

DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-104-114

УДК 633.367/631.8

ЗЕРНОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМ ВЫСЕВА, УДОБРЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ ПРИ РАЗНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ В ЦЕНТРЕ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

В.В. КОНОНЧУК, доктор сельскохозяйственных наук
С.М. ТИМОШЕНКО, Т.О. НАЗАРОВА, В.Д. ШТЫРХУНОВ, кандидаты
сельскохозяйственных наук
Д.Н. НИКИТОЧКИН, доктор сельскохозяйственных наук
А.Ю. ШУРКИН*, З.М. КОЛОТИЛИНА*

ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «НЕМЧИНОВКА»
*КОРПОРАЦИЯ «АВГУСТ»

Пятилетними исследованиями в краткосрочном полевом опыте на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья с обеспеченностью пахотного (0-20 см) слоя подвижным фосфором и калием на уровне 4-5 класса по принятым градациям выявлены особенности формирования продуктивности и N_2 – фиксирующей способности одновидового посева люпина узколистного детерминантного сорта Ладный в зависимости от агротехнических факторов при разных метеорологических условиях вегетационных периодов и установлены оптимальные значения норм высева, доз и сочетания удобрений, гербицидной защиты для получения на фоне применения ростостимуляторов с антистрессовым эффектом (Гумистим Zn, B) 3,5-3,7 т/га зерна с накоплением в нем биологического азота (в % от общего) 56-75 в благоприятные и 36 в неблагоприятные по увлажнению годы. Наиболее эффективная защита культуры от сорного компонента обеспечивалась использованием комплекса препаратов концерна «Август» (Камелот СЭ, 3,0 л/га, Миура 0,6 л/га) после посева и по вегетации соответственно.

Ключевые слова: почва, люпин узколистный, азотфиксация, урожайность, защита растений, удобрения, норма высева, дерново-подзолистая почва.

GRAIN PRODUCTIVITY AND NITROGEN-FIXING CAPACITY OF LUPINE NARROW-LEAF DEPENDING ON SEEDING RATES, FERTILIZERS AND APPLICATION OF HERBICIDES UNDER DIFFERENT WEATHER CONDITIONS IN THE CENTER OF THE NON-BLACK EARTH ZONE OF RUSSIA

V.V. Kononchuk, S.M. Timoshenko, T.O. Nazarova, V.D. Shtyrkhunov, D.N. Nikitochkin, A.Yu. Shurkin*, Z.M. Kolotilina *

FGBNU FEDERAL RESEARCH CENTER «NEMCHINOVKA»
CORPORATION «AUGUST» *

***Abstract:** Five-year studies in a short-term field experiment on a medium-loamy soddy-podzolic soil of the Central Non-Chernozem region with the provision of arable (0-20 cm) layer with mobile phosphorus and potassium at the level of 4-5 classes according to the accepted gradations revealed the features of the formation of productivity and N_2 – the fixing ability of a narrow-leaved sowing lupine determinant variety Ladny, depending on agrotechnical factors under different meteorological conditions of growing seasons, and the optimal values of seeding rates, doses and combinations of fertilizers, herbicidal protection for obtaining against the background of the use of growth stimulants with an anti-stress effect (Gumistim Zn, B) 3.5-3.7 t/ha of grain with*

the accumulation of biological nitrogen (in% of the total) 56-75 in favorable and 36 in unfavorable years for moisture. The most effective protection of the crop from the weed component was provided by using a complex of preparations from the August concern (Kamelot SE, 3.0 l/ha, Miura 0.6 l/ha) after sowing and during the growing season, respectively.

Keywords: soil, narrow-leaved lupine, nitrogen fixation, productivity, plant protection, fertilizers, seeding rate, sod-podzolic soil.

Производство продукции животноводства в Нечерноземной зоне, как и во всей России находится в прямой зависимости от обеспеченности животных высококачественными объемистыми и концентрированными кормами.

Качество кормов, среди прочего, определяется оптимальным энерго-протеиновым соотношением, которое при современном состоянии кормопроизводства сдвинуто в сторону энергетической составляющей. Это обусловлено хроническим недополучением кормового белка вследствие низких площадей посева зернобобовых культур и многолетних бобовых трав, а также невысокой их урожайности [1].

Исправление ситуации видится в возрождении отечественного семеноводства зернобобовых культур, многолетних бобовых трав и на этой основе – существенном расширении посевных площадей, во внедрении в производство современных многолетних и однолетних мультитравосмесей с разным сроком биологического созревания компонентов, совершенствовании элементов технологий их возделывания, направленных в первую очередь на повышение урожайности, улучшение качественных показателей, экологичности и снижение затратности.

