

УДК 633.367/631.8

УДОБРЕНИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЮПИНО-ПШЕНИЧНОЙ СМЕСИ НА СЕНАЖ И ЗЕРНО ПРИ РАЗНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

В.В. КОНОНЧУК, доктор с.-х. наук, E-mail: vadimkononchuk@yandex.ru
С.М. ТИМОШЕНКО, В.Д. ШТЫРХУНОВ, Т.О. НАЗАРОВА, Е.А. ТУЛИНОВА,
кандидаты сельскохозяйственных наук
В.Ф. КИРДИН, доктор сельскохозяйственных наук
О.А. ЩУКЛИНА*, **П.М. КОНОРЕВ***, кандидаты сельскохозяйственных наук

ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «НЕМЧИНОВКА»
* ФГБУН ГЛАВНЫЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД ИМЕНИ Н.В. ЦИЦИНА РАН

Для удовлетворения возрастающих потребностей животноводства Центрального Нечерноземья в высококачественных объемистых и концентрированных кормах, сбалансированных по протеину и энергии, в условиях изменяющегося климата рекомендуется расширение видового разнообразия сеяных однолетних агрофитоценозов за счет включения в состав наряду с горохо- и вико-злаковыми смесями также и смесей с участием люпина узколистного детерминантного типа, в том числе и с пшеницей яровой мягкой.

На средне-окультуренной среднесуглинистой дерново-подзолистой почве, в достаточной степени (IV-V класс) обеспеченной фосфорно-калийным питанием, высокая урожайность ее сухой сенажной массы 8-12 т/га и зерна до 4,5 т/га с долей бобового компонента 38-62% и 48-73% создавалась в условиях нормального увлажнения или умеренной засушливости, с внесением до посева соответственно N₅₀P₆₀K₆₀ и P₆₀K₆₀. Доля фиксированного из атмосферы азота при этом составляла в среднем 34% и 51%, а питательность кормов соответствовала требованиям стандарта на 1-3 классы качества.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, Нечерноземная зона, люпин, смешанный посев, удобрение, продуктивность.

Для цитирования: Конончук В.В., Тимошенко С.М., Штырхунув В.Д., Назарова Т.О., Тулинова Е.А., Кирдин В.Ф., Щуклина О.А., Конорев П.М. Удобрение и продуктивность люпино-пшеничной смеси на сенаж и зерно при разных метеорологических условиях в Центральном Нечерноземье. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 1(49):87-96. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-1-87-96

FERTILIZER AND PRODUCTIVITY OF LUPIN-WHEAT MIXTURE FOR HAYLAGE AND GRAIN UNDER DIFFERENT METEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

**V.V. Kononchuk, S.M. Timoshenko, V.D. Shtyrkhunov, T.O. Nazarova,
E.A. Tulinova, V.F. Kirdin, O.A. Shchukina*, P.M. Konorev***

FSBSI FEDERAL RESEARCH CENTER «NEMCHINOVKA»
* FSBIS N.V. TSITSIN MAIN BOTANICAL GARDEN OF THE RAS

Abstract: *In order to meet the increasing needs of livestock farming in the Central Non-Chernozem region in high-quality voluminous and concentrated feeds balanced in protein and energy, in a changing climate, it is recommended to expand the species diversity of annual agrophytocenoses by including in the composition, along with pea and vetch-cereal mixtures,*

mixtures with the participation of narrow-leaved lupine determinant type, including soft spring wheat.

On medium-cultivated medium loamy sod-podzolic soil sufficiently (IV-V class) provided with phosphorus-potassium nutrition, high yields of its dry haylage weight of 8-12 t/ha and grain up to 4.5 t/ha with a share of the legume component of 38-62% and 48-73% were created in conditions of normal moisture or moderate aridity, with the introduction of up to The crops are respectively $N_{50}P_{60}K_{60}$ and $P_{60}K_{60}$. The proportion of nitrogen fixed from the atmosphere averaged 34% and 51%, and the nutritional value of the feed met the requirements of the standard for 1-3 quality classes.

Keywords: sod-podzolic soil, Non-Chernozem zone, lupin, mixed sowing, fertilizer, productivity.

Введение

В настоящее время в полевом кормопроизводстве Центрального Нечерноземья зернобобовые культуры представлены главным образом чистыми и смешанными посевами гороха. По данным статистики в 2022 году площадь его посевов составляла 106 тыс. га. Соя на зерно занимала значительно большие площади (314 тыс. га). Из-за ее высокой маржинальности она выращивалась в основном на экспорт. При этом урожайность гороха составляла 26,5 ц/га, сои – только 11,3 ц/га [1, 2].

