

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРТАМИ ЯЧМЕНЯ ИЗОТОПА ^{15}N ИЗ РАЗЛИЧНЫХ УДОБРЕНИЙА. А. Завалин , Н. Я. Шмырева 

ORCID

Завалин А.А. [0000-0001-7717-877X](https://orcid.org/0000-0001-7717-877X)Шмырева Н.Я. [0000-001-7227-1844](https://orcid.org/0000-001-7227-1844)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»,
127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а,
e-mail: zavalin.52@mail.ru

Поступила в редакцию 03.03.2025, принята в печать 24.03.2025

В опыте с применением стабильного изотопа ^{15}N изучено потребление азота сортами ярового ячменя при внесении в качестве азотных удобрений сульфата аммония и горчицы белой. Установлено, что у сорта Нур при внесении сульфата аммония урожайность зерна получена на 38% выше в сравнении с сортом Владимир и на 13% выше при использовании горчицы белой. Сорт Нур формирует зерно с содержанием белка на 0,8–1,3% больше по сравнению с сортом Владимир. Максимальное количество азота аммония сульфата и азота горчицы белой использует сорт Нур по сравнению с сортом Владимир. При внесении органического удобрения оба сорта снижали до 11–12% потребление экстра-азота. Максимальное количество азота минерального удобрения от вносимой дозы (42%) потреблял сорт Нур, чуть меньше – сорт Владимир (38%). Использование обоими сортами азота из органического удобрения снижается до 34–31% от вносимой дозы. В слое почвы от 0 до 100 см происходит иммобилизация 28–34% азота минерального удобрения и 41–45% азота органического удобрения. Сделан вывод о том, что при выращивании сорта Владимир наблюдается меньшее потребление ячменем азота удобрений, что приводит к неучтенным потерям этого элемента. Эти потери возрастают при внесении минерального удобрения, снижаются – в случае применения органического.

Ключевые слова: азотные удобрения, ячмень, изотоп ^{15}N , питание растений.

THE USE OF ^{15}N BY BARLEY VARIETIES FROM VARIOUS FERTILIZERS

A. A. Zavalin, N. Ya. Shmyreva

All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov,
127434, Russia, Moscow, Pryanishnikova St., 31a,
e-mail: zavalin.52@mail.ru

The productivity and grain quality of two barley varieties were assessed when mineral (ammonium sulfate) and green (white mustard biomass) fertilizers were added to sod-podzolic medium loamy soil. The grain yield of the Nur variety, compared to the Vladimir variety, was 38% higher with ammonium sulfate application and 13% higher with the green fertilizer application. The Nur variety forms grain with a protein content of 0.8–1.3% higher and uses the maximum amount of ammonium sulfate nitrogen and the green fertilizer nitrogen compared to the Vladimir variety. When organic fertilizer was applied, both varieties reduced the consumption of «extra nitrogen» to 11–12%. The Nur variety consumed the maximum amount of mineral fertilizer nitrogen from the applied dose (42%), while the Vladimir variety consumed slightly less (38%). The use of nitrogen from the green fertilizer by both varieties decreased to 34–31% of the applied dose. 28–34% of the mineral fertilizer nitrogen and 41–45% of the green fertilizer nitrogen are immobilized in the 0–100 cm soil layer. Due to the lower consumption of nitrogen fertilizers by barley for the crop formation, gaseous nitrogen losses are greater for the Vladimir variety, while for both varieties they increase with the application of the mineral fertilizer and decrease with the use of the green fertilizer.

Key words: nitrogen fertilizer, barley, ^{15}N usage, plant nutrition.

ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень занимает второе место среди зерновых культур по площади посева и объёму сбора зерна, уступая по этим показателям лишь озимой пшенице. Питательная ценность зерна ярового ячменя обусловлена богатым белковым комплексом, включающим в себя незаменимые аминокислоты. Среди них следует выделить лизин, метионин и триптофан (Политыко и др., 2018).

