

**АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО
В ОДНОВИДОВОМ И СМЕШАННОМ ПОСЕВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМ
ВЫСЕВА И УДОБРЕНИЙ В ЦЕНТРЕ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ**

В.В. КОНОНЧУК, доктор сельскохозяйственных наук
С.М. ТИМОШЕНКО, В.Д. ШТЫРХУНОВ, кандидаты сельскохозяйственных наук
Г.В. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, доктор сельскохозяйственных наук
Т.О. НАЗАРОВА, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «НЕМЧИНОВКА»

В статье приведены результаты двухлетнего изучения азотфиксирующей способности детерминантного сорта люпина узколистного Ладный в одновидовом посеве и в смеси с яровой пшеницей Злата в зависимости от удобрений и норм высева. Обсуждается их влияние на размеры поступления фиксированного азота в почву с растительными остатками и перспектива обогащения им пахотного слоя при выращивании на зерно.

Ключевые слова: люпин узколистный, норма высева, удобрение, азотфиксация, биологический азот, дерново-подзолистая почва, Нечерноземная зона.

**NITROGEN FIXING ABILITY OF NARROW-LEAFED LUPINE IN SINGLE AND
MIXED SOWINGS, DEPENDING ON NORMS OF SOWING AND FERTILIZERS IN THE
CENTER OF THE NON-BLACK-EARTH ZONE OF RUSSIA**

**V.V. Kononchuk, S.M. Timoshenko, V.D. Shtyrkhunov,
G.V. Blagoveschensky, T.O. Nazarova**

FSBSI «FEDERAL RESEARCH CENTER «NEMCHINOVKA»

***Abstract:** The article presents the results of a two-year study of nitrogen-fixing ability of the determinant narrow-leafed lupine variety Ladny in single-species sowing and mixed with spring wheat Zlata depending on fertilizers and seeding rates. Their influence on the size of fixed nitrogen input into the soil with plant residues and the prospect of enriching the arable layer when growing for grain are discussed.*

Keywords: narrow-leafed lupine, seeding rate, fertilizer, nitrogen fixation, biological nitrogen, sod-podzolic soil, non-chernozem zone.

Народно-хозяйственное значение однолетнего люпина не исчерпывается использованием в производстве высокобелковых объемистых и концентрированных кормов для животноводства [1].

Нельзя недооценивать и его средообразующее значение, обусловленное положительным влиянием на фитосанитарное состояние полей, мобилизирующим воздействием корневых экссудатов на труднорастворимые почвенные фосфаты и остаточные фосфаты удобрений, а также способностью к усвоению азота атмосферы благодаря бобово-ризобияльному симбиозу. Мощная корневая система люпина стержневого типа способна пробивать плужную подошву и улучшать водно-физические свойства нижней части пахотного и более глубоких слоев почвы. Все выше изложенное ставит эту культуру в ряд лучших предшественников зерновых колосовых культур [2].

Поэтому при разработке и совершенствовании технологии возделывания однолетнего люпина в целом и его детерминантных разновидностей в частности необходимо в первую очередь обращать внимание на те элементы, которые способствуют максимальному

проявлению возможностей этой культуры по повышению продуктивности и почвоулучшению.

Цель исследования – изучение влияния норм высева и удобрений на азотфиксирующую способность люпина узколистного в одновидовых и смешанных посевах, на количественные параметры накопления биологического азота в товарной части урожая и в растительных остатках при выращивании на средних суглинках Центрального Нечерноземья.

Методика и условия исследования

Исследования проводятся с 2018 года в краткосрочном полевом опыте, заложенном на опытном поле ФИЦ «Немчиновка», расположенном у деревни Соколово Новомосковского Административного округа г. Москвы, вблизи аэропорта Внуково.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке средней окультуренности. После уборки предшественника (яровые зерновые) пахотный (0-20 см) слой ее характеризовался следующими величинами агрохимических показателей: гумус (по Тюрину в модификации ЦИНАО) 1,6-1,8%, P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) 180-230 мг/кг и 140-200 мг/кг соответственно, pH_{KCl} 5,3-5,8.

При закладке и проведении эксперимента использовали методические рекомендации, изложенные в руководствах «Опытное дело в производстве» (Никитенко, 1982) и Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (Федин, 1988). Результаты учетов подвергали статистической обработке по методике Б.А. Доспехова (1985) в компьютерной версии Statgraf.

Схемой опыта предусматривалось возделывание люпина узколистного детерминантного и яровой пшеницы в одновидовых и смешанных посевах с нормами высева соответственно 1,4, 1,6, 1,8 млн./га, 6,0 млн./га и 1,4+3,0, 1,6+3,0, 1,8+3,0 млн./га (2018г.). В 2019 году норму высева пшеницы в смеси увеличили до 4,0 млн./га (67% от полной) для повышения конкурентной способности посева к сорному компоненту. Эффективность норм высева изучали на двух фонах удобрений – Р45К60 и N50P45К60. При посеве использовали сорта Немчиновской селекции: люпин Ладный, яровая пшеница Злата. Повторность четырехкратная. Общая площадь делянки 96 м², учетная 30 м².