Известно [3-5], что наиболее высокая продуктивность гороха и его смесей с яровыми зерновыми культурами, выращиваемых на зеленую, сенажную массу и зерно, на региональном уровне обеспечивается при нормальном и высоком увлажнении. Недостаток влаги и повышенный температурный режим в течение вегетации заметно снижает их продуктивность. Поэтому для повышения урожайности и стабилизации на более высоком уровне производства высокобелковых и сбалансированных по протеину и энергии объемистых и концентрированных кормов на фоне глобальных климатических изменений требуется расширение биологического разнообразия полевых агрофитоценозов за счет увеличения площади посевов видов и сортов зернобобовых культур, приспособленных к недостаточному увлажнению. Такой культурой в Центральном Нечерноземье может стать люпин узколистный. Его площади посева вместе с яровой викой здесь составляют только 28,8 тыс. га при урожайности зерна около 19 ц/га. Современные сорта люпина узколистного детерминантного типа скороспелые (75-85 дней), с нерастрескивающимися бобами, за счет корневой системы стержневого типа способны доставать и эффективно использовать влагу из глубоких почвенных слоев, что позволяет ему успешно противостоять засушливым явлениям.

Распространение узколистного люпина в областях Центрального Нечерноземья сдерживается несколькими причинами: во-первых – низким спросом на высокобелковую продукцию вследствие медленного восстановления молочного стада, как основного ее потребителя, во-вторых – отсутствием промышленного элитного семеноводства, разрушенного в 90-е годы, и в-третьих – слабой проработкой элементов агротехнологии. В частности, до настоящего времени остается дискуссионным вопрос о необходимости использования «стартовых» доз азота удобрения для помощи растениям в формировании бобово-ризобиального симбиоза на ранних этапах его образования, особенно в условиях водного, температурного или пестицидного стресса [6-8].

Цель исследования – выявление эффективности доз и сочетания минеральных удобрений при выращивании люпино-пшеничной смеси на сенаж и зерно на дерново-подзолистой почве Центральной Нечерноземной зоны России в разных метеорологических условиях вегетационного периода.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2017-2020 и 2023 годах на опытном поле ФИЦ «Немчиновка» в серии краткосрочных полевых опытов. Оценка питательности получаемой кормовой продукции проводилась специалистами ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, с глубины 60-80 см подстилаемая суглинистой мореной. После уборки предшественника (яровые зерновые) в пахотном (0-20 см) слое содержалось подвижного фосфора и калия 150-300 мг/кг и 130-220 мг/кг соответственно P₂O₅ и K₂O, величины рН_{KCl} в разные годы варьировали от 6,5-6,7 до 4,7-5,6, постепенно снижаясь от начала к концу исследований. Уровень гидролитической кислотности не превышал 3,0 мг-экв/100 г и не лимитировал величину урожайности. Содержание гумуса варьировало в диапазоне, характерном для среднекультуренных почв – от 1,5-1,7% до 1,8-2,1% (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почвы. Слой 0-20 см

Год	Показатели				
	рН _{KCl}	Нг, мг-экв/100 г	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
				(по Кирсанову мг/кг)	
2017	6,5-6,7	0,72-1,35	1,5-1,7	200-220	155-200
2018	5,7-6,7	1,40-1,90	1,6-1,8	165-240	140-180
2019	5,3-6,7	0,94-2,62	1,5-1,7	160-300	130-220
2020	5,3-5,8	2,50-2,70	1,8-2,1	190-220	130-180
2023	4,7-5,6	1,51-2,87	1,6-2,0	150-240	120-180

По метеорологическим условиям вегетационного периода (01.05-20.07 при выращивании на сенаж, 01.05-20.08 – при выращивании на зерно) годы исследований имели заметные отличия от средних многолетних. Судя по величине гидротермического коэффициента по Селянинову (ГТК) в первом случае два года из пяти (2017 г. и 2020 г.) выделялись избыточным увлажнением, два года (2018 г. и 2023 г.) были близки к среднему многолетнему показателю и один год (2019 г.) характеризовался умеренной засухливостью. Во втором случае (2018-2020, 2023 годы) два из них выделялись в разной степени выраженной засухливостью (ГТК 0,99-1,19, 2019 и 2018 гг.), один год (2023) – увлажнением, близким к норме (ГТК 1,39) и один (2020) – избыточным увлажнением (ГТК 2,24) (табл. 2).

Таблица 2

Гидротермический коэффициент периода активной вегетации люпино-пшеничной смеси

Год	Месяцы, декады										01.05-20.07	01.05-20.08	
	май			июнь			июль			август			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			2
2017	3,57	0,88	0,39	1,55	2,73	4,86	5,71	1,06	0,56	1,04	0,49	2,61	-
2018	0,31	1,69	0	1,59	0,24	0,96	2,66	2,68	0,32	0,08	1,00	1,46	1,19
2019	2,77	0,24	0,47	0,04	0,79	2,71	0,42	1,87	0,32	1,88	0,60	1,05	0,99
2020	0,76	8,26	9,34	3,63	2,24	0,91	3,57	2,68	1,87	0,43	0,45	2,81	2,24
2023	0,82	0,23	1,33	1,40	0,11	2,77	0,40	2,02	3,81	0	0,71	1,25	1,39
Среднее многолетнее	1,32	1,44	1,39	1,41	1,38	1,69	1,67	1,49	1,57	1,51	1,64	1,47	1,48

При этом в течение всех лет исследований в начале, середине и конце вегетации наблюдалось чередование сухих и жарких периодов с периодами высокого или избыточного увлажнения с пониженным температурным режимом, что оказывало негативное влияние на урожайность сухой сенажной массы и зерна, показатели качества.