Урожайность ячменя определяют в значительной степени применением азотных

удобрений. Так, в длительном (56 лет) полевом опыте, проведенном в Московской области, на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой слабокультуренной почве (реакция почвенной среды $\text{pH}=5,4$), при внесении минеральных удобрений под яровой ячмень сорта Нур в дозах $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ получили урожай зерна в среднем за три года $4,61 \text{ т га}^{-1}$ с содержанием в нем белка 11,7%, а на почве при $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,7$ урожай зерна снизился до $4,04 \text{ т га}^{-1}$ с содержанием белка 11,3% (Бижан, 2023). На дерново-подзолистой суглинистой почве при реакции почвенной среды $\text{pH } 5,4$ внесение

$N_{90}P_{60}K_{90}$ обеспечило максимальное 10,6% содержание белка в зерне ячменя сорта Нур (Кирпичников и др., 2022).

В ходе полевых экспериментов, осуществленных на дерново-подзолистых почвах, изучена реакция различных сортов ярового ячменя на применение минеральных удобрений. Установлено, что при внесении дозы N_{120} урожайность зерна у сортов Нур и Эльф составила $5,3 \text{ т га}^{-1}$, а у сорта Московский 2 – $4,5 \text{ т га}^{-1}$. Вместе с тем без применения удобрений показатель урожайности достиг лишь 2,9, 2,8 и $2,2 \text{ т га}^{-1}$ для сортов Нур, Эльф и Московский 2 соответственно. Яровой ячмень сорта Саншайн на выщелоченном черноземе формировал урожай зерна без удобрений, равный $2,3 \text{ т га}^{-1}$. При внесении $P_{60}K_{60}$ он возрастал до $3,7 \text{ т га}^{-1}$, при использовании N_{60} на фоне РК — до $4,2 \text{ т га}^{-1}$, а при внесении N_{90} составлял $4,7 \text{ т га}^{-1}$ (Шафран, Виноградова, 2024).

Показана также эффективность применения удобрений на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве под пивоваренный сорт ячменя Владимир, при этом урожайность зерна составила $4,02 \text{ т га}^{-1}$, а в случае сорта Яромир — $4,29 \text{ т га}^{-1}$; содержание белка соответственно 11,6 и 11,7%. Без удобрений получен урожай зерна в значительно меньшей степени ($2,58$ и $2,97 \text{ т га}^{-1}$ соответственно), с содержанием белка около 11% (Кузьмич и др., 2019).

В Московской области, на дерново-подзолистой почве, исследован процесс выращивания сортов ярового ячменя, таких как Владимир, Московский 86, Яромир и Нур. Три различные технологии (базовая, интенсивная и высокоинтенсивная), использованные в условиях эксперимента, отличались уровнем применения минеральных удобрений и средств защиты растений. В рамках каждой из этих технологий в фазе кущения провели подкормку посевов аммиачной селитрой в дозе N_{30} . В высокой интенсивной технологии в фазе колошения ячменя выполнили вторую подкормку N_{30} . С повышением уровня технологий урожайность зерна новых сортов ячменя возрастала, и при выращивании культуры по высокоинтенсивной технологии она достигла $8\text{--}11 \text{ т га}^{-1}$ для сортов Яромир и Нур. Сорта Владимир и Московский 86 уступали по урожайности на $0,3\text{--}0,4 \text{ т га}^{-1}$. В зерне сортов Владимир и Московский 86 с учетом применяемой технологии содержание белка получено выше: 12,0–14,7% (Политыко и др., 2017; Политыко и др., 2021).

С учетом результатов опытов стало очевидным, что азот выполняет важнейшую функцию в формировании урожая и качества зерна ячменя. Повышение использования растениями такого вида удобрений при формировании урожая ячменя и других сельскохозяйственных культур, снижение непроизводительных его потерь в форме закиси азота имеют преобладающее значение для России и других стран.

По данным исследований (Завалин, Соколов, 2016; Кореньков, 1999) с меченым стабильным изотопом ^{15}N , коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) ячменем в среднем равен 42% (крайние отклонения были в пределах 24–60%). При проведении микрополевого эксперимента на дерново-

подзолистой почве склона с использованием меченого сульфата аммония $^{15}N_{50}$ установлен оптимальный баланс азота удобрения при локальном внесении удобрений лентой на глубину 10 см под посев ярового ячменя сорта Носовский 9. В приводораздельной части склона ($2\text{--}3^\circ$) ячменем использовано 34% азота удобрения, а в нижней части склона ($5\text{--}7^\circ$) – 24%. В слое почвы 0–100 см закреплено 32 и 25% азота соответственно, потери составили 34 и 51% по сравнению с разбросным способом внесения. В этих условиях яровой ячмень сформировал максимальную массу зерна и соломы (411 г м^{-2} и 600 г м^{-2} соответственно) в приводораздельной части склона с минимальной крутизной при локальном внесении азотного удобрения (Шмырева и др., 2017).