Из всех зернобобовых культур на территории региона наиболее распространены сорта гороха полевого и посевного. Технология их возделывания наиболее отработана по основным элементам. В тоже время, для такой перспективной в Центральном Нечерноземье и в более северных регионах культуры, как люпин узколистный, выгодно отличающийся от гороха существенно более высоким уровнем содержания сырого протеина (33-36%), еще предстоит большая и кропотливая работа по уточнению реакции его сортов на нормы высева, особенно – его детерминантной разновидности, на обеспеченность почвы и растений фосфором и калием, а также на необходимость применения азотного удобрения.

Вследствие отсутствия ветвления детерминантные сорта узколистного люпина не выдерживают конкуренции с сорным компонентом агроценоза. Поэтому необходима разработка и совершенствование приемов борьбы с сорняками в его посевах не только за счет использования агротехнических мер (севооборот, предшественник сплошного посева, разноглубинная обработка почвы), но и гербицидов [2, 3], особенно – современных, которые, как показывают результаты исследований последних лет [4], обеспечивают высокую эффективность и существенный рост урожайности без нанесения вреда экологии агрофитоценоза и прилегающих территорий.

Большой научный и практический интерес представляют также результаты обобщения научных материалов по поведению люпина и других зернобобовых культур в различных стрессовых ситуациях, например – их реакция на водный стресс (засуха или избыточное увлажнение). Отмечается [5, 6], что при этом заметно снижается активность бобово-ризобияльного симбиоза, растения переходят на автотрофный тип питания, затрачивая на это до двух недель. В результате снижается урожайность и качество зерна, удлиняется вегетационный период.

Необходимо разрабатывать, адаптировать к условиям региона и внедрять приемы помощи растениям по выходу их из стресса, например – путем обработки посевов ростостимулирующими препаратами с антистрессовым эффектом, содержащими макро- и микроэлементы в легкодоступной форме [7].

Цель настоящей работы – выявление реакции люпина узколистного сорта Ладный на нормы высева, внесение удобрений и разные уровни гербицидной защиты, их влияние на продуктивность и азотфиксирующую способность.

Материалы и методика исследований

Исследования проводили в 2016-2020 годах на опытном поле ФИЦ «Немчиновка», расположенного у деревни Кривошеино Новомосковского административного округа г. Москвы в серии краткосрочных полевых опытов по предшественнику яровые зерновые (пшеница яровая, ячмень). Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, с глубины 60 см подстилаемая суглинистой мореной. Пахотный слой (0-20 см) ее в разные годы характеризовался повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора и калия (4-5 группы обеспеченности по принятым градациям), рН_{KCl} варьировала в широком диапазоне – от 6,2-6,7 в 2016-2017 годах до 5,3-5,8 в 2019-2020 годах. Содержание гумуса не выходило за пределы 1,6-2,1%.

На протяжении всего периода исследований схема опыта включала два фона удобрённости РК и NPK. Дозы P₂O₅ в годы исследований варьировали от 30 кг/га до 100, K₂O – от 30 до 150 кг/га соответственно и поддерживали содержание подвижного фосфора и калия по методу Кирсанова в слое почвы 0-20 см в пределах 170-260 мг/кг (P₂O₅) и 140-200 мг/кг (K₂O). Доза азота в составе полного минерального удобрения составляла 50 кг/га и несколько превышала принятый на практике диапазон (30-45 кг/га N).

Нормы посева люпина в 2016-2017 годах составляли 1,2 и 1,4 млн./га, а с 2018 года изучали три возрастающих нормы 1,4; 1,6 и 1,8 млн./га на указанных фонах удобрения.

В процессе исследований использовали рекомендации, изложенные в руководствах «Опытное дело в полеводстве» (Никитенко, 1982), «Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (Федин, 1988), «Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных» (Доспехов, 1985). Агрохимические анализы почвы и растений выполняли в аккредитованной лаборатории массовых анализов института по методикам и ГОСТам, принятым в Агрохимической службе. Азотфиксирующую способность люпина устанавливали по методу сравнения (Трепачев, 1999). В качестве культуры сравнения использовали яровую пшеницу Лиза (2016-2018 г.г.), Злата (2019 г.) и Агата (2020 г.) с нормой посева 6,0 млн./га всхожих семян.

Повторность в опытах по вариантам удобрения и нормам посева четырехкратная. Общая площадь делянки первого порядка 576 м², второго – 288 м², третьего – 96 м².

В течение вегетации отмечали даты наступления основных фаз развития растений люпина и яровой пшеницы. При появлении единичных цветков люпина (колошение-цветение яровой пшеницы) учитывали накопление сухого вещества и общего азота в нем. По наступлении полной спелости зерна (1-3 декады августа) урожайность учитывали поделочно прямым комбайнированием с использованием селекционного комбайна «Wintersteiger».

Засоренность посевов учитывали количественно-весовым методом в 2018-2020 годах в двух несмежных повторениях с двух площадок на делянке по 0,25 м² в период образования соцветий на всех вариантах без обработки и после применения гербицидов. В 2016-2017 годах по вегетации (2-3 пары настоящих листьев) противозлаковые гербициды использовали фоном на всех вариантах норм посева и удобрений без учета засоренности.