Фосфорные и калийные удобрения, представленные двойным суперфосфатом ($P_{дс}$) и бесхлорным калийным удобрением с содержанием P_2O_5 42% K_2O 56%, вносили с осени под зябь разбрасывателем удобрений Amazone, азотные в форме аммиачной селитры ($N_{а.а.}$) с содержанием 34,4% N – весной под культивацию ручную. Для обработки почвы использовали дисковую борону БДН-3, агрегатируемую с колесным трактором МТЗ 2022, плуг навесной ПЛН 6-35 с лепестковым отвалом, тяжелые бороны «Зигзаг», комплексный агрегат для предпосевной обработки почвы РВК-3,6.

Посев протравленными (Дивидент Стар) семенами репродукции «Элита» проводили в период с 28 апреля по 8 мая сеялкой Amazone Д 9 на глубину 4 см. За сутки до посева семена люпина обрабатывали раствором молибденово-кислого аммония и активным штаммом азотфиксирующих бактерий производства ВНИИСХМ (г. Пушкин Ленинградской обл.).

Мероприятия по защите растений кроме протравливания семян на чистых посевах люпина включали довсходовое использование гербицида Гонор, КС (500 г/л прометрина), а по вегетации – Пивот (100 г/л имазетапира) в баковой смеси с инсектицидом Данадим с расходом рабочей жидкости 120 л/га. Обработку инсектицидом повторяли в бутонизацию люпина против бобовой огневки, гороховой зерновки, цветоеда и долгоносиков. Защита растений яровой пшеницы состояла из обработки посева в кущение баковой смесью из гербицида (Линтур, ВДГ 150 г/га), инсектицида Данадим. В середине трубкования использовали фунгицид Альто Супер (0,45 л/га) для борьбы с листовостебельными пятнистостями.

В начале налива использовали баковую смесь из фунгицида и инсектицида с целью защиты колоса. В посевах люпино-пшеничной смеси защита растений ограничивалась двукратным применением инсектицида.

В течение вегетации отмечали наступление фаз развития растений, для установления параметров азотфиксации проводили учеты биомассы: в начале цветения люпина, в фазе «зеленый боб» – для определения размеров сбора сухой сенажной массы, в полную спелость зерна – для выявления зерновой продуктивности.

При появлении 2-3 пар настоящих листьев люпина со всех вариантов двух несмежных повторений отбирали смешанные из трех точек почвенные образцы из пахотного (0-20 см) слоя для определения обеспеченности посева элементами питания и уровня кислотности.

В снопах, отобранных со всех вариантов двух повторений перед каждым учетом, определяли ботанический состав весовым методом, влажность растительной массы – методом весового термостатирования, а в образцах сухой растительной массы по видам культур – содержание общего азота, P_2O_5 и K_2O по методикам и ГОСТам, принятым в Агрохимической службе.

Азотфиксирующую способность люпина в чистом и смешанном посевах определяли по методике Е.П. Трепачева (1999), массу растительных остатков после последнего учета – рамочным методом, корни – по методике Н.З. Станкова (1951) отмыванием на сите диаметром ячеек 1 мм^2 почвенного монолита (0-20 см) объемом $0,02\text{ м}^2$. На полноту учета стерни и корней вводили поправку 1,4 (Трепачев, 1999).

Урожай сенажной массы и зерна учитывался поделочно, с использованием навесной роторной миникосилки, агрегируемой с трактором КМЗ и селекционного комбайна Wintersteiger.

Метеорологические условия вегетационного периода (май-август) в годы исследований отличались засушливостью и очень неравномерным выпадением осадков. Гидротермический коэффициент (по Селянинову) за май – август месяцы 2018 года составил – 1, в 2019 году – 0,84 при среднем многолетнем 1,52. Наименьшие его величины в 2018 году наблюдались в начале и середине вегетации (1 декада мая, 2 декада июня и 3 декада июля) и составляли 0,24-0,32, в 2019 году в эти же сроки – от 0,04-0,24 до 0,32. Наиболее высокими величинами ГТК выделились в начале вегетации 2018 года 1 декада июля – 2,65-2,68, в 2019 – 1 декада мая – 2,77, третья декада июня – 2,49, в середине вегетации – 2 декада июля и первая декада августа – 1,87 и 1,88 соответственно. Такое зигзагообразное поведение погоды в течение активной вегетации не могло не сказаться на активности ростовых процессов, азотфиксации и величине урожайности.

Результаты и обсуждение

При использовании метода сравнения количественные параметры азотфиксации бобовой культуры в одновидовом посеве определяются по разности накопления общего азота в ее сухой надземной массе и в сухой массе злаковой культуры в условиях одного полевого эксперимента на пике азотфиксации, которая у однолетнего люпина проявляется от начала цветения до фазы «приспевающего боба».