Таким образом, показатели воздействия удобрений на урожай, использования растениями внесенного азота изменяются в широком диапазоне с учетом форм, способов внесения и сортовых особенностей ярового ячменя.

Цель исследования — изучить воздействие минерального и органического удобрений, меченных ^{15}N , на продуктивность, использование азота растениями, закрепление в почве и потери.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения поставленной цели проведен микрополевого эксперимент на дерново-подзолистой среднесуглинистой среднеэродированной почве, в ходе которого применено два сорта ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.), различающихся по урожайности и содержанию белка в зерне (Каталог..., 2018). Яровой ячмень сорта Нур, селекционный номер 1585/93н 504, представляет собой результат скрещивания сортов Верас и Московский 3/125 с последующим введением гена Run 15 методом беккрасса. Этот сорт относится к среднеспелым и среднерослым. Вегетационный период – от 67 до 86 суток. Зерно такого ячменя ценят за его качества, которые находят применение в пищевой промышленности и производстве пива. Данный сорт обладает высоким потенциалом урожайности, рекомендуется для выращивания в Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском и Средневолжском регионах, но может успешно культивироваться и в других областях страны. Средняя урожайность зерна в указанных регионах составляет $3,4 \text{ т га}^{-1}$, что соответствует уровню стандартных сортов. Содержание белка в зерне варьируется от 10,2 до 15,2%. Ячмень сорта Нур отличается сильным кущением и устойчивостью к полеганию, обладает засухоустойчивостью, слабо подвержен поражению такими заболеваниями, как пыльная головня и гельминтоспориозные пятнистости. Ячмень сорта Владимир представляет собой пивоваренный и зернофуражный сорт, обладающий высоким потенциалом продуктивности и адаптивностью к различным условиям возделывания, включая засуху и кислотность почвы. Указанный сорт имеет родословную *Lobeax*(Дина $\times$ Биол 1) и включен в Государственный реестр по Центральному и Центрально-Черноземному регионам. Куст прямостоячий, среднерослый, среднеспелый, с вегетационным периодом 68–87 суток. Устойчивость к

полеганию обеспечена прочной упругой соломинной. Сравнительно устойчив к твердой головне, сетчатой пятнистости, корневым гнилям и ринхоспориозу. Содержание белка в зерне достигает 9,5–14,5%. Средняя урожайность – 2,9 т га⁻¹. Максимальная урожайность такого ячменя, полученная в Липецкой области, составила 7,3 т га⁻¹.

Исследования проведены в 2022–2023 гг. в Смоленской области, на опытном участке Смоленского научно-исследовательского института сельского хозяйства (п. Олыша), на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (карбонатном моренном суглинке с содержанием физической глины 24,7%). Почва слабосмытая, не более 3 см, гумусового горизонта А1 (припахивается подзолистый горизонт А2 на 7 см), на выпуклом склоне юго-восточной экспозиции крутизной 2–3° в приводораздельной части склона, длина которого 300 м.

Перед закладкой опыта исследованы агрохимические показатели 0–20 см слоя почвы. Результаты свидетельствуют о том, что рН_{KCl} почвы составляет 5,7; содержание Нг – 1,18 ммоль (100 г почвы)⁻¹; гумуса (по Тюрину) – 2,1%, общего азота (по Кьельдалю, ГОСТ Р 58596-2019) – 0,09%. Содержание подвижных форм (по Кирсанову) фосфора составило 137 мг кг⁻¹, а калия – 138 мг кг⁻¹.