Согласно схеме комплексного полевого опыта люпино-пшеничная смесь возделывалась в группе смешанных посевов параллельно с люпино-ячменной и люпино-овсяной. Присутствовали также варианты одновидовых посевов люпина и указанных видов яровых зерновых культур. Все посева возделывали на двух вариантах удобрений: P₆₀K₆₀ и N₅₀P₆₀K₆₀ (фактор А). Люпин в чистом посеве и в смесях высевали тремя нормами посева – 1,4, 1,6. и 1,8 млн/га (фактор В), яровую пшеницу – 6,0 млн/га и 3,0 млн/га соответственно.

В ранее опубликованных работах [9,10] было показано, что из представленных на изучение норм посева люпина в чистом и смешанном посеве наиболее высокие величины

продуктивности обеспечивались при норме 1,6 млн/га. Поэтому в данном обобщении представлены результаты именно по этой норме высева. Повторность четырехкратная. Общая площадь делянки 64 м². Из удобрений в разные годы применяли аммиачную селитру (34,4%), аммофос (8:52), и бесхлорное калийное удобрение (56%), а также сложное минеральное удобрение ООО «ФОСАГРО» РК(S) 20:20 (2). Для посева использовали сорта люпина узколистного детерминантного типа Немчиновской селекции Ладный (2017 – 2020 гг.) и Деко 2 (2023 г.) репродукции суперэлиты, яровой пшеницы – Лиза (2017 г.), Злата (2018 – 2019, 2023), Агата (2020 г.) ПР- 2. Посев проводили в лучшие агротехнические сроки (25 апреля – 7 мая) сеялкой Amazone D9. Глубина заделки семян 4 см. Способ основной обработки почвы – культурная вспашка на 20-22 см.

Внесенные перед посевом азотные удобрения заделывали комплексным агрегатом типа РВК. При сплошном поделяночном учете урожайности сенажной массы и зерна использовали соответственно миникосилку роторного типа, агрегируемую с трактором КМЗ и селекционный комбайн Wintersteiger.

Закладку полевого опыта, наблюдения и учеты в процессе вегетации проводили в соответствии с методическими рекомендациями, изложенными в руководствах «Опытное дело в полеводстве» (Никитенко, 1982), «Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (Федин, 1985), «Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований» (Доспехов, 1985). Агрохимические анализы почвы и растений выполняли в сертифицированной лаборатории массовых анализов института с использованием методов и ГОСТов, принятых в Агротехслужбе. Концентрацию обменной энергии в сухой сенажной массе и в зерносмеси рассчитывали по формулам, приведенным в руководстве [11], азотфиксирующую способность в смешанном посеве – по методу сравнения [12], концентрацию сырого протеина в конечном урожае – умножением содержания общего азота (%) в компонентах на 6,25.

Защитные мероприятия в смешанном люпино-пшеничном посеве в разные годы включали протравливание семян люпина (ТМТД, ВСК + Табу, ВСК или Фундазол, СП, Оплот Трио, ВСК + Табу, ВСК, Синклер, СК + Табу, ВСК), яровой пшеницы (Максим Экстрим, КС или Оплот Трио ВСК + Табу, ВСК). В день посева семена люпина обрабатывали ризоторфином, содержащим активный штамм N₂ – фиксирующих бактерий производства ВНИИСХМ (г. Пушкин Ленинградской обл.). Защита растений от болезней и вредителей по вегетации осуществлялась опрыскиванием баковой смесью фунгицида и инсектицида в фазе 2-3 пар настоящих листьев люпина (начало трубкования пшеницы) и перед цветением люпина (колошение пшеницы). Из фунгицидов использовали Спирит, КС, Ракурс, СК, из инсектицидов – применяли Данадим, КС или Борей Нео, СК.

Для повышения сопротивляемости растений стрессовым факторам (погода, пестициды) и в целях стимуляции ростовых процессов при проведении защитных мероприятий в том числе и при протравливании семян в баковые смеси пестицидов добавляли биостимуляторы с микроэлементами (Мо, Зп, В) в хелатной форме на основе гуматов торфа или бурого угля (2017-2020 гг.), а в 2023 году – на основе переработанных отходов мясного производства, содержащих продукты распада белка – пептиды, аминокислоты и микроэлементы [13].

Результаты исследований и их обсуждение

Продуктивность сенажной массы люпино-пшеничной смеси оценивали по показателям сбора сухого вещества, накопления сырого и перевариваемого протеина, обменной энергии и кормовых единиц.

Установлено, что при среднем за пять лет гидротермическом коэффициенте за период от посева до укоса в фазе «зеленый боб» 2,28 (избыточное увлажнение) и коэффициенте N₂-фиксации 0,27, урожайность сухой массы составила 8,36 т/га, в которой содержалось 40% люпина. В ней накапливалось в среднем 1,00 т/га сырого, 0,64 т/га переваримого протеина, 74,4 ГДж/га обменной энергии и 5,39 тыс. кормовых единиц при обеспеченности 1 кг сухой массы сырым протеином и энергией соответственно 120 г и 8,90 МДж, что позволяет отнести полученный продукт к 3 классу качества по принятым нормативам [11].