Технология возделывания люпина узколистного в допосевной период включала лущение стерни предшественника, внесение фосфорных и калийных удобрений согласно схеме опыта, вспашку плугом с предплужником и лепестковым отвалом для полного оборота пласта. Весной – ранневесеннее боронование поля с целью выравнивания поверхности, снижения испарения влаги с поверхности, культивация на 8-12 см, внесение азотных удобрений вручную и заделка их комплексным агрегатом РВК 3,6. Посев (Amazon D 9) 29 апреля – 8 мая протравленными (Фундазол 2 кг/т в 2016-2019 годах и ТМТД 3,0 л/т + Табу 0,8 л/т в 2020 году) семенами. За сутки до посева семена люпина обрабатывали 5% раствором молибденово-кислого аммония, а в день посева – активным штаммом N₂ - фиксирующих бактерий производства ВНИИСХМ (г. Пушкин, Ленинградской обл.).

Система защиты растений люпина от вредителей, болезней и сорняков заключалась в однократной обработке посевов в фазе 2-3 пар настоящих листьев баковой смесью из

гербицида Дясои 0,5 л/га (2016 г.), Пивот 0,45 л/га (2017), фунгицида Колосаль Про 0,6 л/га и инсектицида Данадим 0,7 л/га. Поскольку противозлаковые гербициды не справлялись с подавлением сорной растительности, в 2018-2019 годах дополнительно использовали почвенные гербициды прометринового ряда – Гезагард 3,0 л/га (2018 г.) и Гонор 3,0 л/га (2019 г.), а по вегетации ту же систему, что и в предыдущие годы. В 2020 году, учитывая недостаточную эффективность применяемой гербицидной защиты растений на предыдущем этапе исследований, использовали предложенную концерном «Август» систему, разработанную специально для защиты люпина от сорняков и представленную в полевых условиях на «Дне люпина» в 2019 году (Воронежская обл.). Она включала использование почвенного гербицида нового поколения Камелот СЭ, 3,0 л/га на второй день после посева, а по вегетации – противозлакового гербицида Миура 0,6 л/га с добавлением фунгицида Колосаль Про и инсектицида Борей Нео 0,15 л/га. Внесение осуществлялось навесным штанговым опрыскивателем Amazone с шириной захвата 12 м и расходом рабочей жидкости 120 л/га.

Кроме того, в 2018-2020 годах производили двукратную обработку посевов ростостимуляторами с антистрессовым эффектом на основе гуматов, извлеченных из вермикомпоста с добавлением микроэлементов (Гумистим Zn, В), согласно рекомендации фирмы изготовителя, с целью оказания помощи растениям при выходе из стрессовых ситуаций, обусловленных метеорологическими условиями вегетационных периодов.

При средней многолетней величине гидротермического коэффициента (по Селянинову) за период активной вегетации люпина (май-август) 1,52 вегетационные периоды 2016, 2017, 2020 годов (60%) характеризовались высоким и избыточным увлажнением (ГТК 1,74-2,69), а в 2018-2019 годах – умеренной засушливостью (ГТК 1,00 и 0,92). Сумма осадков в первом случае варьировала в пределах 375-455 мм, во втором 189-220 мм при средней многолетней величине 293 мм. В 2016 и 2020 годах переувлажнение сопровождалось повышенным (+ 0,7–0,9°C) температурным режимом, а в 2017 году она была на 1,9°C ниже нормы (+15,1°C против +17,0°C). В засушливые годы также наблюдались «температурные качели». Если в 2018 году среднесуточная температура воздуха за вегетацию на 1,0°C превышала средний многолетний показатель, то в 2019 – была на 0,3°C ниже. Отмеченные особенности метеорологических условий вегетационных периодов люпина не могли не сказаться на азотфиксирующей способности растений, реакции их на изучаемые элементы агротехнологии и продуктивности.

Результаты исследований

Влияние норм высева люпина и удобрений на азотфиксирующую способность изучались нами на фоне гербицидной защиты.

Установлено, что среднегодовая за пятилетний период исследований урожайность сухой массы люпина в начале цветения составила 28,4 ц/га. В ней накапливалось в среднем по элементам технологии и погодным условиям 92 кг/га общего и 42 кг/га симбиотически связанного азота, а коэффициент N₂-фиксации составил 0,46. Это означает, что за указанный временной интервал доля биологического азота в урожае надземной биомассы составила 46%, азота почвы – 54%.

Условия увлажнения и среднесуточные температуры воздуха в течение активной вегетации люпина узколистного оказывали заметное влияние на его урожайность и азотфиксирующую способность. Так, при высоком и избыточном увлажнении (ГТК 1,74-2,69) уровень накопления сухой массы снизился до 22,4 ц/га или на 21% от среднего по опыту. Количество общего и биологического азота в ней составило в среднем 58 кг/га и 17 кг/га, а коэффициент N₂-фиксации – 0,29. То есть, в условиях избытка влаги в почве азотфиксирующая способность люпина узколистного уменьшилась на 37% от среднего показателя по опыту. Это обусловлено нарушением формирования и функционирования бобово-ризобиального комплекса вследствие недостатка кислорода в ризосфере бобовой культуры, где поровое пространство было перенасыщено влагой.

