

ГЕНОТИПСПЕЦИФИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ НА УСВОЕНИЕ АЗОТА ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ (ИССЛЕДОВАНИЯ С ^{15}N)

А.А. Завалин¹, ак. РАН, Н.Я. Шмырева¹, к.б.н., Д.А. Соколов², О.А. Соколов¹, д.б.н.

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»
(ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)

127550, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН –
обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН,
127550, Россия, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, 2

В микрополевым эксперименте (площадь делянок 0,5×0,5 м) на дерново-подзолистой почве (Смоленская обл.) с двумя сортами ячменя: Носовский 9 (пивоваренный сорт) и Нур (с хорошими пивоваренными, пищевыми и фуражными качествами зерна) с применением меченых ^{15}N удобрений (сульфат аммония и биомасса горчицы белой) установлена генотипически специфическая реакция растений ячменя на удобрения.

Уже на ранних этапах развития (период кущения) растения сорта Нур потребляли больше в 2,2–4,6 раза азота почвы, на 33% азота минеральных удобрений и на 46% азота биомассы горчицы по сравнению с сортом Носовский 9. Растения сорта Нур лучше использовали азот минеральных (46%) и азот органических (37%) удобрений, чем сорт Носовский 9 (43 и 37%). При выращивании сорта Нур в почве иммобилизовалось в 1,3–1,5 раза больше азота удобрений и в 1,3–1,5 раза меньше образовалось газообразных соединений азота по сравнению с сортом Носовский 9. При этом при выращивании сорта Нур больше в 1,2–2,1 раза мобилизовалось азота почвы, в 2,3 раза его иммобилизовалось и в 2,2 раза меньше терялось газообразных соединений азота почвы. Растения сорта Нур потребляли дополнительное количество экстра-азота почвы (до 47% от выноса общего азота).

За счет лучшего усвоения азота минеральных и органических удобрений, а также почвенного азота сорт Нур формировал большие урожаи зерна (в 1,1–1,5 раза) и урожаи соломы (1,4–1,6 раза), чем сорт Носовский 9. В зерне сорта Нур содержалось больше сырого белка (в 1,1–1,2 раза) по сравнению с сортом Носовский 9.

Ключевые слова: сорт, ^{15}N азотных минеральных удобрений, ^{15}N органических удобрений (биомасса горчицы белой), азот почвы, мобилизация и иммобилизация азота, продуктивность сорта, сырой белок зерна.

Для цитирования: Завалин А.А., Шмырева Н.Я., Соколов Д.А., Соколов О.А. Генотипспецифическая реакция сортов ячменя на усвоение азота органических и минеральных азотных удобрений (исследования с ^{15}N)// Плодородие. – 2022. – №2. – С. 3–8. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.01.

В основе генотипспецифических механизмов влияния плодородия почвы на продукционный процесс сорта лежат процессы поглощения элементов питания (в т. ч. азота) корневыми системами: их транспорт, ассимиляция, метаболизм и депонирование (накопление) в растениях [1–3]. Продуктивность сорта обеспечивается комплексом физиологических признаков. Их функционирование зависит от надежности взаимодействия поглощающих и фотосинтезирующих систем, стабильности донорно-акцепторных отношений, поскольку направленность последних является ключевым фактором регуляции фотосинтеза, оказывающим влияние на поглотительную деятельность корней и активность механизмов адаптации растений к стрессорам. Именно корневая система растений и ее генетически детерминированная способность отличается усвоением элементов питания на уровне генотипа. Степень реакции растения на уровень питания обусловлена устойчивостью генотипа к действию абиотических и биотических факторов.

Генотипическая реакция сортов на условия питания тесно связана со строением и функциональной активностью транспортных и ферментных систем, скоростью

метаболизма и степенью участия ионов в продукционном процессе растения [1, 4, 5]. Сорта различаются по потребности и отзывчивости на разные элементы питания. Так, сорт ячменя Винер (уступающий сорту Московский 181 по урожаю зерна на 0,5 т/га) реагирует на все виды удобрений, тогда как сорт Московский 181 – только на азотные и калийные [6].