Наиболее высокая продуктивность люпино-пшеничной смеси на сенаж наблюдалась в годы с нормальным уровнем увлажнения при Кф 0,48 (ГТК 1,46-1,25, 2018 и 2023 гг.). Урожайность сухой массы в среднем по вариантам удобрения составляла 10,31 т/га (9,48-11,14 т/га) с содержанием бобового компонента 48%, сбор сырого протеина – 1,26 т/га (1,12-1,48 т/га), накопление обменной энергии – 92,7 ГДж/га (78,7-112,6 ГДж/га), а обеспеченность сырым протеином и энергией 1 кг корма – 122 г и 8,99 МДж (3-й класс качества).

Ухудшение гидротермических условий (засуха или избыточное увлажнение) снижало величину Кф в среднем до 0,31 и до 0,04, а рассматриваемых показателей на 11-46% с наибольшей выраженностью процесса (-30-46%) – при переувлажнении. В тоже время, наиболее высокое накопление переваримого протеина урожаем сухой массы – 0,90 т/га наблюдалось в засушливых условиях, уменьшаясь до 0,79 т/га (-12%) и до 0,36 т/га (-60%) соответственно при нормальном и избыточном увлажнении. Отмеченная тенденция обусловлена заметным снижением доли бобового компонента в урожае с 60% до 48% и до 23% соответственно по указанным условиям увлажнения (табл. 3).

Таблица 3

Продуктивность люпино-пшеничной смеси на сенаж в зависимости от удобрений при разных погодных условиях первой половины вегетации. 2017-2020, 2023 гг.

Показатели	Дозы и сочетание удобрений, мг/кг	2017	2018	2019	2020	2023	
		Гидротермический коэффициент (01.05-20.07)					
		2,61	1,46	1,05	2,81	1,25	
Урожайность сухой массы, т/га	P ₆₀ K ₆₀	6,00	8,62	5,43	6,14	9,18	
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	9,97	10,33	8,18	6,62	13,11	
НСП ₀₅		0,82	0,85	0,52	1,02	1,80	
Соотношение компонентов, б/з, %	P ₆₀ K ₆₀	<u>16</u> 84	<u>54</u> 46	<u>58</u> 42	<u>44</u> 56	<u>56</u> 44	
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>2</u> 98	<u>43</u> 57	<u>62</u> 38	<u>30</u> 70	<u>38</u> 62	
Коэффициент N ₂ – фиксации	P ₆₀ K ₆₀	0	0,42	0,43	0,10	0,67	
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0	0,36	0,19	0,07	0,47	
Накопление протеина, т/га	сырого	P ₆₀ K ₆₀	0,71	1,13	0,84	0,64	1,12
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,78	1,48	1,39	0,61	1,33
	переваримого	P ₆₀ K ₆₀	0,44	0,73	0,58	0,36	0,70
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,34	1,00	1,22	0,31	0,74
Накопление обменной энергии, ГДж/га	P ₆₀ K ₆₀	49,8	78,7	51,9	55,3	82,8	
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	79,1	96,7	80,7	56,6	112,6	
Выход кормовых единиц, тыс.	P ₆₀ K ₆₀	3,35	5,82	4,02	4,04	6,05	
	N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	5,08	7,33	6,45	3,92	7,84	
Обеспеченность 1 кг сухой массы	протеином, г*	P ₆₀ K ₆₀	<u>118</u> 73	<u>131</u> 85	<u>155</u> 107	<u>104</u> 59	<u>122</u> 76
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>78</u> 34	<u>143</u> 97	<u>170</u> 149	<u>92</u> 47	<u>101</u> 56
	обменной энергией, МДж	P ₆₀ K ₆₀	8,3	9,1	9,6	9,0	9,0
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	7,9	9,4	9,9	8,6	9,6

*Примечание: в числителе – сырой протеин, в знаменателе – переваримый протеин, тоже и в таблице 4.

При преобладании почвенного азота и азота удобрений в обеспечении растений этим элементом внесение перед посевом 50 кг/га N на фоне РК независимо от условий увлажнения способствовало росту урожайности сухой массы в среднем с 7,07 т/га до 9,64 т/га (+36%).

Размеры сбора сырого и переваримого протеина под влиянием этого фактора увеличивались соответственно с 0,89 т/га и 0,56 т/га (P₆₀K₆₀) до 1,12 т/га и 0,72 т/га или на 26% и 29%, накопления обменной энергии – на 34% (с 63,7 ГДж/га до 85,1 ГДж/га), кормовых единиц – на 31% (с 4,66 тыс. до 6,12 тыс.). Положительное влияние азота удобрений было обусловлено главным образом повышением содержания общего азота в

биомассе в среднем с 1,27% до 1,60% или на 26 относительных процента, а также ростом доли злакового компонента в конечном урожае с 54% до 65% (+11%) (табл. 3).

Наиболее выражено положительный эффект от азотного удобрения проявлялся в условиях умеренной засушливости (ГТК 1,05) когда урожайность сухой массы возросла на 50%, выход кормовых единиц – на 60 %, накопление сырого и переваримого протеина – на 66% и 110% соответственно, обменной энергии – на 56%, а величины соответствующих показателей в варианте N₅₀P₆₀K₆₀ составляли 8,18 т/га, 6,45 тыс., 1,39 т/га и 1,22 т/га, 80,7 ГДж/га при соотношении бобового и злакового компонента (%) 62:38.