В условиях умеренной засушливости (ГТК 0,92-1,00) урожайность сухой массы, накопление в ней общего и фиксированного азота возрастали соответственно до 33,4 ц/га, 252,6 кг/га, 134,8 кг/га, а коэффициент N₂-фиксации увеличился до 0,53 или на 15% от средней по опыту и на 83% в сравнении с аналогичной величиной при избыточном увлажнении (табл. 1).

Несмотря на то, что люпин может обеспечивать сам себя фосфорно-калийным питанием за счет мобилизации фосфатов и калия почвы из мало доступных соединений вследствие растворяющего влияния корневых экссудатов, он активно растет и развивается также при повышенной и высокой обеспеченности пахотного слоя подвижными формами этих элементов.

Внесение среднегодовых доз P₂O₅ и K₂O на уровне 70 и 110 кг/га соответственно поддерживало содержание подвижного фосфора и калия в слое почвы 0-20 см в пределах высокой (P₂O₅) и повышенной (K₂O) обеспеченности. При этом сбор сухой массы на РК - фоне в среднем за 5 лет составил 23,3 ц/га с накоплением в ней 90,2 кг/га общего и 50,8 кг/га симбиотически связанного азота и коэффициенте N₂ – фиксации 0,56.

Предпосевное внесение N₅₀ на фосфорно-калийном фоне увеличивало урожайность до 29 ц/га, но слабо влияло на накопление в ней общего азота – 93,3 кг/га. В тоже время, количество фиксированного азота при этом снизилось до 33,4 кг/га, а коэффициент N₂-фиксации – до 0,36 или на 36% за счет ингибирующего влияния минерального азота на активность нитрогеназы. Это в очередной раз иллюстрирует известное положение об отсутствии необходимости внесения азота удобрений под бобовые культуры, в частности – под люпин при достаточной обеспеченности растений фосфорно-калийным питанием (табл. 1).

Таблица 1

Азотфиксирующая способность люпина узколистного в зависимости от элементов технологии в разных метеорологических условиях

Культура	Показатели	Дозы удобрений, кг/га *)	Норма высева, млн./га	Годы					
				2016	2017	2018	2019	2020	
				гидротермический коэффициент					
				1,74	2,02	1,00	0,92	2,69	
Пшеница яровая	сбор сухой массы, ц/га	P ₇₀ K ₁₁₀	6,0	35,0	31,6	30,5	54,5	29,7	
		N ₅₀ P ₇₀ K ₁₁₀		48,0	73,4	44,5	78,2	34,4	
	азот в урожае, кг/га	P ₇₀ K ₁₁₀		47	41	43	40	33,0	
		N ₅₀ P ₇₀ K ₁₁₀		60	120	64	95	37	
Люпин узколистный	сбор сухой массы, ц/га	P ₇₀ K ₁₁₀	1,4**)	20,0	23,1	33,4	26,2	17,2	
			1,6	-	-	41,8	33,0	16,7	
			1,8	-	-	38,4	35,1	17,7	
			1,4	45,0	28,6	34,4	20,2	15,1	
			1,6	-	-	37,6	33,0	20,4	
			1,8	-	-	38,6	29,0	20,3	
		N ₅₀ P ₇₀ K ₁₁₀	1,4	75	52	138	91	42	
			1,6	-	-	174	107	38	
			1,8	-	-	165	104	46	
			1,4	151	57	136	76	33	
			1,6	-	-	160	111	42	
			1,8	-	-	159	95	42	
	азот в урожае, кг/га	общий	P ₇₀ K ₁₁₀	1,4	28	11	95	51	9
				1,6	-	-	131	67	5
				1,8	-	-	122	64	13
			N ₅₀ P ₇₀ K ₁₁₀	1,4	91	0	72	0	0
				1,6	-	-	96	16	5
				1,8	-	-	95	0	5
		фиксированный	P ₇₀ K ₁₁₀	1,4	0,37	0,21	0,69	0,56	0,21
				1,6	-	-	0,75	0,63	0,13
				1,8	-	-	0,74	0,62	0,28
			N ₅₀ P ₇₀ K ₁₁₀	1,4	0,60	0	0,53	0	0
				1,6	-	-	0,60	0,14	0,12
				1,8	-	-	0,60	0	0,12

*) – в среднем за 5 лет; **) – в 2016 году 1,2 млн./га

Увеличение норм высева люпина от 1,4 млн/га до 1,6-1,8 млн/га оказывало слабое положительное влияние на урожайность сухой массы, накопление в ней общего и биологического азота, увеличивая величины рассматриваемых показателей в среднем по вариантам удобрения с 26,3 ц/га, 89,2 кг/га и 38,8 кг/га до 29,8-30,4 ц/га, 102,2-103,0 кг/га и до 58,8-59,2 кг/га соответственно без четкой связи с величинами норм высева. При этом размеры коэффициента N_2 – фиксации возрастали с 0,44 до 0,57-0,58 с максимумом при норме высева 1,6 млн/га (табл. 1).