Установление этого показателя в смешанном злаково-бобовом посеве усложняется присутствием части азота, фиксированного бобовым компонентом, в злаковом компоненте. Учет его осуществляется по разности между содержанием азота в злаковом компоненте смеси и в одновидовом посеве с умножением на урожайность сухой массы последнего в смешанном посеве. При таком подходе размеры накопления фиксированного азота атмосферы в смеси представляет собой сумму азота, усвоенного бобовым компонентом и злаковым за счет бобового, а величина коэффициента – отношение этой суммы к общему накоплению N_2 в процентах или в долях единицы.

Согласно результатов наших исследований, в умеренно засушливом 2018 году при урожайности сухой массы люпина в начале цветения в зависимости от норм высева и удобрений 33,4-41,8 ц/га в ней накапливалось от 136 до 174 кг/га общего азота. В надземной массе культуры сравнения при урожайности 30,5-44,5 ц/га всего 40-43 кг/га азота. При этом накопление фиксированного из атмосферы азота варьировало в пределах 72-131 кг/га N. Коэффициент азотфиксации люпина, как доля усвоенного азота воздуха от общего накопления N, изменялся от 53% до 75%.

В более засушливых условиях 2019 года сбор сухой надземной массы люпина уменьшался на 16-40% в зависимости от изучаемых агротехнических факторов и составлял 20,2-35,1 ц/га. В тоже время урожайность сухой массы яровой пшеницы, менее зависимой от недостаточного увлажнения за счет более развитой корневой системы мочковатого типа, в этот период возросла до 44,5-78,2 ц/га. При этом в урожае накапливалось 76-111 кг/га и 81-95 кг/га общего азота соответственно по культурам, а усвоение симбиотически связанного азота биомассой люпина варьировало от 0-16 кг/га до 51-67 кг/га или в процентах от общего накопления (K_{ϕ}) – от 0-14% до 56-63% (табл. 1).

В оба года, независимо от складывающихся условий увлажнения, увеличение норм высева люпина от 1,4 до 1,6-1,8 млн/га в среднем по удобрениям приводило к росту усвоения общего азота урожаем от 110 кг/га до 130-138 кг/га, фиксированного – от 54 до 70-78 кг/га, а коэффициента N_2 фиксации – от 49% до 56-54% или соответственно на 18-26%, 30-44% и 5-7% соответственно без четкой связи с величинами норм высева.

Тем не менее, на основании полученных нами научных материалов, можно утверждать, что при недостаточном увлажнении наиболее благоприятные условия для азотфиксации в чистом посеве узколистного люпина в Подмосковье складывались при норме высева 1,6 млн/га, где в среднем за 2018-2019 годы урожаем сухой надземной массы было усвоено 138 кг/га общего и 78 кг/га фиксированного азота, а коэффициент азотфиксации составил 56%.

Таблица 1

Азотфиксирующая способность люпина узколистного детерминантного Ладный в одновидовом посеве в зависимости от норм высева и удобрений

| Культура, сорт | Фон удобрений | Нормы высева, млн./га | Годы | Сбор сухой массы, ц/га | Азот в урожае, кг/га | | Коэффициент N_2 – фиксации (K_{ϕ}), % | |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|------------------------|----------------------|---------------|--|----|
| | | | | | общий | фиксированный | | |
| Пшеница яровая Злата | $P_{45}K_{60}$ | 6,0 | 2018 | 30,5 | 43 | - | - | |
| | | | 2019 | 54,5 | 40 | - | - | |
| | $N_{50}P_{45}K_{60}$ | | 2018 | 44,5 | 81 | - | - | |
| | | | 2019 | 78,2 | 95 | - | - | |
| Люпин узколистный Ладный | $P_{45}K_{60}$ | 1,4 | 2018 | 33,4 | 138 | 95 | 69 | |
| | | | 2019 | 26,2 | 91 | 51 | 56 | |
| | | | среднее | - | 114/110 | 73/54 | 64/49 | |
| | | 1,6 | 2018 | 41,8 | 174 | 131 | 75 | |
| | | | 2019 | 33,0 | 107 | 67 | 63 | |
| | | | среднее | - | 140/138 | 99/78 | 71/56 | |
| | | 1,8 | 2018 | 38,4 | 165 | 122 | 74 | |
| | | | 2019 | 35,1 | 104 | 64 | 62 | |
| | | | среднее | - | 134/130 | 93/70 | 69/54 | |
| | В среднем по нормам высева | | | | - | 129 | 88 | 68 |
| | $N_{52}P_{45}K_{60}$ | 1,4 | 2018 | 34,4 | 136 | 72 | 53 | |
| | | | 2019 | 20,2 | 76 | 0 | 0 | |
| | | | среднее | - | 106 | 36 | 34 | |
| | | 1,6 | 2018 | 37,6 | 160 | 96 | 60 | |
| | | | 2019 | 33,0 | 111 | 16 | 14 | |
| | | | среднее | - | 136 | 56 | 41 | |
| | | 1,8 | 2018 | 38,6 | 159 | 95 | 60 | |
| | | | 2019 | 29,0 | 95 | 0 | 0 | |
| | | | среднее | - | 127 | 48 | 38 | |
| | В среднем по нормам высева | | | | - | 123 | 47 | 38 |