Переувлажнение (ГТК 2,61-2,81) снижало эффективность предпосевного внесения азота в среднем до +3-37% в зависимости от показателя. В этих условиях размеры накопления переваримого протеина в варианте полного минерального удобрения уменьшалось на 20% или с 0,40 т/га до 0,32 т/га при величинах остальных показателей продуктивности, равных 8,30 т/га, 4,50 тыс., 0,70 т/га, 0,32 т/га, 67,8 ГДж/га соответственно (табл. 3). Отмеченная тенденция связана с замедлением метаболизма и ростовых процессов у растений, длительное время находящихся в условиях кислородного голодания, что проявлялось в уменьшении доли бобового компонента травосмеси с 62% (ГТК 1,05) до 16% (ГТК 2,71, 2017 – 2020 гг.), а также в полном переходе люпина в смеси на автотрофный тип питания азотом (Кф 0,04). При доминировании злакового компонента в конечном урожае наблюдалось заметное снижение сбора сырого и переваримого протеина в сравнении с аналогичными величинами в условиях умеренной засушливости, где преобладал люпин, несмотря на рост содержания общего азота в биомассе в среднем с 1,35% до 1,79% (+33%).

Величины эффективности азота удобрений (%) в условиях нормального увлажнения (ГТК 1,46-1,25) занимали промежуточное положение (+21-32%) в зависимости от показателя при урожайности сухой массы 11,72 т/га, сборе кормовых единиц 7,58 тыс., накоплении сырого и переваримого протеина 1,40 т/га и 0,87 т/га, обменной энергии – 104,6 ГДж/га (табл. 3).

Таким образом, максимальная продуктивность сенажной массы люпино-пшеничной смеси на достаточно обеспеченной фосфором и калием дерново-подзолистой почве средней окультуренности создавалась в условиях нормального увлажнения или умеренной засушливости (ГТК 1,05-1,46) при выращивании ее после зернового предшественника по фону полного минерального удобрения в дозах не более N₅₀P₆₀K₆₀ при обязательном использовании биостимуляторов с антистрессовым эффектом при протравливании семян и не менее двух раз – по вегетации. Урожайность сухой массы, выход кормовых единиц, накопление сырого и переваримого протеина, обменной энергии при этом характеризовались следующими величинами: 8,18-11,72 т/га, 6,45-7,58 тыс., 1,39-1,40 т/га, 0,87-1,22 т/га, 80,7-104,6 ГДж/га, а доля люпина в надземной массе составляла 38-62%.

В условиях избыточного увлажнения величины урожайности и продуктивности уменьшались на 24-60% в зависимости от показателя. В большей степени снижался выход переваримого протеина вследствие существенного повышения доли злакового компонента в конечном урожае (с 52% до 84%).

Если почва поля, предназначенного для посева люпино-пшеничной смеси, характеризуется меньшей обеспеченностью подвижным фосфором и калием, необходимо внесение фосфорных и калийных удобрений, дозы которых рассчитывают с учетом затрат P₂O₅ и K₂O – удобрений на сдвиг содержания их в почве на единицу (10 мг/кг), равных соответственно 80 кг/га и 70 кг/га [14].

Среднегодовая за 2018-2020, 2023 гг. урожайность зерна изучаемой смеси находилась на уровне 3,58 т/га с благоприятным соотношением компонентов (бобовый : злаковый, %) 48:52. Величина сбора кормовых единиц, сырого и переваримого протеина, обменной энергии составляли, в среднем, по вариантам удобрения 4,53 тыс., 0,77 т/га, 0,62 т/га и 45,1 ГДж/га или 1,26 тыс., 215 г, 173 г и 12,6 МДж/кг зерносмеси и удовлетворяли нормативным требованиям питательности энерго-протеиновых концентратов (табл. 4).

Наибольшую продуктивность, равную соответственно 4,54 т/га, 5,70 тыс., 0,93 т/га, 0,74 т/га и 57,6 ГДж/га смесь создавала в условиях нормального увлажнения (2023 г., ГТК 1,39).

Ухудшение метеорологических условий в сторону переувлажнения (ГТК 2,24, 2020г.) или засушливости (ГТК 1,09, 2018-2019 гг.) снижало величины продуктивности на 15-19% и на 24-35 % в зависимости от показателя соответственно по условиям увлажнения. В первом случае это было связано с заметным расширением соотношения компонентов в конечном урожае с 55:45 до 37:63 в пользу яровой пшеницы во втором – с уменьшением массы 1000 семян бобового и злакового компонентов в среднем от 140 г и 47 г до 120 г и 36 г (-14% и -23%).

Таблица 4

Продуктивность люпино-пшеничной смеси на зерно в зависимости от удобрений при разных погодных условиях вегетационного периода, 2018-2020, 2023 гг.