Степень влияния удобрений на урожайность и азотфиксирующую способность зернобобовых культур, в том числе – и люпина узколистного находилась в тесной зависимости от складывающихся метеорологических условий вегетационного периода. При избыточном увлажнении урожайность сухой массы в фазе начала цветения в среднем за 3 года по фону РК составила 18,9 ц/га, в условиях умеренной засушливости возросла до 34,6 ц/га. Увеличилось также накопление общего и биологического азота в урожае соответственно с 57 кг/га и 13 кг/га до 130 и 88 кг/га, а коэффициент N_2 -фиксации – с 0,26 до 0,68 или более чем в 2,5 раза.

Азот в составе полного минерального удобрения в избыточно влажные годы оказывал небольшое положительное влияние на урожайность сухой массы и накопление в ней азота увеличивая их величины соответственно с 18,9 ц/га до 25,9 ц/га, с 57 кг/га до 65 кг/га ($N_{\text{общ.}}$) и с 13 кг/га до 20 кг/га ($N_{\text{фикс.}}$). При этом коэффициент N_2 -фиксации повысился от 0,26 до 0,31 или на 19%.

Улучшение соотношения влаги и воздуха в корнеобитаемом слое почвы под люпином при умеренной засушливости в сравнении с переувлажнением приводило к небольшому увеличению сбора сухой массы на фоне полного минерального удобрения в среднем с 27,7 ц/га до 32,1 ц/га (+16%). Однако при этом снижалось накопление в урожае фиксированного из атмосферы азота в среднем с 88 кг/га до 46 кг/га, а K_f – с 0,68 до 0,37 (- 46%) (табл. 1).

Следовательно, в неблагоприятных условиях увлажнения, обусловленных большим количеством осадков, азот в составе NPK является, в некоторой степени, стабилизирующим фактором для N_2 – фиксации. При умеренной засушливости азот удобрений оказывал отрицательное влияние на азотфиксирующую систему люпина и коэффициент N_2 -фиксации оставался низким, но все же был выше, чем при избыточном увлажнении (0,37 против 0,31).

Нами установлено также, что при ГТК за период активной вегетации 0,92-1,00 с увеличением нормы высева люпина с 1,4 млн/га до 1,6-1,8 млн/га сбор сухой массы возрастал в среднем по вариантам удобрения с 28,6 ц/га до 35,3-36,4 ц/га (+23-27%), а накопление азота в биомассе с 54 кг/га до 110-167 кг/га ($N_{\text{общ.}}$) и с 54 кг/га до 108-113 кг/га ($N_{\text{ф}}$), что приводило к росту коэффициента N_2 -фиксации с 0,49 до 0,67-0,68 с максимумом при норме высева 1,6 млн/га. В условиях переувлажнения также наблюдалось увеличение урожайности сухой массы с ростом норм высева, но в меньшей степени (+13-16%). В тоже время, накопление общего и фиксированного азота в биомассе уменьшалось с 68 кг/га до 38-44 кг/га и с 23 кг/га до 5-9 кг/га соответственно, а величины коэффициента N_2 – фиксации – с 0,34 до 0,13-0,20 без четкой связи с нормами высева (табл. 1).

Таким образом, наилучшие условия для азотфиксации люпином узколистным в годы исследований складывались при ГТК за вегетационный период 0,92-1,00, когда величина коэффициента N_2 -фиксации на фосфорно-калийном фоне достигала 0,56-0,75 с максимумом при норме высева 1,6 млн/га. Азот удобрений снижал его в среднем до 0,37 (- 44%).

Исследования по влиянию элементов агротехнологии на зерновую продуктивность детерминантного сорта люпина узколистного в одновидовом посеве проводились нами в 2018-2020 годах на двух фонах удобрений при трех нормах высева без гербицидной защиты и с ее использованием.

По данным количественно-весового учета сорного компонента (начало образования соцветий) его количество на свободном от гербицидов фоне изменялось в диапазоне 75-123 шт./м², а сырая масса – от 737 до 776 г/м² и в среднем составляли 103 шт./м² и 751 г/м². Применение в 2018-2019 годах системы защиты растений от сорняков с использованием