Микрополевым опытом проведен на делянках размером 0,5×0,5 м в четырехкратной повторности, варианты с внесением ¹⁵N — в двукратной повторности. Защитные полосы между делянками имели ширину 0,5 м, а расположение делянок было систематическим. Почва обработана отвальной вспашкой с рыхлением подпахотного слоя на глубину 10–15 см. В схему опыта включены следующие варианты, в которых дозы удобрений указаны в граммах на м²: Р₆К₆ – фон; фон + ¹⁵N₆ (Na); фон + горчица белая (Г) в эквивалентной дозе 6 г ¹⁵N на м². Фосфорное и калийное удобрения (двойной суперфосфат и хлористый калий) внесены осенью в качестве фона (вразброс с заделкой) в почву на глубину 7–10 см. Азотное удобрение сульфат аммония (Na) с избытком ¹⁵N 17,2 ат.% внесено весной в почву на глубину 10 см. В качестве органического удобрения использована меченая биомасса Г, выращенная за год до закладки основного опыта на отдельном полевом участке (дерново-подзолистой среднесуглинистой почве). Перед посевом Г в почву внесен высокообогащенный ¹⁵N сульфат аммония (92,3 ат.%). В период массового цветения растения срезали и сушили в тени до воздушно-сухого состояния. Полученная биомасса Г с содержанием N_{общ.} – 3,50%, углерода – 47%, соотношением C:N=13,1, избытком – 17,4 ат.% измельчена на отрезки 0,2–0,3 см и внесена с наступлением осени (согласно схеме опыта) на глубину 10 см лентой. Нормы высева составила 550 всхожих семян ячменя на м².

В фазу полной спелости зерна, в сухую погоду, растения ярового ячменя отбирали. Утром, после высыхания росы, срезали их секатором на высоте 3–5

см от почвы на площадках микрополевого опыта и помещали в хлопчатобумажные мешки из ткани с этикетками, на которых указывали вариант опыта. Растения перевозили в лабораторию агрохимии минерального и биологического азота, раскладывали на лабораторных столах для просушивания. Колосья ячменя отрезали от стеблей, зерно отделяли от половы и просеивали при помощи зерновых сит. Учитывали массу зерна и соломы. Растительные образцы зерна и соломы размалывали на специальных мельницах.

Почвенные образцы после уборки урожая отбирали почвенным буром в четырех скважинах, на площадках микрополевого опыта (через 10 см) до глубины 100 см, помещали в почвенные мешочки с этикетками, на которых были указаны название варианта опыта и глубина взятия пробы. В лаборатории раскладывали почвенные образцы на пергаментной бумаге для просушивания, удаляли корни растений и включения (галку, раковины, угли и др.). После отбора корней растений почву подвергали процедуре просеивания через сито с ячейками диаметром 0,25 мм. Это позволяло получить однородный образец почвы, который обеспечивал возможность проведения повторных измерений. Минеральные компоненты почвы, оставшиеся на сите (при условии, что их диаметр превышал 1 мм), измельчали вручную в фарфоровой ступке с помощью пестика и присоединяли к части грунта, которая прошла через сито. Затем пробу тщательно перемешивали и помещали в пакеты из пергамента для хранения. В подготовленных растительных и почвенных образцах отбирали средний смешанный образец с нумерацией вариантов опыта (по 20 г) в специальные пергаментные пакеты для химического анализа общего азота и его изотопного состава ¹⁵N.

Определение общего азота и его изотопного состава проводили с применением метода сухого сжигания на масс-спектрометре Delta V. Содержание белка в зерне рассчитывали путем умножения содержания общего азота на коэффициент 5,7. Данные о массе зерна и соломы, а также о содержании белка в зерне обрабатывали с помощью метода дисперсионного анализа (STATVNIA). Достоверность различий оценивали с использованием F-критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного микрополевого эксперимента выявлено, что величины биомассы зерна и соломы ячменя находятся в прямой зависимости от сортовых характеристик и используемых азотных удобрений, как следует из табл. 1. Максимальный урожай зерна и соломы формирует сорт Нур при внесении Na (на 38 и 41% больше по сравнению с сортом Владимир). При внесении Г продуктивность сорта Владимир в сравнении с сортом Нур снижается на 13%. Это обусловлено усилением иммобилизации в почве азота, содержащегося в удобрении (Кузьмич и др., 2019).