**) в знаменателе – средние значения по фонам удобрения*

Предпосевное внесение 50 кг/га N по фону $P_{45}K_{60}$ оказывало сильное положительное воздействие на урожайность сухой массы яровой пшеницы и на накопление в ней азота

(+44% и +112% к фону РК соответственно), но практически не влияло на величины аналогичных показателей у люпина, где отмечалась слабо выраженная тенденция их снижения (-7% и -5%).

Поэтому в урожае сухой надземной массы люпина узколистного в начале цветения в среднем по годам и нормам высева накопление симбиотически связанного азота по фону P₄₅K₆₀ составило 88 кг/га или 68% от усвоенного количества, а в варианте полного минерального удобрения (N₅₀P₄₅K₆₀) – уменьшилось в среднем до 47 кг/га и до 38% (Кф) или на 47 и 44 относительных процента соответственно по рассматриваемым показателям (табл. 1). В смешанном посеве усиление конкуренции между компонентами за влагу, свет и элементы питания в условиях засухи снижало фиксацию атмосферного азота люпином в сравнении с чистым посевом. Коэффициент N₂-фиксации при этом в зависимости от норм высева бобового компонента изменялся в пределах 30-48% и в среднем за 2018-2019 годы составил 39-42%. Азот удобрений способствовал снижению величины этого показателя в среднем по нормам высева и годам с 42% до 36% или на 6% (табл. 2-3).

Таблица 2

Влияние норм высева бобового компонента на сбор сухой массы люпино-пшеничной смеси, накопление в ней общего и фиксированного азота, среднее по удобрениям

| Годы | Нормы высева, млн./га | Сбор сухой массы | | Накопление азота в биомассе | | | | Кф, % |
|--------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------|
| | | всего, ц/га | в том числе люпина, % | общего, кг/га | в том числе за счет люпина, % | биологического, кг/га | в том числе за счет люпина, % | |
| 2018 | 1,4+3,0 | 39,3 | 44 | 118 | 58 | 42 | 68 | 36 |
| | 1,6+3,0 | 42,8 | 50 | 122 | 64 | 42 | 77 | 34 |
| | 1,8+3,0 | 44,2 | 44 | 118 | 54 | 36 | 59 | 30 |
| 2019 | 1,4+4,0 | 53,6 | 64 | 136 | 80 | 67 | 88 | 48 |
| | 1,6+4,0 | 68,0 | 60 | 178 | 74 | 73 | 88 | 41 |
| | 1,8+4,0 | 60,8 | 54 | 158 | 70 | 74 | 72 | 48 |
| Среднее за 2018-2019 гг. | 1,4+3,5 | 46,4 | 54 | 127 | 69 | 54 | 78 | 42 |
| | 1,6+3,5 | 55,4 | 55 | 150 | 69 | 58 | 82 | 39 |
| | 1,8+3,5 | 52,5 | 49 | 138 | 62 | 55 | 66 | 40 |

Несмотря на засуху более высокими величинами Кф выделялись смешанные посевы 2019 года при нормах высева люпина и яровой пшеницы 1,4-1,8+ 4,0 млн/га. При этом в среднем по вариантам удобрения по указанным нормам высева величины Кф изменялись в диапазоне 41-48%. В сухой надземной массе накапливалось порядка 140-180 кг/га общего и 70-75 кг/га фиксированного азота, а доля участия люпина в формировании этих показателей составила соответственно 70-80% и 72-88% (табл. 2).

В 2019 году азот удобрений увеличивал сбор сухой надземной массы люпино-пшеничной смеси и накопление в ней общего азота в сравнении с фоном РК в среднем на 19% и 25% соответственно, но практически не влиял на величины накопления фиксированного азота, которые при этом изменялись в узких пределах 69-74 кг/га. В связи с этим Кф под влиянием азотного удобрения уменьшился в среднем с 49% до 43% (табл. 3).

Снижение азотфиксирующей способности чистых и смешанных посевов люпина узколистного под влиянием азотного удобрения связано с ингибированием им нитрогеназной активности в процессе бобово-ризобияльного симбиоза [3] и обусловленным этим сбоем в типе азотного питания люпина (симбиотрофный, автотрофный). Последнее снижало долю участия люпина в накоплении биомассы, общего и биологического азота в ней (табл. 3).