почвенных гербицидов прометринового ряда, а по вегетации – на основе имазетапира способствовало снижению количества сорной растительности в среднем со 118 шт./м² до 87 шт./м² или на 25%, а их массы с 756 г/м² до 473 г/м² или на 37%. В 2020 году применение системы защиты растений на основе современных гербицидов нового поколения концерна «Август» посев люпина узколистного удалось полностью очистить от сорняков и поддерживать его в таком состоянии до начала образования соцветий или в течение 2,5 месяцев. Вторая волна сорной растительности, представленная в основном однолетними злаковыми видами (куриное просо, щетинники), подавлялась опрыскиванием по вегетации противозлаковым гербицидом Миура. При этом в среднем за годы исследований эффективность гербицидной защиты люпина составила 50% по количеству и 58% по массе, в том числе в 2018-2019 годах 26% и 3% соответственно (табл. 2). Следует отметить, что предпосевное внесение азота в дозе 50 кг/га по фону РК способствовало росту численности сорного компонента в среднем с 94 шт./м² до 111 шт./м² или на 18%, а его массы с 598 г/м² до 904 г/м² или на 51%. Используемые нами системы защиты уменьшали количество сорняков на этом фоне в среднем на 59%, их массы – на 60%. При осеннем внесении РК – на 54% и 64% соответственно (табл. 2).

Следовательно, при указанной степени засоренности эффективность применения гербицидной защиты в опыте не зависела от фона удобренности и составляла 54-59% количеству и 60-64% по массе или в среднем по вариантам удобрения 56% и 62% соответственно (табл. 2).

Изучаемые нами нормы высева люпина узколистного без применения гербицидов оказывали влияние в большей степени на массу сорняков, снижая ее на 29%, в то время как их количество уменьшалось только на 2-3%. На фоне применения гербицидной защиты повышение норм высева от 1,4 млн/га до 1,6-1,8 млн/га сопровождалось уменьшением их количества на 5-26%, а их массы – только при норме высева 1,6 млн/га на 18%.

Наиболее значимое влияние совместного использования гербицидной защиты и норм высева семян люпина узколистного на количество сорного компонента проявлялось при посеве нормой 1,6 млн/га, где эффект взаимодействия факторов составил в среднем за 3 года исследований 48% против 45% по сумме отдельных эффектов. Это указывает на наличие слабого (+3%) синергизма при взаимодействии рассматриваемых факторов. Однако, по влиянию на массу сорной растительности подобной закономерности не проявлялось. Эффект взаимодействия составил при этом 68%, а сумма отдельных эффектов 73% (табл. 2). Поэтому, с учетом отмеченных закономерностей, главным условием уменьшения засоренности люпина узколистного в годы исследований следует считать применение гербицидов.

Среднегодовая (2018-2020 гг.) урожайность зерна изучаемого сорта люпина узколистного в среднем по опыту составила 2,78 т/га (1,86-3,24 т/га). Увеличение нормы высева культуры от 1,4 млн/га до 1,6-1,8 млн/га в среднем по факторам, кроме изучаемого способствовало тенденции роста урожайности от 2,66 т/га до 2,68-2,89 т/га. Наиболее выраженное положительное влияние этого элемента агротехнологии наблюдалось в относительно благоприятные по условиям увлажнения 2018-2019 годы, когда под влиянием этого фактора урожайность увеличилась с 2,75 т/га до 2,93-3,17 т/га (+7-15%).

Ухудшение условий формирования урожая в 2020 году выравнивало величины его до 2,48-2,56 т/га, что указывает на отсутствие влияния норм высева на урожайность (табл. 3).

Азот удобрений в целом уменьшал зерновую продуктивность люпина в среднем на 6% от среднегодового (2018-2020) урожая на фосфорно-калийном фоне. Его отрицательное влияние с наибольшей выраженностью проявилось при ГТК 0,92-1,00, когда урожайность достоверно снижалась в среднем с 3,10 т/га до 2,74 т/га или на 0,36 т/га (12%). В тоже время, в неблагоприятных условиях увлажнения 2020 года урожайность зерна под влиянием предпосевного внесения 50 кг/га азота на фоне РК проявляла тенденцию к увеличению с 2,42 т/га до 2,61 т/га или на 8%, что согласуется со степенью и направленностью воздействия его на азотфиксацию (табл. 3).

Таблица 2

Засоренность люпина узколистного в зависимости от элементов технологии возделывания и применения гербицидов при разных погодных условиях

Вариант удобрения *)	Нормы высева, млн./га	2018			2019			2020			Снижение засоренности, %								
		Гидротермический коэффициент												2018		2019		2020	
		1,00			0,92			2,69											
		Сорный компонент												по количеству	по массе	по количеству	по массе	по количеству	по массе
		Кол.-во, шт./м ²		Масса, г/м ²		Кол.-во, шт./м ²		Масса, г/м ²		Кол.-во, шт./м ²		Масса, г/м ²							
		Использование гербицида (-, +)														по количеству	по массе	по количеству	по массе
-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+						
P ₅₀ K ₆₀	1,4	76	36	424	200	92	87	440	320	50	0	800	0	53	53	6	27	100	100
	1,6	144	132	600	480	76	58	660	380	41	0	600	0	8	20	24	42	100	100
	1,8	156	81	630	480	98	71	700	410	114	0	528	0	48	24	28	41	100	100
N ₅₀ P ₅₀ K ₆₀	1,4	188	128	1360	800	163	130	1000	700	81	0	1200	0	32	41	20	30	100	100
	1,6	112	64	640	440	116	104	760	350	79	0	440	0	43	31	10	54	100	100
	1,8	64	44	1000	680	127	106	860	440	84	0	880	0	31	32	16	49	100	100
В среднем по опыту		123	81	776	513	112	93	737320	433	75	0	741	0	34	34	17	41	100	100

*) – среднегодовые дозы за 2018-2020 г.г.