Плодородие почвы неодинаково влияет на формирование отдельных компонентов урожая. Так, доля влияния уровня питания на основные компоненты урожая ячменя составила (%): продуктивная кустистость – 38,9, озерненность колоса – 15,7, масса 1000 зерен – 64,3 [1, 7, 8]. У более продуктивных сортов повышается активность ферментов азотного обмена в листьях, а также ускоряется синтез мембранных АТФ-аз клеток корня ячменя. Причем скорость их обновления выше скорости обновления других мембранных белков [9].

Генотипспецифическую реакцию сортов на внесение органических и минеральных удобрений связывают с различной потребностью в элементах питания (в т. ч. азота) для синтеза единицы органического вещества. Сорта с высокой скоростью включения ^{15}N характери-

зовались большей интенсивностью накопления биомассы. Существует положительная связь между нитратредуктазной активностью (НРА), нитратассимилирующей способностью (НАС) и накоплением белков в зерне [1, 2, 7, 10, 11]. По уровню отзывчивости на уровень плодородия почвы сорта ячменя разделены на три группы [12-15].

Различные сорта растений неодинаково потребляют азот удобрения и азот почвы. Одни сорта эффективно используют азот минеральных удобрений, другие – почвенный азот. Что касается эффективности использования различными сортами азота органических удобрений, то таких данных в научной литературе нет [1, 2, 16, 17]. Применение ^{15}N в исследованиях позволяет решать эту задачу.

Цель исследований – с помощью меченых ^{15}N органических и минеральных удобрений определить усвоение и использование азота удобрения и азота почвы различными сортами ячменя в одинаковых почвенно-климатических условиях.

Методика. Исследования проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (Смоленская обл.) в микрополевым опыте с двумя сортами ячменя – Носовский 9 (пивоваренный сорт) и Нур (с хорошими пивоваренными, пищевыми и фуражными качествами зерна), среднеспелые. Сорт Нур обладает высокой адаптивностью к условиям возделывания. Вегетационный период 82-90 дней у сорта Носовский 9 и 70-93 дня у сорта Нур. Урожайность зерна 30-76 ц/га у сорта Носовский 9 и 34-81 ц/га у сорта Нур. Содержание белка 10,2-15,2%. Масса 1000 семян 38-46 г у сорта Носовский 9 и 46-52 г у сорта Нур. Сорта засухоустойчивые, устойчивы против полегания.

Агрохимическая характеристика почвы: pH 5,7, H_+ – 1,18, содержание обменных Ca^{2+} – 5,5 ммоль/100 г почвы и Mg^{2+} – 2,0 ммоль/100 г почвы, гумус – 2,1%, общий азот – 0,09%, подвижных форм фосфора – 137 и калия – 138 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Микрополевым опыт (размер делянок 0,5 х 0,5 м) проводили в 4-кратной повторности, с N^{15} в двукратной. Ширина защитных полос между микроделянками 0,5 м. Расположение делянок систематическое. Обработка почвы: отвальная вспашка + рыхление подпахотного слоя на глубину 10-15 см вручную. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы по гидролитической кислотности.

Опыт заложили по схеме (дозы удобрений в г/м²): 1. P_6K_6 (фон); 2. Фон + $^{15}\text{N}_6$; 3. Фон + $^{15}\text{N}_6$ – горчица. В качестве азотного удобрения использовали сульфат аммония, меченый ^{15}N (исходное обогащение 15,1 ат. %), в качестве органического – биомассу горчицы белой, меченой ^{15}N . Для этого горчицу выращивали предварительно на отдельном участке, под неё вносили сульфат аммония с высоким обогащением ^{15}N (свыше 90 ат. %). Растения убирали в период массового цветения, сушили до воздушно-сухого состояния. Измельченную биомассу горчицы (содержание азота – 3,50%, углерода – 47%, соотношение C:N = 13:1, исходное обогащение – 17,4 ат. %) вносили в почву с осени. Азотные удобрения вносили по фону фосфорного (двойной суперфосфат) и калийного (хлористый калий) удобрений весной. Норма высева 5,5 млн всхожих зерен на 1 га. Потоки почвенного азота и параметры устойчивости агрофитоценоза определяли согласно описанию [18-20].