Показатели		Дозы и сочетание удобрений, мг/кг	2018	2019	2020	2023
			Гидротермический коэффициент (01.05-20.08)			
			1,19	0,99	2,24	1,39
Урожайность сухой массы, т/га		P ₆₀ K ₆₀	3,13	2,93	3,21	4,40
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	3,00	2,74	4,50	4,68
НСР ₀₅			0,26	0,19	0,44	0,27
Соотношение компонентов, б/з, %		P ₆₀ K ₆₀	<u>60</u> 40	<u>48</u> 52	<u>58</u> 42	<u>73</u> 27
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>52</u> 48	<u>37</u> 63	<u>16</u> 84	<u>37</u> 63
Накопление протеина, т/га	сырого	P ₆₀ K ₆₀	0,78	0,66	0,84	1,09
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,74	0,62	0,68	0,77
	переваримого	P ₆₀ K ₆₀	0,62	0,53	0,67	0,87
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,59	0,50	0,54	0,62
Накопление обменной энергии, ГДж/га		P ₆₀ K ₆₀	40,2	37,6	40,5	57,0
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	38,7	35,2	53,8	58,1
Выход кормовых единиц, тыс.		P ₆₀ K ₆₀	4,07	3,76	4,20	5,71
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	3,89	3,52	5,38	5,69
Обеспеченность 1 кг сухой массы	протеином, г*	P ₆₀ K ₆₀	<u>249</u> 198	<u>225</u> 181	<u>262</u> 209	<u>248</u> 198
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	<u>247</u> 197	<u>226</u> 182	<u>151</u> 120	<u>164</u> 132
	обменной энергией, МДж	P ₆₀ K ₆₀	12,8	12,8	12,6	13,0
		N ₅₀ P ₆₀ K ₆₀	12,9	12,8	12,0	12,4

Предпосевное внесение 50 кг/га N способствовало небольшому росту урожайности зерна, накопления в ней кормовых единиц и обменной энергии в среднем за 4 года с 3,42 т/га, 4,44 тыс., 43,8 ГДж/га до 3,73 т/га, 4,62 тыс. и 46,4 ГДж/га или на 9%, 4% и 6% соответственно за счет увеличения доли злакового компонента в конечном урожае с 40% до 64%. По этой же причине наблюдалось снижение накопления в нем сырого и переваримого протеина с 0,84 т/га и 0,67 т/га (P₆₀K₆₀) до 0,70 т/га и до 0,56 т/га (-17% и -16%) (табл. 4).

В годы исследования наблюдалась дифференциация степени влияния азотного удобрения на показатели продуктивности в зависимости от погодного фактора. В нормальных условиях увлажнения, при достигнутом в опыте максимальном уровне урожайности и других показателей продуктивности, внесение 50 кг/га N перед посевом обеспечивало лишь тенденцию к росту урожайности (+6%) и накопления обменной энергии (+2 %) к фону РК или от 4,40 т/га и 57,0 ГДж/га до 4,68 т/га и 58,1 ГДж/га. Накопление кормовых единиц не изменялось (5,71 и 5,69 тыс.), а величины сбора сырого и переваримого протеина уменьшались практически на треть (-29%) или с 1,09 т/га и 0,87 т/га до 0,77 т/га и до 0,62 т/га, что было связано существенным (на 36%) ростом доли зерна яровой пшеницы в конечном урожае (с 27% до 63%) (табл. 4).

Наиболее значимый положительный эффект от применения азота по влиянию на урожайность зерна (+40%), накопление кормовых единиц (+28%), обменной энергии (+44%) проявлялся в условиях переувлажнения, а величины рассматриваемых показателей достигали 4,50 т/га, 5,38 тыс. и 58,3 ГДж/га. В тоже время, как и в предыдущем случае,

отмечалось снижение накопления сырого и переваримого протеина с 0,84 т/га и 0,67 т/га (P₆₀K₆₀) до 0,68 т/га и до 0,54 т/га (-19%) вследствие еще большего роста доли злакового компонента в урожае до 84%.

В засушливых условиях, при минимальных значениях продуктивности, предпосевное внесение азота способствовало уменьшению в сравнении с фосфорно-калийным фоном величин урожайности и других показателей на 5-7% по причине повышения доли пшеницы в урожае с 46% до 56%. При этом урожайность зерна в варианте N₅₀P₆₀K₆₀ в среднем составляла 2,87 т/га, сбор кормовых единиц – 3,70 тыс., сырого и переваримого протеина 0,68 т/га и 0,54 т/га, а накопление обменной энергии 37,0 ГДж/га (табл. 4).

Следовательно, принимая во внимание установленные исследованиями особенности влияния погоды и изучаемых систем удобрения на урожайность зерна, величины продуктивности, и в первую очередь – на накопление протеина и энергии оптимальным следует считать сочетание P₆₀K₆₀ обеспечившее при нормальном увлажнении получение около 4,5 т/га зерна, накопление более 5,5 тыс. кормовых единиц, до 1,1 т/га сырого и до 0,9 т/га переваримого протеина, около 60 ГДж/га обменной энергии. В условиях дефицита или избытка влаги в течение вегетационного периода вполне вероятно снижение величин рассматриваемых показателей в среднем на 30% от достигнутых в опыте максимальных значений.