Таблица 3

Влияние азота удобрений на размеры сбора сухой массы люпино-пшеничной смеси накопление общего и симбиотически связанного азота в ней, в среднем по нормам высева

| Годы | Дозы удобрения, кг/га | Сбор сухой массы | | Накопление азота в биомассе | | | | Кф, % |
|--------------------------|---|------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-------|
| | | всего, ц/га | в том числе люпина, % | общего | | биологического | | |
| | | | | всего, кг/га | в том числе за счет люпина, % | всего, кг/га | в том числе за счет люпина, % | |
| 2018 | P ₄₅ K ₆₀ | 46,2 | 41 | 111 | 58 | 40 | 79 | 36 |
| | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | 38,0 | 51 | 128 | 60 | 40 | 57 | 31 |
| 2019 | P ₄₅ K ₆₀ | 55,6 | 62 | 140 | 78 | 69 | 86 | 49 |
| | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | 66,1 | 57 | 175 | 71 | 74 | 79 | 43 |
| Среднее за 2018-2019 гг. | P ₄₅ K ₆₀ | 50,9 | 52 | 126 | 68 | 54 | 82 | 42 |
| | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | 52,0 | 54 | 152 | 66 | 57 | 68 | 36 |

Следовательно, при выращивании люпина узколистного Ладный в смеси с яровой пшеницей Злата на хорошо обеспеченной фосфором и калием дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Подмосковья при недостаточном увлажнении в течение активной вегетации наиболее благоприятные условия для азотфиксации в среднем за два года обеспечивались в посевах с нормой высева 1,6+3,5 млн/га. В надземной массе к началу цветения бобового компонента при этом накапливалось до 60 кг/га симбиотически связанного азота, а коэффициент N₂-фиксации составлял 39%. При содержании подвижного фосфора и калия в почве весной в фазе 2-3 пары настоящих листьев люпина на уровне повышенной и высокой обеспеченности (4-й–5-й класс) по принятым градациям, которая поддерживалась осенним внесением P₄₅K₆₀, за счет азотфиксации в надземной массе накапливалось в среднем 54 кг/га азота атмосферы или 42% от общего потребления.

Азот удобрения, внесенный перед посевом в дозе 50 кг/га N, снижал коэффициент азотфиксации смеси до 36%, но практически не влиял на величину накопления фиксированного азота в биомассе, которая составляла при этом 57 кг/га.

Для оценки вклада биологического азота люпина в азотный фонд почвы необходимо знать массу растительных остатков, оставляемых в почве после уборки урожая, содержание в них общего азота и коэффициент азотфиксации.

Нами установлено, что сухая масса растительных остатков люпина при выращивании на зерно, включая солому, стерню и корни в слое почвы 0-20 см, в годы исследований в зависимости от норм высева и удобрений в чистом посеве изменялась в пределах 44,6-55,2 ц/га. Наибольшая их масса поступала в почву в 2018 году – от 46,2 ц/га до 63,2 ц/га. В 2019 году их было меньше – от 43,0 ц/га до 51,6 ц/га. При этом на солому приходилось в среднем 71-74% от общего поступления. Увеличение нормы высева люпина с 1,4 до 1,6-1,8 млн/га приводило к повышению массы растительных остатков в среднем по вариантам удобрения и годам исследования с 46,7 ц/га до 49,5-52,6 ц/га или на 6-13%, в том числе соломы с 34,7 ц/га до 36,1-39,4 ц/га (+4-14%). Предпосевное внесение 50 кг/га N способствовало уменьшению массы растительных остатков люпина в чистом посеве в среднем с 52,0 ц/га на фоне РК до 47,2 ц/га или на 9%. Масса соломы при этом снижалась в среднем с 38,8 ц/га до 34,7 ц/га или на 11%. При максимальной урожайности зерна 35,6 ц/га, полученном в одновидовом посеве при норме высева 1,8 млн/га и осеннем внесении P₄₅K₆₀ [4], в почву поступило 55,2 ц/га сухой массы растительных остатков или 1,55 ц/ц, в том числе – соломы 40,8 ц/га, стерни и корней – 14,4 ц/га (74% и 26% от общего накопления) (табл. 4).

Накопление растительных остатков люпина узколистного в одновидовом посеве и в смеси с яровой пшеницей при выращивании на зерно в зависимости от норм высева и удобрений