Таблица 1. Воздействие азотных удобрений на массу зерна и соломы, содержание белка в зерне ячменя

Вариант	Масса зерна					Масса соломы		
	масса, г м ⁻²	прибавка		белок	прибавка	масса, г м ⁻²	прибавка	
		г м ⁻²	%		%		г м ⁻²	%
Р ₆ К ₆ (фон)	147	–	–	11,6	–	206	–	–
Фон + Na	372	225	153	12,9	1,3	521	315	153
Фон + Г	249	102	69	12,5	0,9	349	143	69
НСР ₀₅	17	–	–	0,2	–	7	–	–
Р ₆ К ₆ (фон)	101	–	–	10,8	–	140	–	–
Фон + Na	269	168	166	11,6	0,8	370	230	164
Фон + Г	220	119	118	11,2	0,4	310	170	121
НСР ₀₅	16	–	–	0,2	–	10	–	–

Сорт Нур характеризовался формированием зерна с более высоким содержанием белка, что превышало показатели сорта Владимир на 0,8–1,3%. При внесении минерального азотного удобрения оба сорта демонстрировали увеличение содержания белка в зерне по сравнению с органическим удобрением, при использовании которого содержание белка в зерне было на 0,4% меньше. Это объясняется более эффективным усвоением растениями азота из минерального удобрения (Завалин, Соколов, 2016). Кроме того, при внесении азотсодержащих удобрений под ячмень наблюдалось увеличение массы соломы, что также отражено в таблице 1. Более отзывчивым на N-удобрения оказался сорт Нур. При этом масса соломы у обоих сортов формировалась выше при внесении Na, поскольку указанное минеральное удобрение доступнее для растений по сравнению с органическим (Кореньков, 1999; Завалин, Соколов, 2016).

На основе содержания в зерне и соломе общего азота, значений их массы рассчитан вынос элемента сортами ячменя. Использование стабильного изотопа ¹⁵N позволило определить источники азота удобрения и азота почвы в формировании биомассы ячменя, как видно в таблице 2. Сорт Нур для формирования более высокого урожая зерна потребовалось максимальное количество потребляемого азота из удобрений и почвы (на 12 и 27% соответственно) по сравнению с сортом Владимир. При внесении Г сорт Нур на 5% больше потреблял азот органического удобрения, на 29% – азот почвы по сравнению с сортом Владимир.

Уменьшение потребления азота растениями обоих сортов ячменя при использовании органического удобрения обусловлено замедлением процессов мобилизации азота и усилением процессов его иммобилизации в почве вследствие поступления дополнительного количества углерода с корневыми выделениями растений (Семенов, 2020). При внесении азотного удобрения происходит усиление микробиологической активности почвы, что приводит к образованию экстра-азота, поглощаемого растениями (Кореньков, 1999). В данном опыте при внесении Na оба сорта ячменя использованы для формирования биомассы экстра-азота, как показано в таблице 2. В случае внесения Г количество этой формы азота, используемого растениями, в шесть с половиной раз меньше по сравнению с минеральной формой азотного удобрения, что свидетельствует об усилении минерализации азота почвы (Кореньков, 1999).

Применение удобрений, меченых изотопом ¹⁵N, предоставляет возможность тщательно исследовать трансформацию азота удобрений в почве и рассчитать его баланс в агросистеме. Ранее проведенные исследования с использованием ¹⁵N показали, что в год применения таких меченых форм только часть азота усваивается растениями, другая часть закрепляется микроорганизмами в почве или связывается с органическими веществами и фиксируется глинистыми минералами. Оставшаяся часть азота теряется в виде газообразных соединений или инфильтруется с нисходящим потоком воды (Кореньков, 1999; Regehn et al., 2015; Алферов, 2020).