Заключение

Продуктивность люпино-пшеничной смеси, выращиваемой на сенаж и зерно на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Центрального Нечерноземья средней окультуренности, но с достаточной (IV-V класс) обеспеченностью пахотного (0-20 см) слоя подвижным фосфором и калием находилась в соответствии с азотфиксацией в смешанном посеве.

Наиболее высокие величины коэффициента N₂ – фиксации (Кф) отмечались в годы с нормальным уровнем увлажнения (ГТК 1,39-1,46) и в зависимости от вариантов удобрения изменялись в диапазоне 0,36-0,67, а в среднем составляли 0,48.

При этом урожайность сухой сенажной массы, зерна и основные показатели продуктивности находились на максимальном или близком к нему уровне (94-100%).

Ухудшение условий влагообеспеченности в сторону проявления засушливости или переувлажнения снижало способность смеси к фиксации атмосферного азота по величине Кф в среднем до 0,31 или сводила ее практически к нулю (Кф 0,04), а продуктивность уменьшалась в среднем на треть.

Азот удобрений, независимо от условий увлажнения, оказывал отрицательное влияние на азотфиксацию, наиболее выраженное при избытке влаги или в засушливых условиях (Кф 0,04 и 0,19 при 0,42 по норме), а люпин переходил на автотрофный тип питания этим элементом. Тем не менее внесение азотного удобрения повышало урожайность сухой массы в сравнении с фоном РК на 32-51%, накопление обменной энергии – на 29-56%, сбор сырого протеина на 3-66% при наибольшей эффективности (+25-66%) в нормальных условиях увлажнения и при засухе.

В тоже время, близкие к максимальным значения урожайности зерна накопления в нем протеина и энергии в годы исследований создавались без использования азота в системе удобрения и составляли соответственно 3,03-4,40 т/га, 0,72-1,09 т/га (сырой протеин), 0,58-0,87 (переваримый протеин), 38,9-57,0 ГДж/га, а выход кормовых единиц варьировал в пределах 3,92-5,71 тыс.

Урожайность сухой сенажной массы при оптимальном удобрении (N₅₀P₆₀K₆₀) в зависимости от метеорологических условий варьировала в среднем от 8,18 до 11,72 т/га, сбор кормовых единиц, сырого протеина и обменной энергии – от 4,50 тыс., 0,70 т/га., 67,8 ГДж/га до 7,58 тыс., 1,40 т/га, 104,6 ГДж/га. Накопление переваримого протеина в урожае наибольших величин 0,87-1,22 т/га достигало в нормальных или засушливых условиях.

Питательность как сенажной массы, так и зерносмеси на оптимальных по продуктивности вариантах систем удобрения в течение всего периода исследований соответствовала требованиям стандарта и находилась в пределах 1-3 классов качества.

Литература

1. Посевные площади Российской Федерации в 2022 году // Федеральная служба Государственной статистики (РОССТАТ). Главный Межрегиональный Центр. – М.: – 2023. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev_2022.xlsx).
2. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2022 году // Федеральная служба Государственной статистики (РОССТАТ). Главный Межрегиональный Центр. М.: 2023. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val1_2022.xlsx)
3. Баринов Н.В. Оптимизация производственного потенциала пашни за счет смешанных посевов // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы, пути решения: Сб. науч. трудов Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием / ВНИИОЦ - филиал ФГБНУ «Верхневолжский» ФАНЦ», 22-24 июля 2018 г. – Иваново: ПрессСто, – 2018. – С. 47-51.
4. Мазуров В.Н., Лукашов В.Н., Исаков А.Н. Использование зернобобовых культур и бобово-злаковых смесей на корм скоту в условиях Калужской области // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – № 2 (6). – С. 123-125.
5. Воронов С.И., Конончук В.В., Тимошенко С.М., Штырхунов В.Д., Назарова Т.О. Сравнительная продуктивность зернобобовых культур в одновидовых и смешанных посевах на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: Сб. науч. трудов, выпуск 28 (76). Материалы Международного конгресса по кормам, посвященного 100-летию ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (Москва, 21-24 июня 2022 г.) В двух частях. Часть 1. ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». – Москва: ФГБНУ ДПО РАКО АПК. – 2022. – С. 60-69.
6. Милащенко Н.З. (ред.) Удобрение основных сельскохозяйственных культур. – В кн.: Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья. – МПК «Южный Урал». Оренбург. – 1993. – С. 492-591.
7. Коломейченко В.В., Яковлев Н.А. Особенности продукционного процесса люпина при внесении минеральных и органических удобрений // Тез. докл. международной науч.-практ. конф. «Научное обеспечение люпиносеяния в России». Брянск. Всероссийский НИИ люпина. – 2005. – С. 131-133.
8. Безгодова И.Л., Коновалова Н.Ю., Прядильщикова Е.Н., Благовещенская Г.Г., Завалин А.А. Урожайность и качество зерна одновидового и смешанных посевов гороха при внесении минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т.30. - №7. – С. 75-79.
9. Конончук В.В., Тимошенко С.М., Назарова Т.О., Штырхунов В.Д., Никиточкин Д.Н., Шуркин А.Ю., Колотилина З.М. 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 // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 2 (38). – С. 104-114. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-104-114.
10. Конончук В.В., Благовещенский Г.В., Штырхунов В.Д., Тимошенко С.М., Назарова Т.О. Влияние удобрений на урожайность и качество продукции люпина узколистного в чистом и смешанном посеве при разных нормах высева в Центре Нечерноземной зоны России // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 1 (33). – С. 63-71. DOI: 10.24412/2309-348X-2020-1-63-71.
11. Сычев В.Г., Лепешкин В.В. Методические указания по оценке качества и питательности новых видов кормов. – М.: ВНИИА. – 2009. – 64 с.
12. Трепачев Е.П. Методы исследования азотфиксирующей способности бобовых культур. – В кн.: Агрехимические аспекты биологического азота в современном земледелии. – Агроконсалт. – 1990. – 126 с.
13. ООО «Лебозол Восток» Информация о продуктах // <https://www.lebosol.de/ru>.
14. Ефремов В.В., Губанкова И.А. Основные направления химизации земледелия с учетом баланса питательных веществ и плодородия почв. // Параметры плодородия основных типов