Общий углерод, общий азот и изотопный состав азота в растительных и почвенных образцах устанавливали с помощью элементного анализатора методом сухого сжигания на масс-спектрометре Delta V. Данные урожая зерна и соломы, содержание белка в зерне обработаны методом дисперсионного анализа (STATVNIA), достоверность различий (разницу) оценивали по F-критерию Фишера.

Результаты и их обсуждение. Участие азота в продукционном процессе растения тесно связано с процессами поглощения, усвоения и использования азота удобрения и азота почвы. Возделываемые сорта неодинаково использовали и усваивали азот (рис.). Уже на ранних этапах развития растения (фаза кушения) сорта Нур потребляли больше в 2,2-4,6 раза азота почвы, на 33% азота минеральных удобрений и на 46% азота горчицы по сравнению с растениями сорта Носовский 9. Усиленное потребление азота растениями сорта Нур связано с большим количеством NO_3 -каналов и NO_3 -переносчиков в его корнях [21-23].

Наибольшее количество азота растения ячменя потребляли в период трубкования-колошения. Так, растения сорта Нур потребляли больше: азота минерального удобрения на 45-47%, азота органического удобрения (горчицы) на 22-55%, азота почвы в 1,5-3,3 раза по сравнению с сортом Носовский 9. В период полного созревания зерна потребление азота органического удобрения и азота почвы у сорта Нур несколько снижалось по сравнению с сортом Носовский 9.

Для оценки достоверности полученных данных был проведен корреляционный анализ, который показал, что существует связь потребления азота между сортами ячменя и применяемыми удобрениями (сульфат аммония и биомасса горчицы белой, мечеными ^{15}N). Существует связь (общая) между P_6K_6 и $\text{P}_6\text{K}_6 + ^{15}\text{N}_6$ ($R^2 = 0,95$ $p < 0,05$) для всех сортов. В то же время для сорта Носовский 9 ($R^2 = 0,97$ $p < 0,05$) и сорта Нур ($R^2 = 0,98$ $p < 0,05$) также по отдельности. Существует связь (общая) между P_6K_6 и $\text{P}_6\text{K}_6 + ^{15}\text{G}_6$ ($R^2 = 0,93$ $p < 0,05$) с меченой горчицей, однако чуть слабее чем с меченым азотом ^{15}N . Сорта Носовский 9 ($R^2 = 0,97$ $p < 0,05$) и Нур ($R^2 = 0,92$ $p < 0,05$) также имеют сильную корреляционную зависимость по отдельности по потреблению азота удобрения и азота почвы. Исходя из полученных данных, можно считать, что приведенные значения достоверны.

В период полного созревания зерна сорт Нур потреблял азота в 1,3-2,0 раза больше, чем сорт Носовский 9 (табл. 1). Это происходило в основном за счет почвенного азота (больше в 2,2-2,4 раза), а также азота минерального азотного удобрения (на 7%) и азота органического удобрения (12%). При выращивании сорта Нур растения дополнительно потребляли азот почвы (47% от выноса при внесении минерального удобрения и 20% – при внесении органического удобрения), что свидетельствует об усилении процессов минерализации азота почвы. При выращивании сорта Носовский 9 усиливались процессы иммобилизации при внесении биомассы горчицы, в результате экстра-азот отсутствовал. Снижение потребления почвенного азота ячменем (по сравнению с контролем) при внесении биомассы горчицы связано со снижением дополнительной его мобилизации (минерализации) и усилением процессов иммобилизации за счет поступления углерода органического удобрения [24-27].