Таблица 2. Ассимиляция азота из удобрений и почвенного азота различными сортами ячменя

Вариант	Общий вынос азота, г м ⁻²	N удобрения		N почвы		В том числе экстра-азот	
		г м ⁻²	% от выноса	г м ⁻²	% от выноса	г м ⁻²	% от выноса
Р ₆ К ₆ (фон)	6,4	–	–	6,4	–	–	–
Фон + Na	16,2	2,56	16	13,6	84	7,2	44
Фон + Г	9,5	1,96	21	7,5	79	1,1	11
НСР ₀₅	0,22	0,02	3,2	0,17	2,4	0,31	2,6
Р ₆ К ₆ (фон)	4,9	–	–	4,9	–	–	–
Фон + Na	13,0	2,28	17	10,7	83	5,8	45
Фон + Г	7,7	1,86	24	5,8	76	0,9	12
НСР ₀₅	0,14	0,07	2,7	0,28	1,3	0,18	1,3

Важнейшим критерием, определяющим эффективность усвоения растениями азота из удобрений, служит КИАУ. Объективное значение этого коэффициента можно получить с помощью метода изотопного анализа, используя изотоп азота ^{15}N . Разностный метод дает завышенные показатели (Кореньков, 1999; Завалин, Соколов, 2016; Алферов, 2020). В опыте КИАУ изменялся в зависимости от сорта; более высокий получен при выращивании сорта Нур, что отражено в таблице 3. При внесении под ямень органического удобрения, обладающего меньшей подвижностью азота, КИАУ снижался на 7–8% по сравнению с вариантом применения

минерального азотного удобрения. Различия в значениях КИАУ между сортами были менее выраженными. Иными словами, чем высокопродуктивнее сорт, тем выше использование азота из легкорастворимого минерального азотного удобрения.

Иммобилизация (или закрепление) в почве азота определена видами вносимых удобрений, как показано в таблице 3. Она существенно больше при использовании Г, что становится вполне понятным, поскольку азот, содержащийся в удобрении, менее подвижен, и растения потребляли его в меньшем количестве.

Таблица 3. Баланс азота минерального и органического удобрений при внесении под посевы сортов ячменя

Вариант	Потреблено растениями (КИАУ)		Иммобилизация (закрепление) в слое почвы 0–100 см		Потери	
	г м ⁻²	% от дозы	г м ⁻²	% от дозы	г м ⁻²	% от дозы
Фон + Na	2,56	42	1,96	34	1,48	24
Фон + Г	1,96	34	2,78	45	1,26	21
НСР ₀₅	0,02	5,2	0,01	2,9	0,03	1,0
Фон + Na	2,28	38	1,68	28	2,04	34
Фон + Г	1,86	31	2,46	41	1,68	28
НСР ₀₅	0,07	1,3	0,02	3,4	0,06	2,7

В процессе выращивания ячменя в дерново-подзолистой почве происходило значительное закрепление азота из удобрений. В частности, иммобилизация азота составила 28–45% от применяемой дозы. Закрепление азота при использовании Г на 32% было более эффективным по сравнению с использованием Na. Максимальное количество азота иммобилизовано в почве в случае выращивания сорта Нур. При внесении Na иммобилизация составила 17%, а при внесении Г — 13%. Это на 13 и 17% больше, чем при выращивании сорта Владимир. Большая иммобилизация азота при выращивании сорта Нур связана с функцией корневой системы. Корни растений выделяют значительное количество углеродсодержащих веществ, таких как органические кислоты и аминокислоты (Завалин, Соколов, 2016), до 12% от их надземной массы. В трансформации этих выделений активно участвуют почвенные микроорганизмы, усиливая оборачиваемость микробной биомассы (Семенов, 2020). В результате азот Г иммобилизовался в почве на 11% больше (от внесенной дозы) при выращивании сорта Нур, на 13% — сорта Владимир, по сравнению с внесением Na.

Определены и так называемые неучтенные потери азота из применяемых удобрений при выращивании различных сортов ячменя.

Минимальное количество ^{15}N потеряно при выращивании сорта Нур: –24% от внесенной дозы Na и 34% при внесении относительно сорта Владимир. В случаях использования органического удобрения потери азота в абсолютном выражении происходили значительно меньше по сравнению с внесением Na. Большие потери азота удобрений характерны при выращивании сорта Владимир, как следует из таблицы 3. Это связано с меньшим использованием азота для формирования урожая.