| Сухая масса растительных остатков, ц/га | Годы | Люпин | | | | | | Люпино-пшеничная смесь | | | | | |
|---|-----------|-----------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------------------|---|
| | | нормы высева, млн./га | | | | | | | | | | | |
| | | 1,4 | | 1,6 | | 1,8 | | 1,4+3,5 | | 1,6+3,5 | | 1,8+3,5 | |
| | | дозы и сочетание удобрений, кг/га | | | | | | | | | | | |
| | | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ | P ₄₅ K ₆₀ | N ₅₀ P ₄₅ K ₆₀ |
| Всего, в том числе: *) | 2018 | 48,0 | 46,2 | 57,2 | 50,2 | 63,2 | 48,4 | 56,6 | 53,8 | 62,5 | 59,4 | 63,3 | 57,6 |
| | 2019 | 49,6 | 43,0 | 46,8 | 43,8 | 47,1 | 51,6 | 65,9 | 55,4 | 64,7 | 52,4 | 46,5 | 64,9 |
| | среднее | 48,8 | 44,6 | 52,0 | 47,0 | 55,2 | 50,0 | 61,3 | 54,6 | 63,6 | 55,9 | 54,9 | 61,3 |
| солома | 2018 | 37,0 | 35,8 | 44,9 | 38,9 | 46,7 | 37,0 | 36,8 | 36,4 | 40,6 | 39,0 | 41,0 | 37,3 |
| | 2019 | 38,4 | 27,6 | 30,6 | 29,8 | 34,9 | 39,0 | 43,5 | 36,4 | 44,9 | 34,0 | 29,3 | 45,5 |
| | среднее | 37,7 | 31,7 | 37,8 | 34,4 | 40,8 | 38,0 | 40,2 | 36,4 | 42,8 | 36,5 | 35,1 | 41,4 |
| стерня | 2018 | 7,4 | 7,2 | 8,7 | 7,7 | 9,0 | 7,5 | 10,2 | 10,2 | 11,1 | 10,8 | 11,3 | 10,4 |
| | 2019 | 5,6 | 9,8 | 10,6 | 9,8 | 7,3 | 8,4 | 11,2 | 10,6 | 10,6 | 10,0 | 11,6 | 11,0 |
| | среднее | 6,5 | 8,5 | 9,6 | 8,8 | 8,2 | 8,0 | 10,7 | 10,4 | 10,8 | 10,4 | 11,4 | 10,7 |
| корни | 2018 | 3,6 | 3,2 | 3,6 | 6,3 | 7,5 | 3,9 | 9,6 | 7,2 | 10,8 | 9,6 | 11,0 | 9,9 |
| | 2019 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 4,2 | 4,9 | 4,2 | 11,2 | 8,4 | 9,2 | 8,4 | 5,6 | 8,4 |
| | среднее | 4,6 | 4,4 | 4,6 | 5,2 | 6,2 | 4,0 | 10,4 | 7,8 | 10,0 | 9,0 | 8,3 | 9,2 |
| Ботанический состав, % **) | 2018-2019 | - | - | - | - | - | - | <u>40</u> 60 | <u>46</u> 54 | <u>51</u> 49 | <u>44</u> 56 | <u>58</u> 42 | <u>44</u> 56 |

*) с поправкой на полноту учета 1,4

**) в числителе бобовый, в знаменателе – злаковый компонент

В смешанном люпино-пшеничном посеве после уборки на зерно в среднем за 2018-2019 годы в почве оставалось 54,6-63,6 ц/га сухой массы растительных остатков, в том числе соломы 64-68%. Увеличение нормы высева бобового компонента в смеси с 1,4 до 1,6-1,8 млн/га не сказывалось на величинах накопления массы растительных остатков, которая в среднем по удобрениям варьировала в диапазоне 58,0-59,8 ц/га без четкой связи с нормами высева. Это обусловлено противоречивым характером влияния этого фактора в отдельные годы.

Азотное удобрение в сравнении с фоном РК обеспечивало тенденцию снижения массы растительных остатков в среднем по нормам высева за годы исследований с 59,9 ц/га до 57,3 ц/га или на 4% (табл. 4). Отмеченный характер изменения размеров накопления растительных остатков люпино-пшеничной смеси под влиянием рассматриваемых агротехнических факторов обусловлен главным образом аналогичными изменениями массы соломы и корней в слое почвы 0-20 см, доля которых в общем накоплении достигала 79-85%.

В варианте с нормой высева 1,8+3,5 млн/га на фоне Р45К60, обеспечивавшем получение в среднем за 2018-2018 годы наиболее высокие урожайности зерна [4], в почву после уборки поступило 54,9 ц/га сухих растительных остатков или 1,7 ц/ц, в которых доля люпина и пшеницы соответственно составляла 58 и 42% (табл. 4).

При указанных выше размерах поступления в почву растительных остатков люпина на зерно в чистом посеве, с ними в пахотном слое накапливалось в зависимости от вариантов изучаемых агротехнических факторов 58-74 кг/га общего азота. Еще 131-196 кг/га отчуждалось с поля с товарной частью урожая. Поэтому в сумме биомассой люпина к уборке урожая аккумулировалось 188-264 кг/га $N_{общ.}$ В смеси, несмотря на более высокую массу растительных остатков, аккумуляция общего азота снижалась в сравнении с аналогичной величиной в одновидовом посеве люпина в связи с уменьшением доли бобового компонента до 40-62% и составляла 50-72 кг/га. С учетом накопления $N_{общ.}$ в зерне, равном 104-119 кг/га, в целом в биомассе зерна, соломы и пожнивно-корневых остатков смеси накапливалось 168-187 кг/га общего азота. Увеличение нормы высева люпина в чистом и смешанном посевах от 1,4 до 1,6-1,8 млн/га сопровождалось ростом накопления азота в биомассе в среднем по вариантам удобрения с 209 кг/га до 242-253 кг/га (одновидовой посев) и от 174 кг/га до 168-182 кг/га в смеси, но в последнем случае без четкой связи с грациями рассматриваемого фактора (табл. 5).