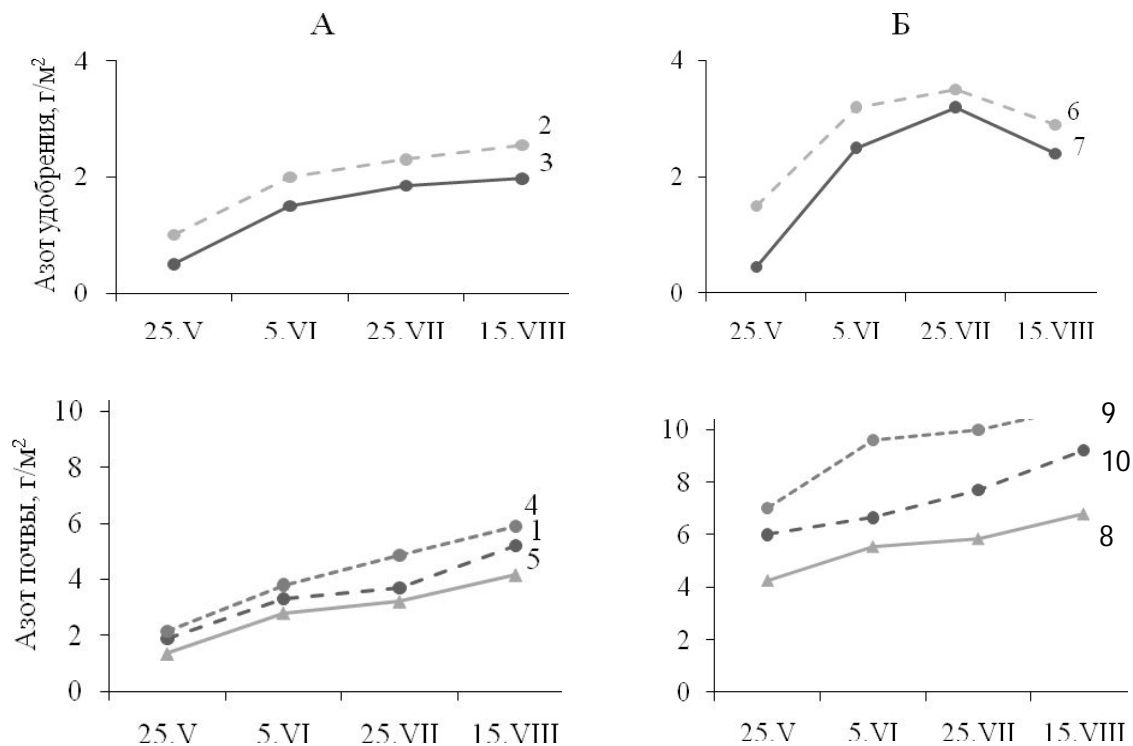


Рис. Динамика потребления азота удобрения и азота почвы сортами ячменя: А (1-5) – сорт Носовский 9; Б (6-10) – сорт Нур. Варианты: 1-6 – P_6K_6 ; 7, 8 – фон + $^{15}N_6$; 9, 10 – фон + $^{15}G_6$. Азот удобрения – 2, 3, 6, 7; азот почвы – 1, 4, 5, 8, 9 ($15,4 \text{ г } ^{15}N/m^2$), 10

1. Потребление азота удобрения и почвенного азота различными сортами ячменя

Вариант	Общий вынос азота, $г/м^2$	Азот					
		удобрения		почвы		экстра	
		$г/м^2$	% от выноса	$г/м^2$	% от выноса	$г/м^2$	% от выноса
P_6K_6 (фон)	5,4/6,9	-	-	5,4/6,9	100/100	-	-
Фон + $^{15}N_6$	8,9/18,2	2,58/2,76	29/15	6,37/15,44	71/85	0,98/8,53	11/47
Фон + $^{15}G_6$	6,1/11,4	1,98/2,22	32/19	4,13/9,18	68/81	- 1,26/2,27	- 21/20

Примечание. Числитель – сорт Носовский 9, знаменатель – сорт Нур.