Таблица 3

Урожайность зерна люпина узколистного в зависимости от удобрений, норм высева и применения гербицидов при разных погодных условиях, т/га

Дозы удобрений, кг/га Фактор А	Нормы высева, млн./га Фактор В	2018 г				2019 г				2020 г.					
		Гидротермический коэффициент													
		1,00				0,92				2,69					
		Использование гербицидов (-, +), фактор С													
		-	+	прибавка от гербицидов		-	+	прибавка от гербицидов		-	+	прибавка от гербицидов			
		т/га	%			т/га	%			т/га	%				
P ₅₀ K ₆₀	1,4	2,82	2,83	-	-	2,61	3,31	0,70	27	1,96	2,64	0,68	35		
	1,6	2,67	3,49	0,82	31	2,81	3,44	0,63	22	2,06	2,88	0,82	40		
	1,8	3,28	3,64	0,36	11	2,76	3,49	0,73	26	1,89	3,08	1,19	63		
N ₅₀ P ₅₀ K ₆₀	1,4	2,62	2,73	0,11	4	2,40	2,65	0,25	10	1,76	3,56	1,80	102		
	1,6	2,57	2,99	0,42	16	2,23	2,98	0,75	34	1,86	3,46	1,60	86		
	1,8	2,93	2,83	-0,10	-3	2,43	3,55	1,12	46	1,64	3,38	1,74	106		
HCP _{0,05} , т/га А=		0,20				0,26				0,39					
В=		0,20				0,32				0,47					
С=		0,28				0,40				0,67					
АВ=		0,28				0,45				0,49					
АС=		0,24				0,45				0,49					
ВС=		0,22				0,48				0,50					
АВС=		0,36				0,55				0,69					

Как в отдельные годы, так и в среднем за трехлетний период исследований, наиболее значимым фактором, определяющим величину урожайности зерна изучаемой разновидности узколистного люпина, было применение гербицидной защиты. Если без гербицидов средняя урожайность зерна в опыте составляла 2,32 т/га, то при их применении – 3,16 т/га или на 36% выше. Эффективность гербицидов в годы исследований в большей степени проявлялась при избыточном увлажнении и использовании современных препаратов нового поколения, когда урожайность зерна под их влиянием увеличивалась в среднем с 1,97 т/га до 3,17 т/га или на 61%. В более благоприятных условиях увлажнения (2018-2019 г.г.) их воздействие на урожайность было менее выраженным. Прибавка в среднем за два года составила 18%, а урожайность при этом возрастала с 2,68 т/га до 3,16 т/га (табл. 3). Впрочем, невысокая эффективность избранной в эти годы системы защиты растений от сорного компонента агрофитоценоза могла быть обусловлена так же и не вполне оптимальным выбором препаратов.

Обобщение результатов наших исследований свидетельствует о том, что максимальная урожайность зерна, равная 3,49-3,64 т/га формировалась без внесения азота на фосфорно-калийном фоне по среднегодовым за 2018-2020 гг. дозам $P_{50}K_{60}$ при норме высева 1,8 млн/га и использовании гербицидной обработки как после посева, так и по вегетации. При формировании урожайности зерна такого же уровня 3,56 т/га в условиях избыточного увлажнения, норма высева составила 1,4 млн/га, но по фону гербицидной защиты потребовалось дополнительное внесение 50 кг/га азота перед посевом (табл. 3)

Таким образом, в среднем за годы исследований по эффективности воздействия на азотфиксирующую способность и зерновую продуктивность люпина узколистного детерминантной разновидности изучаемые элементы агротехнологии располагались в следующем убывающем ряду: гербицидная защита, нормы высева, применение удобрений. Обеспеченность корнеобитаемого слоя (0-20 см) дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в первую половину вегетации этой культуры подвижным фосфором и калием на уровне 4-5 классов по принятым градам следует считать оптимальным для достигнутой максимальной урожайности зерна при достаточном уровне увлажнения и гербицидной защиты. При этом дозы соответствующих удобрений в основное внесение следует рассчитывать с учетом полного восполнения выноса планируемой урожайностью.