Таблица 5

Влияние норм высева люпина в чистом посеве и в смеси на накопление общего и фиксированного азота в урожае, среднее за 2018-2019 гг.

В среднем по вариантам удобрений

| Показатели | | | Нормы высева, млн./га | | | | | |
|---|----------------|-------------------------|-----------------------|------|------|------------------------|---------|---------|
| | | | чистый посев | | | люпино-пшеничная смесь | | |
| | | | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 1,4+3,5 | 1,6+3,5 | 1,8+3,5 |
| Накопление азота, кг/га | общего | всего, в том числе: | 209 | 242 | 253 | 174 | 168 | 182 |
| | | в зерне | 146 | 173 | 182 | 112 | 112 | 121 |
| | | в растительных остатках | 64 | 69 | 71 | 62 | 56 | 61 |
| | фиксированного | всего, в том числе: | 106 | 138 | 137 | 72 | 68 | 74 |
| | | в зерне | 73 | 99 | 100 | 48 | 47 | 49 |
| | | в растительных остатках | 32 | 38 | 38 | 24 | 20 | 25 |
| Фиксированный азот растительных остатков в расчете на 1 т зерна, кг | | | 11,0 | 11,8 | 11,0 | 8,2 | 7,0 | 8,1 |

С учетом установленных нами величин коэффициентов азотфиксации уровень накопления биологического азота в урожае зерна с чистого посева составил 44-135 кг/га, в

сухой массе растительных остатков – от 20 до 47 кг/га, а в целом в биомассе – от 64 до 181 кг/га, в смешанном посеве – соответственно 41-58 кг/га, 19-28 кг/га и 65-80 кг/га. При этом в расчете на 1 т зерна, накопление фиксированного азота растительных остатков в чистом посеве достигало 8,8-14,7 кг, в смеси 6,3-9,4 кг. Эти величины можно использовать для ориентировочного определения поступления в почву симбиотически связанного азота растительных остатков по урожайности зерна в сходных условиях возделывания.

В целом характер изменения размеров накопления фиксированного азота в рассматриваемых элементах биомассы люпина как в чистом посеве, так и в смеси под влиянием норм высева подчинялся тем же закономерностям, что и изменения общего азота. При этом наименьшие величины накопления $N_{\text{биол.}}$ как в целом, так и в отдельных компонентах биомассы наблюдались при норме высева 1,4 млн/га, наиболее высокие – при норме 1,8 млн/га. В тоже время, размеры накопления фиксированного азота растительных остатков в расчете на 1т зерна практически не зависели от норм высева люпина и в чистом посеве изменялись в узких пределах 11,0-11,8 кг, в смеси – от 7,0 до 8,1 кг/га (табл. 5).

Азот удобрений, снижая урожайность зерна, способствовал уменьшению накопления в нем как общего, так и симбиотически связанного азота.

Проявлялось также отрицательное влияние его на накопление симбиотически связанного азота в массе растительных остатков одновидового посева люпина. Снижение составило 47% или с 47 кг/га до 25 кг/га. В смешанном люпино-пшеничном посеве, несмотря на общую слабую тенденцию уменьшения массы растительных остатков под влиянием азотного удобрения (-2 -4%) повышалось накопление как общего, так и фиксированного азота на 16% и 14% соответственно или с 55 кг/га до 64 кг/га и с 22 кг/га до 25 кг/га, главным образом за счет увеличения концентрации $N_{\text{общ.}}$ и $N_{\text{фикс.}}$ в злаковом компоненте (табл. 6).

Таблица 6

Влияние удобрений на накопление общего и симбиотически связанного азота в биомассе люпина на зерно в чистом и смешанном посевах, среднее за 2018-2019 гг. В среднем по нормам высева

| Показатели | | | чистый посев | | люпино-пшеничная смесь | |
|---|----------------|-------------------------|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| | | | $P_{45}K_{60}$ | $N_{50}P_{45}K_{60}$ | $P_{45}K_{60}$ | $N_{50}P_{45}K_{60}$ |
| Накопление азота, кг/га | общего | всего, в том числе: | 250 | 219 | 175 | 174 |
| | | в зерне | 181 | 152 | 120 | 109 |
| | | в растительных остатках | 69 | 67 | 55 | 64 |
| | фиксированного | всего, в том числе: | 170 | 83 | 77 | 67 |
| | | в зерне | 123 | 58 | 55 | 42 |
| | | в растительных остатках | 47 | 25 | 22 | 25 |
| Фиксированный азот растительных остатков в расчете на 1 т зерна, кг | | | 14,0 | 8,5 | 7,0 | 8,5 |