С одной стороны, сорт Нур отличается от сорта Носовский 9 большим потреблением азота вследствие существенных различий в функциональной активности поглощающего аппарата его корневой системы (число каналов и активности переносчиков) [3, 5, 21]. С другой стороны, по-видимому, через корневую систему сорта Нур выделяется больше NO_3^- в почву, оказывая мобилизирующее действие на минерализацию органического вещества почвы. Образующиеся доступные формы азота почвы поглощаются корнями растения, усиливая круговорот азота в агрофитоценозе. В результате обменных процессов выделяемые корнями NO_3^- оказывают минерализующее действие на органическое вещество почвы, повышая их доступность растениям и микроорганизмам. Об этом свидетельствуют данные, полученные в условиях водной культуры, где проростки

различных сортов кукурузы выделяли до 32% количества нитратов, накопленных в растениях [22].

Выращиваемые сорта ячменя характеризуются широким диапазоном использования азота минеральных удобрений [1, 2, 16]. Что касается использования азота органических удобрений различными сортами растений, то вопрос остается открытым. Наибольшее количество азота минеральных и органических удобрений использовал сорт ячменя Нур (46 и 37% соответственно, что на 7 и 12% больше, чем сорт Носовский 9) (табл. 2). Самая высокая иммобилизация азота удобрения достигалась при внесении биомассы горчицы белой при выращивании сорта Нур, что в 1,4 раза выше по сравнению с сортом Носовский 9. Иммобилизация служит ограничивающим фактором образования газообразных соединений азота в почве: чем выше иммобилизация, тем ниже газообразные потери азота [28-31].

2. Поток и баланс азота органического и минерального удобрений при выращивании различных сортов ячменя

Вариант	Использовано растениями		Иммобилизация в слое почвы 0-40 см		Газообразные потери	
	$г/м^2$	% от дозы	$г/м^2$	% от дозы	$г/м^2$	% от дозы
Фон + $^{15}N_6$	2,58/2,76	43/46	1,86/2,22	31/37	1,56/1,02	26/17
Фон + $^{15}G_6$	1,98/2,22	33/37	2,76/3,00	46/50	1,02/0,78	17/13

Примечание. Числитель – сорт Носовский 9, знаменатель – сорт Нур.

При выращивании сорта Нур потери азота минеральных удобрений сокращались в 1,5 раза, потери азота органических удобрений – в 1,3 раза по сравнению с сортом Носовский 9. В целом потери азота органических удобрений снижались у возделываемых сортов ячменя в 1,3-1,5 раза по сравнению с потерями азота минеральных удобрений.

Включение азота удобрения во внутрипочвенный цикл определяется сортовыми особенностями трансформации азота и определяет режим функционирования

агрофитоценоза, однако прямых доказательств на этот счет в научной литературе нет [1, 2, 22, 32, 33].

Под действием азотного минерального удобрения иммобилизация азота почвы возросла в 2,4 раза, азота органического удобрения – в 2,2 раза у сорта Нур, по сравнению с сортом Носовский 9 (табл. 3). При этих же условиях минерализация почвенного азота при возделывании сорта Нур увеличилась в 1,2-2,4 раза. Внесение биомассы горчицы повысило иммобилизацию азота почвы по сорту Носовский 9 на 28%, по сорту Нур – на 21%.

