugaev A.V. To the question about influence of nitrogen, biological products, molybdenum, boron and succinic acid on the efficiency of physiological processes in single-species and legume-cereal agrocenoses // *Yearbook of the Research Institute of Fundamental and Applied Research*. 2014. No. 1 (5). P. 56–65 (in Russian).

21. Titova M.S., Rozlomi N.G. Features photosynthesizing activity in needles *Picea ajanensis* and *Picea Smithiana* in the town forests in Ussuriisk // *Live and biobiotic systems*. 2015. No. 12. Article No. 4 (in Russian). doi: 10.18522/2308-9709-2015-12-4

22. Lebedeva T.S., Sytnik K.M. Pigments of the plant world. Kiev: Naukova Dumka. 1986. 83 p.

23. Yagovenko L.L., Misnikova N.V., Yagovenko G.L. Dependence between meteorological conditions of vegetation period and narrow-leaved lupine seed yield quantity and quality in crop rotations // *Kormoproizvodstvo*. 2012. No. 5. P. 13–16 (in Russian).

24. Chemistry and biochemistry of legumes / Ed. M.N. Zaprometov. Moskva: Agropromizdat, 1986. 336 p. (in Russian)

25. Golovina E.V., Belyaeva R.V. Symbiotic activity and crop formation in blue lupine and soybeans under contrasting weather conditions // *Agriculture*. 2022. No. 6. P. 31–36 (in Russian). doi: 10.24412/0044-3913-2022-6-31-36