ВЫВОДЫ

Потребление азота определено сортовыми особенностями ячменя. В связи с тем, что урожайность зерна и масса соломы сорта Нур превосходила указанные показатели у сорта Владимир, потребление ^{15}N растениями получено выше, чем в случае сорта Владимир. Оба сорта в большей мере использовали азот минерального удобрения по сравнению с органическим. В результате коэффициент использования ^{15}N при первой форме получен на 6% выше. Максимальное количество азота из обоих удобрений (42 и 38% от внесенной дозы) использует сорт Нур. При внесении биомассы горчицы белой в почву, по сравнению с применением минерального удобрения, прослеживаются увеличение фиксации азота на 11–13% и снижение его потерь на 3–6%.

Список литературы

- Алферов А. А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. М.: РАН, 2020. 184 с.
- Бижан С. П. Влияние совместного применения фосфорных и магниевых удобрений на фоне азотно-калийных на урожай, качество и вынос элементов питания яровым ячменем в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2023. № 6. С. 39–46.
- Завалин А. А., Соколов О. А. Потоки азота в агроэкосистемах: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. 591 с.
- Каталог зерновых и зернобобовых культур селекции Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Издание 6-е дополненное. М.: РАН, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновки», 2018. 68 с.

- Кирпичников Н. А., Бижан С. П., Старостина Е. Н., Ивашенков Г. А., Музраев В. Н. Влияние фосфорных удобрений при известковании дерново-подзолистого почва на качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя // *Агрохимический вестник*. 2022. № 2. С. 22–27.
- Кореньков Д. А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.
- Кузьмич М. А., Политыко П. М., Артюхова О. А., Кузьмич Л. С. Качество зерна сортов ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений // *Агрохимический вестник*. 2019. № 6. С. 34–37.
- Политыко П. М., Киселев Е. Ф., Капранов В. Н., Мерзликин А. С., Посметный Р. С., Абрамова Н. А., Ерошенко Л. М., Табунщик Л. Ф., Беленикин С. В., Прокопенко А. Г., Малюта С. В., Кондратенко О. П., Федорищев В. Н., Тареев А. И. Роль минеральных удобрений и средств защиты зерна сортов ярового ячменя (*HORDEUM VULGARE*) при разных технологиях возделывания на дерново-подзолистых почвах // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2017. № 2. С. 13–18.
- Политыко П. М., Капранов В. Н., Гармаш Н. Ю., Гармаш Г. А., Теребенцева Л. А. Кормовая продуктивность сортов ярового ячменя в технологиях разного уровня интенсивности в условиях центрального Нечерноземья // *Агрохимический вестник*. 2021. № 6. С. 13–17.
- Семенов В. М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 78–96.
- Шафран С. А., Виноградова С. Б. Влияние сорта на потребление и вынос питательных веществ зерновыми культурами // *Агрохимия*. 2024. № 7. С. 36–47.
- Шмырева Н. Я., Соколов О. А., Завалин А. А., Литвинский В. А. Использование азота удобрений ячменем при различных способах внесения азотного удобрения в условиях эрозийного ландшафта // *Плодородие*. 2017. № 1. С. 54–56.
- Regehn A., Oelderman M., Videla C., Echarte L. Gross nitrogen mineralization and immobilization in temperate maize-soybean intercrops // *Plant and Soil*. 2015. V. 391. No 1–2. P. 353–365.