3. Потоки азота почвы и азота удобрений при выращивании ячменя, г/м²

Показатель	Сорт Носовский 9		Сорт Нур	
	Фон + ¹⁵ N ₆	Фон + ¹⁵ Г ₆	Фон + ¹⁵ N ₆	Фон + ¹⁵ Г ₆
Вынос азота почвы	6,37	4,13	15,4	9,2
Остаточный азот	1,78	0,60	1,91	0,92
Иммобилизованный азот-реиммобилизованный азот почвы	12,74	16,32	30,10	36,34
Газообразные потери азота	18,48	11,04	7,64	6,60
Минерализованный азот почвы (М)	31,75	24,75	65,78	30,87
Нетто-минерализованный азот (Н-М)	19,01	8,23	36,92	8,83
Реиммобилизованный азот (РИ)	7,64	8,26	17,70	18,17
Использованный азот удобрения растениями	2,58	1,98	2,76	2,22
Иммобилизованный азот удобрения	1,86	3,42	2,22	3,00
Газообразные потери азота удобрения	1,56	0,60	1,02	0,78

Внесение биомассы горчицы снижало газообразные потери азота почвы: по сорту Носовский 9 – в 1,5 раза, по сорту Нур – в 1,7 раза (в абсолютных цифрах на 2,64 и 7,44 г/м² соответственно).

Согласно принятой классификации [19], агрофитоценоз сорта Носовский 9 функционировал при внесении одного минерального удобрения при самом низком режиме (предельно допустимом) (табл. 4). При внесении биомассы горчицы уровень устойчивости агрофи-

тоценоза повышался до допустимого режима за счет усиления иммобилизации азота и сокращения его газообразных потерь. Агрофитоценоз сорта Нур находился в том же режиме состояния, что и сорт Носовский, однако по показателям соотношения РИ:М (реиммобилизованный азот : минерализованный азот почвы) и Н-М:РИ (нетто-минерализованный азот : реиммобилизованный азот) он функционировал в более устойчивом режиме, чем сорт Носовский 9.

4. Показатели интегральной оценки функционирования агрофитоценоза при выращивании сортов ячменя

Сорт	Вариант	РИ : М, %	Н-М : РИ, %	Режим функционирования
Носовский 9	Фон + ¹⁵ N ₆	24	2,5	Предельно-допустимый
	Фон + ¹⁵ Г ₆	30	1,0	Допустимый
Нур	Фон + ¹⁵ N ₆	28	2,0	Предельно-допустимый
	Фон + ¹⁵ Г ₆	37	0,8	Допустимый

Эффективность применения удобрений под ячмень определялась сортом культуры и видом удобрений (табл. 5). Сорт Нур характеризовался более высокой продуктивностью по сравнению с сортом Носовский 9: на контроле – в 1,5 раза, при внесении азотного минерального удобрения – в 1,3, при внесении органического удобрения – в 1,1 раза. Наибольший урожай зерна формировал сорт Нур при внесении азотного минерального удобрения. При внесении органического удобрения в эквивалентной дозе (6 г N/м²) урожай зерна у сорта Носовский 9 снизился в 1,3 раза, а у сорта

Нур – в 1,6 раза по сравнению с азотным минеральным удобрением.

Снижение продуктивности сортов ячменя при внесении биомассы горчицы связано с усилением иммобилизации не только азота удобрения, но и почвенного азота [29, 33]. Одновременно происходит падение азотминерализующей способности, снижается доступность растений минерального азота в почве.

Формирование белкового комплекса зерна ячменя тесно связано с генотипическими признаками сорта и условиями питания растений (табл. 6).

5. Продуктивность сортов ячменя

Вариант	Зерно			Солома		
	Урожай, г/м ²	Прибавка		Урожай, г/м ²	Прибавка	
		г/м ²	%		г/м ²	%
Сорт Носовский 9						
Р ₆ К ₆ (фон)	114	-	-	143	-	-
Фон + ¹⁵ N ₆	309	195	171	350	207	145
Фон + ¹⁵ Г ₆	240	126	110	286	143	100
Р, %	2,2			2,0		
НСР _{0,5}	9,7			17,6		
Сорт Нур						
Р ₆ К ₆ (фон)	167	-	-	234	-	-
Фон + ¹⁵ N ₆	404	237	142	570	336	144
Фон + ¹⁵ Г ₆	258	91	54	387	153	65
НСР _{0,5}	6,8			8,9		