References

1. Cultivated areas of the Russian Federation in 2022 // Federal State Statistics Service (ROSSTAT). Main Interregional Center. Moscow, 2023. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev_2022.xlsx).
2. Gross yields and yields of agricultural crops in the Russian Federation in 2022 // Federal Service of State Statistics (ROSSTAT). Main Interregional Center. MOSCOW, 2023. (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Vall_2022.xlsx).
3. Barinov N.V. Optimization of the production potential of arable land through mixed crops // Environmentally sustainable agriculture: status, problems, and solutions: Scientific works of All-Russia scientific-practical Conf. With international participation / VNIIOOTS-branch of the Federal State Budgetary Institution "Verkhnevolzhsky" FANC", July 22-24, 2018. – Ivanovo: PressSto, 2018.- Pp. 47-51.
4. Mazurov V.N., Lukashov V.N., Isakov A.N. The use of leguminous crops and legume-cereal mixtures for livestock feed in the Kaluga region // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2013. - no. 2 (6). - Pp. 123-125.
5. Voronov S.I., Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Shtyrkhunov V.D., Nazarova T.O. Comparative productivity of leguminous crops in single-species and mixed crops on sod-podzolic soils of the Central Non-Black Earth Region // Multifunctional adaptive feed production: Collection: Scientific Proceedings, issue 28 (76). Materials of the International Congress on Feed dedicated to the 100th anniversary of the Federal Scientific Center "VIK named after. V.R. Williams" (Moscow, June 21-24, 2022) In two parts. Part 1 / FSC "VIK im. V.R. Williams." – Moscow: FGBNU DPO RAKO APK. 2022. – Pp. 60-69.
6. Milashchenko N.Z. (ed.) Fertilization of major crops. – In the book: Expanded reproduction of soil fertility in intensive agriculture of the Non-Black Earth Region. - MPK "South Ural". Orenburg. – 1993. – Pp. 492-591.
7. Kolomeichenko V.V., Yakovlev N.A. Features of the lupine production process when applying mineral and organic fertilizers // Abstracts. report International scientific and practical conf. "Scientific support of lupine sowing in Russia" Bryansk. All-Russian Research Institute of Lupine. - 2005. – Pp. 131-133.
8. Bezgodova I.L., Konovalova N.Yu., Pryadilshchikova E.N., Blagoveshchenskaya G.G., Zavalin A.A. Productivity and grain quality of single-species and mixed pea crops when applying mineral fertilizers // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. – 2016. – 30. - no. 7. - Pp. 75-79. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-104-114.
9. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Nazarova T.O., Shtyrkhunov V.D., Nikitochkin D.N., Shurkin A.Yu., Kolotilina Z.M. Grain productivity and nitrogen-fixing ability of angustifolia lupine depending on seeding rates, fertilizers and herbicide use under different weather conditions in the Center of the Non-Black Earth Zone of Russia // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. – 2021. - no. 2 (38). - Pp. 104-114. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-104-114
10. Kononchuk V.V., Blagoveshchensky G.V., Shtyrkhunov V.D., Timoshenko S.M., Nazarova T.O. The influence of fertilizers on the yield and quality of angustifolia lupine products in pure and mixed sowing at different seeding rates in the Center of the Non-Chernozem Zone of Russia // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. – 2020. - no. 1 (33). - Pp. 63-71. DOI: 10.24412/2309-348X-2020-1-63-71.
11. Sychev V.G., Lepeshkin V.V. Guidelines for assessing the quality and nutritional value of new types of feed. Moscow, VNIIA. – 2009. – 64 p.
12. Trepachev E.P. Methods for studying the nitrogen-fixing ability of legumes. – In the book: Agrochemical aspects of biological nitrogen in modern agriculture. Moscow, Agroconsult. – 1990. – 126 p.
13. Lebosol Vostok LLC Information about products // <https://www.lebosol.de/ru>.
14. Efremov V.V., Gubankova I.A. The main directions of chemicalization of agriculture, taking into account the balance of nutrients and soil fertility. // Fertility parameters of the main types of soils / Scientific works ed. acad. VASKHNIL A.N. Kashtanov. – Moscow, Agropromizdat. – 1988. - Pp. 201-214.