Заключение

По результатам исследований (2016-2020 гг.) основным условием успешного возделывания детерминантного сорта люпина узколистного Ладный в одновидовом посеве на среднесуглинистых дерново- подзолистых почвах Центрального Нечерноземья с повышенной и высокой обеспеченностью подвижным фосфором и калием является строгое соблюдение следующих элементов технологии: протравливание семян современными протравителями с инсектицидными свойствами, предпосевная обработка семян 5–10 % раствором молибденово-кислого аммония и активным штаммом N_2 - фиксирующих бактерий заводского производства при выращивании его в первые 3 года на полях, где он никогда не высевался. Поддерживание содержания подвижного фосфора и калия в почве в диапазоне 150-200 мг/кг соответственно внесением фосфорно-калийных удобрений, посев нормами высева не ниже 1,6-1,8 млн/га; применение комплекса агротехнических и химических мер борьбы с сорным компонентом агрофитоценоза с использованием системы почвенных и по вегетации гербицидов нового поколения, разработанных специально для использования по люпину. Применение азотного удобрения стартовыми дозами не более 50 кг/га только в условиях ингибирования активной азотфиксации (засуха, избыточное увлажнение, низкие температуры в начале вегетации). При этом во второй половине вегетации стимуляция ростовых процессов растений и созревания зерна обеспечивается некорневым внесением ростостимулирующих препаратов с антистрессовым эффектом и добавлением макро - и микроэлементов (Zn, B), а при необходимости – использование десикантов.

Усовершенствованная нами технология обеспечивала получение 3,5-3,7 т/га зерна в благоприятные по увлажнению годы по фону РК с коэффициентом N₂-фиксации в период максимума 0,56-0,75, в неблагоприятные – по фону НРК в среднем 0,36 и такой же уровень урожайности.

Литература

1. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2018. – № 2. (26). – С. 4-10. DOI:10.24414/2309-348X-2018-10008.
2. Близняк В.В. Влияние гербицидов на засоренность, физиологические параметры и урожайность детерминантных сортов узколистного люпина в условиях Центральных районов Нечерноземной зоны // Автореф. дис... канд. с.-х. наук / Немчиновка. – 2008. – 216 с.
3. Русаков Д.В. Продуктивность и азотфиксирующая способность люпина узколистного в зависимости от применяемых гербицидов в Северо-Западном регионе России // Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Немчиновка. – 2008. – 22 с.
4. Краснояров А.Г., Чекстер Н.Ю., Проворова О.Н., Крылова Т.С. Агроэкологическая оценка применения новых гербицидов на зернобобовых культурах в Калининградской области // *Многофункциональное и адаптивное кормопроизводство / Сб. научных трудов*. – М. – 2017. – С. 81-87.
5. Лапушкина А.А. Влияние селена и кремния на устойчивость ячменя и гороха к неблагоприятным внешним условиям // Автореф. дис.. канд. биол. наук. – М. – 2020. – 24 с.
6. Демьянова – Рой Г.Б., Борцова Е.Б. Влияние состава микроудобрений и препаратов направленного действия на элементы структуры урожайности, урожайность сортов сои в условиях Северо-Западного региона // *Естественные и технические науки*. – 2012. - № 5. - С. 159-164.
7. Радкевич М.А. Агрономическая, энергетическая и экономическая оценка условий питания при возделывании люпина узколистного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Вестник Белорусской сельскохозяйственной академии*. – 2020. - № 2. – С. 96-100.

References

1. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation. *Zernobobovyye i krupyanye kul'tury*, 2018, no. 2, pp. 4-10.
2. Bliznyuk V.V. Influence of herbicides on weediness, physiological parameters and productivity of determinant varieties of narrow-leaved lupine in the conditions of the Central regions of the Non-Chernozem zone. Avtoref. dis. ... Cand. s.-kh. sciences. Nemchinovka, 2008, 216 p.
3. Rusakov D.V. Productivity and nitrogen-fixing ability of angustifolia lupine depending on the herbicides used in the North-West region of Russia. Abstract of the thesis. dis. ... Cand. s.-kh. sciences. Nemchinovka, 2008, 22 p.
4. Krasnoyarov A.G., Chekster N.Yu., Provorova O.N., Krylova T.S. Agroecological assessment of the use of new herbicides on leguminous crops in the Kaliningrad region. Multifunctional and adaptive forage production. Coll. scientific. Proceedings, Moscow, 2017, pp. 81-87.
5. Lapushkina A.A. The influence of selenium and silicon on the resistance of barley and pea to unfavorable external conditions. Abstract of the thesis. diss. ... Cand. biol. sciences, Moscow, 2020, 24 p.
6. Demyanova - Roy G.B., Bortsova E.B. Influence of the composition of microfertilizers and targeted drugs on the elements of the structure of yield, yield of soybean varieties in the North-Western region. *Natural and technical sciences*, 2012, no. 5, pp. 159-164.
7. Radkevich M.A. Agronomic, energy and economic assessment of nutritional conditions during the cultivation of narrow-leaved lupine on sod-podzolic light loamy soil. *Bulletin of the Belarusian Agricultural Academy*, 2020, no. 2, pp. 96-100.