6. Содержание белка в зерне различных сортов ячменя, %

Вариант	Сорт Носовский 9	Сорт Нур
Р ₆ К ₆ (фон)	12,5	13,3
Фон + ¹⁵ N ₆	13,4	14,7
Фон + ¹⁵ Г ₆	12,3	14,5
НСР ₀₅	0,3	0,1

Зерно с более высоким содержанием белка формировал сорт Нур: на контроле – на 0,8%, при применении азотного минерального удобрения – на 1,3, при внесении органического удобрения – на 2,2% по сравнению с сортом Носовский 9. При внесении органического удобрения содержание белка в зерне снижалось (по той же причине, что и продуктивность): у сорта Носовский 9 на 0,2% по сравнению с контролем, тогда как у сорта Нур повышалось на 1,2%.

Выводы. Потоки азота удобрения и азота почвы, а также баланс азота удобрений генотипически детерминированы, поскольку интенсивность и направленность минерализационно-иммобилизационной трансформации его в почве тесно связаны с процессами усвоения и ассимиляции азота растениями. Растения ячменя сорта Нур уже в начале вегетации (фаза кущения) потребляли больше: азота почвы, азота минерального удобрения, азота органического удобрения (биомасса горчицы, меченой ¹⁵N) по сравнению с сортом Носовский 9. Растения сорта Нур потребляли в 1,3-2,0 раза больше азота, чем растения сорта Носовский 9. Это происходило в основном за счет почвенного азота (в 2,2-2,4 раза), а также азота минерального азотного удобрения (на 7%) и азота органического удобрения (на 12%).

В процессе баланса растения сорта Нур лучше использовали азот минеральных и органических удобрений (46 и 37% соответственно) против 43 и 33% у сорта Носовский 9. При выращивании сорта Нур в почве иммобилизовалось в 1,3-1,5 раза больше азота удобрений и в 1,3-1,5 раза меньше терялось газообразных соединений азота по сравнению с сортом Носовский 9.

При выращивании сорта Нур возросла направленность потоков азота почвы в сторону мобилизации и иммобилизации, и замедления потоков образования газообразных соединений азота почвы. Агрофитоценоз сорта Нур функционировал в режиме стресса на более высоком допустимом уровне воздействия.

Сорт Нур формировал более высокий урожай зерна: на 31% при внесении минерального удобрения и на 8% при внесении органического удобрения, по сравнению с сортом Носовский 9. При этом сорт Нур формировал зерно с более высоким содержанием сырого белка (в 1,1-1,2 раза). При внесении органических удобрений содержание сырого белка в зерне снижалось у сорта Носовский 9 на 1,1%, у сорта Нур – на 0,2%.

Литература

1. Гамзикова О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений. - Новосибирск, ИПФ «Агрос», 2008. - 372 с.
2. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. - М.: ВНИИА, Т. 1, 2009. - 424 с.
3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. - Новосибирск: НГАУ, 2013. - 790 с.
4. Ивашикина Н.В., Стармер Ц.Ф. Моделирование поглощения нитрата проростками кукурузы: отклонение от модели Михаэлиса-Ментен// Агрохимия. - 2000. - №7. - С. 10-17.
5. Glendinning M.J., Paulson P.R., Paulson D.S. Availability of the residual nitrogen from a single application of ¹⁵N - labeled fertilizer to subsequent

crops in a long-term continuous barley experiment. Plant & Soil, 2001, V. 233, №2, P. 231-239.