Полученные в опыте величины накопления симбиотически связанного азота в растительных остатках одновидового и смешанного посевов в условиях засухи не восполняли выноса азота из почвы товарной частью урожая, то есть – не обеспечивали обогащения им пахотного слоя. Дефицит фиксированного азота растительных остатков в почве при этом в чистом посеве люпина на фосфорно-калийном фоне в зависимости от норм высева варьировал в диапазоне 5-14 кг/га, на фоне NPK – увеличивался до 66-75 кг/га, в смешанном посеве соответственно составлял 39-47 кг/га и 43-46 кг/га без четкой связи с фоном и нормами высева, а в вариантах с максимальной продуктивностью достигал 14 кг и 46 кг.

Выводы

1. Азотфиксирующая способность (Кф) узколистного люпина Ладный в одновидовом посеве на хорошо обеспеченной фосфором и калием дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья в засушливых условиях 2018-2019 годов максимальных значений 69-71% достигала без внесения азотного удобрения по фону P45K60 и нормах ввсера 1,6-1,8 млн/га.

Конкурентные взаимоотношения компонентов в смешанном люпино-пшеничном посеве снижали Кф на лучших вариантах (P₄₅K₆₀ и 1,4-1,6+3,0 млн/га) до 42%. Азот удобрений при предпосевном внесении снижал величину Кф в одновидовом посеве в среднем до 38-41%, в смеси – до 36%.

2. Сухая масса растительных остатков (солома + стерня + корни в слое почвы 0-20 см) на лучших по продуктивности вариантах в чистом и смешанном посевах достигала 55,2 и 54,9 ц/га, в том числе соломы 74% и 64% с накоплением в них порядка 70 и 50 кг/га общего, 50 и 20 кг/га фиксированного из атмосферы азота или 19 и 13 кг, 16 и 7 кг в расчете на 1 т зерна соответственно.

3. При выращивании на зерно в засушливых условиях биологический азот растительных остатков люпина узколистного как в чистом посеве, так и в смеси не покрывал вынос азота из почвы товарной частью урожая, то есть – не обеспечивал обогащения им пахотного слоя. Превышение выноса азота из почвы над поступлением за счет N₂-фиксации на лучших по продуктивности вариантах в одновидовом посеве составило 14 кг/га, в смеси увеличилось до 46 кг/га.

Литература

1. Такунов И.П., Кононов А.С., Слесарева Т.Н. Роль и эффективность люпина в производстве кормов // Состояние и перспективы выращивания люпина в северо-западной зоне РФ / Материалы семинара Великие Луки. – 1996. – С. 16-20.
2. Такунов И.П., Яговенко Л.Л. Значение люпина в биологическом земледелии // Земледелие. – 1997, – № 6. – С. 26-27.
3. Куракова Н.Г., Умаров М.М. Влияние различных форм минеральных соединений азота на процессы азотфиксации в дерново-подзолистой почве и черноземе // Почвоведение, – 1983. – № 4. – С. 38-42.
4. Конончук В.В., Тимошенко С.М., Штырхунув В.Д., Благовещенский Г.В., Назарова Т.О., Соболев С.В., Меднов А.В. Продуктивность детерминантных сортов люпина узколистного Немчиновской селекции в одновидовых и смешанных посевах в зависимости от норм высева и удобрений в Центральном Нечерноземье // «Немчиновка» вчера и сегодня. Становление коллектива и развитие научных исследований. – М.: – 2019. – С. 180-190.

References

1. Takunov I.P., Kononov A.S., Slesareva T.N. The role and effectiveness of lupine in feed production. The state and prospects of growing lupine in the northwestern zone of the Russian Federation. *Materialy seminara Velikie Luki – Workshop materials Velikie Luki*. 1996. pp.16-20. (In Russian)
2. Takunov I.P., Yagovenko L.L. The Importance of Lupine in Biological Farming. *Zemledelie – Agriculture*. 1997, no.6. pp. 26-27. (In Russian)
3. Kurakova N.G., Umarov M.M. The influence of various forms of mineral nitrogen compounds on the processes of nitrogen fixation in sod-podzolic soil and chernozem. *Pochvovedenie – Soil Science*, 1983, no.4. pp.38-42. (In Russian)
4. Kononchuk V.V., Timoshenko S.M., Shtyrkhunov V.D., Blagoveshchenskii G.V., Nazarova T.O., Sobolev S.V., Mednov A.V. Productivity of the determinant varieties of narrow-leaved lupine of the Nemchinovka selection in single-species and mixed crops, depending on the seeding and fertilizer rates in the Central Non-Black Earth Region. *«Nemchinovka» vchera i segodnya. Stanovlenie kollektiva i razvitie nauchnykh issledovaniy. [Nemchinovka yesterday and today. The formation of the team and the development of scientific research]*. M. 2019. pp. 180-190. (In Russian)