References

- Alferov A. A. *Assotsiativnyi azot, urozhai i ustoichivost' agroekosistemy* [Associative nitrogen, yield and sustainability of agroecosystems]. Moscow: RAS, 2020. 184 p.
- Bijan S. P. Vliianie sovместnogo primeneniia fosfornykh i magnievykh udobrenii na fone azotno-kaliinykh na urozhai, kachestvo i vynos elementov pitaniia iarovym iachmenem v zavisimosti ot kislotsnosti dernovo-podzolistoi pochvy [Effect of the joint application of phosphorus and magnesium fertilizers on the background of nitrogen-potassium fertilizers on yield, quality and removal of nutrient elements by spring barley depending on the acidity of sod-podzolic soil] // *Agrokhimiia*, 2023, no 6, pp. 39–46.
- Zavalin A. A., Sokolov O. A. *Potoki azota v agroekosistemakh: ot idei D.N. Pryanishnikova do nashikh dnei* [Nitrogen fluxes in agroecosystems: from the ideas of D.N. Pryanishnikov to our days]. Moscow: VNIYAA, 2016. 591 p.
- Katalog zernovykh i zernobobovykh kul'tur seleksii Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra «Nemchinovka». Izdanie 6-e dopolnennoe* [Catalog of cereals and leguminous crops selection of the Federal Research Center «Nemchinovka». Edition 6th supplemented]. Moscow: RAN, FGBNU «Federal'nyi issledovatel'skii tsentr «Nemchinovki», 2018. 68 p.
- Kirpichnikov N.A., Bijan S.P., Starostina E.N., Ivashenkov G.A., Muzraev V.N. Vliianie fosfornykh udobrenii pri izvestkovanii dernovo-podzolistoi pochvy na kachestvo zerna ozimoi pshenitsy i iarovogo iachmenia [Influence of phosphorus fertilizers at liming of sod-podzolic soil on grain quality of winter wheat and spring barley] // *Agrokhimicheskii vestnik*, 2022, no 2, pp. 22–27.
- Korenkov D.A. *Agroekologicheskie aspekty primeneniia azotnykh udobrenii* [Agroecological aspects of nitrogen fertilizers application]. Moscow: Agroconsult, 1999. 296 p.
- Kuzmich M.A., Polityko P.M., Artyukhova O.A., Kuzmich L.S. Kachestvo zerna sortov iachmenia v zavisimosti ot doz mineral'nykh udobrenii [Grain quality of barley varieties depending on the doses of mineral fertilizers] // *Agrokhimicheskii vestnik*, 2019, no 6, pp. 34–37.
- Polityko P.M., Kiselev E.F., Kapranov V.N., Merzlikin A.S., Posmetny R.S., Abramova N.A., Eroshenko L.M., Tabunshchik L.F., Belenikin S.V., Prokopenko A.G., Malyuta S.V., Kondratenko O.P., Fedorishchev V.N., Tareev A.I. Rol' mineral'nykh udobrenii i sredstv zashchity zerna sortov iarovogo iachmenia (*HORDEUM VULGARE*) pri raznykh tekhnologiiakh vozdeleyvaniia na dernovo-podzolistykh pochvakh [The role of mineral fertilizers and grain protection products of spring barley varieties (*HORDEUM VULGARE*) under different cultivation technologies on sod-podzolic soils] // *Problemy agrokhimii i ekologii* [Problems of agrochemistry and ecology], 2017, no 2, pp. 13–18.
- Polityko P.M., Kapranov V.N., Garmash N.Y., Garmash G.A., Terebentseva L.A. Kormovaia produktivnost' sortov iarovogo iachmenia v tekhnologiiakh raznogo urovnia intensivnosti v usloviiakh tsentral'nogo Nечernozem'ia [Fodder productivity of spring barley varieties in technologies of different levels of intensity in the conditions of the central Non-Black Soil] // *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2021, no 6, pp. 13–17.
- Semenov V.M. Funktsii ugleroda v mineralizatsionno-immobilizatsionnom oborote azota v pochve [Functions of carbon in mineralization-immobilization turnover of nitrogen in soil] // *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 2020, no 6, pp. 78–96.
- Shafran, S.A.; Vinogradova, S.B. Vliianie sorta na potreblenie i vynos pitatel'nykh veshchestv zernovymi kul'turami [Variety influence on the consumption and removal of nutrients by grain crops] // *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 2024, no 7, pp. 36–47.
- Shmyreva N.Ya., Sokolov O.A., Zavalin A.A., Litvinsky V.A. Ispol'zovanie azota udobrenii iachmenem pri razlichnykh sposobakh vnesheniia azotnogo udobreniia v usloviiakh erozionnogo landshafta [Use of fertilizer nitrogen by barley under different methods of nitrogen fertilizer application in the conditions of erosion landscape] // *Plodorodie* [Fertility], 2017, no 1, pp. 54–56.
- Regehn A., Oelderman M., Videla C., Echarte L. Gross nitrogen mineralization and immobilization in temperate maize-soybean intercrops // *Plant and Soil*, 2015, vol. 391, no 1–2, pp. 353–365.