6. Романенкова М.М., Лубяко В.С. Влияние минеральных удобрений на урожай разных сортов ячменя// Агрохимия. - 1974. - № 11. - С. 82-89.
7. Климашевский Э.М. Генетический аспект минерального питания растений. - М.: Агропромиздат, 1991. - 415 с.
8. Беленкевич О.А., Шашко К.Г. Приспособленность сортов ярового ячменя к отдельным факторам среды по оценке количественных признаков// Сельскохозяйственная биология. - 1997. - №5. - С. 53-59.
9. Тихая Н.И., Тарабаева К.А., Вахмистров Д.Б. Прямое и опосредованное действие фитогормонов на активность мембранных АТФ-аз корней ячменя// Физиология растений. - 1988. - Т. 35. - №2. - С. 275-286.
10. Марченко Т.Ф., Нуцубидзе Н.Н. Включение нитратов, уровень содержания нитратов, накопления биомассы и НРА у проростков пшеницы и кукурузы – показатели усвоения азота. В кн. Азотный и белковый обмен растений. - Тбилиси: Наука, 1978. - С. 45-47.
11. Кузьмич М.А., Политыко П.М., Артюхова О.А. Качество зерна сортов ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений// Агрохимический вестник. - 2019. - №6. - С. 34-37.
12. Никулин Н.Р., Васильев Н.П., Кучумова А.П., Мерзон Е.Е. Отзывчивость разных сортов ячменя на удобрения в связи с нормами высев// Агрохимия. - 1978. - №12. - С. 51-54.
13. Иванова Т.И., Матвеева А.В., Ваулина А.В., Никулина А.В. Оценка пригодности сортов зерновых культур к возделыванию по интенсивным технологиям// Вестник с.-х. науки. - 1988. - №1. - С. 67-71.
14. Сычев В.Г., Милащенко Н.З., Шафран С.А. Агрохимические аспекты получения высококачественного зерна в России// Плодородие. - 2018. - №1. - С. 18-19.
15. Агеев В.В., Есаулко А.Н., Сычев В.Г., Сигида М.С., Коростылев С.А. Вклад многолетнего стационара «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафте» в фундаментальные и прикладные разработки агрохимии (длительный опыт геосети РАН)// Агрохимический вестник. - 2018. - №4. - С. 14-20.
16. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А., Литвинский В.А. Баланс азота удобрений при выращивании различных сортов ячменя на склоне// Плодородие. - 2014. - №3. - С. 9-12.
17. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Экология применения органических удобрений. - М.: ВНИИА, 2017. - 336 с.
18. Турчин Ф.В. Использование азотных удобрений урожаем и его превращение в почве// Журнал ВХО. - 1965. - Т. 10. - №4. - С. 400-401.
19. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. - Новосибирск: Наука, 1985. - 176 с.
20. Fried M., Dean L. Concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Science, 1952, v. 13, №4, P. 263-271.
21. Ивашикина Н.В. Физиологические и молекулярные механизмы поглощения нитрата растениями// Агрохимия. - 2001. - №2. - С. 80-92.
22. Егорова Н.Н., Ивашикина Н.В., Васильчиков В.В. Кинетический анализ поглощения нитрата проростками кукурузы// Физиол. раст. - 1995. - Т. 42. - №4. - С. 518-525.
23. Kramer A., Sollins P., Sletten R., Swart P. N isotope fractionation and measures of organic matter alteration during decomposition. Ecology, 2003, V. 84, P. 20-32.
24. Anbessa J., Juskiw P. Review: Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. Can. J. Plant Sci., 2012, V. 92, P. 618-625.
25. Семенов В.М., Семенов А.М., Бругер А.Х. Ван, Феррисс Х., Кузнецова Т.В. Трансформация азота почвы и органических остатков сообществом микроорганизмов и микроскопических животных // Агрохимия. - 2002. - №1. - С. 5-11.
26. Семенов В.М., Лебедева Т.Н. Проблемы углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты // Агрохимия. - 2015. - №11. - С. 3-12.
27. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве// Агрохимия. - 2020. - №6. - С. 78-96.
28. Iselsbacher E., Wanek W., Strauss J. A novel ¹⁵N tracer model reveals: Plant nitrate uptake governs nitrogen transformation rates in agricultural soils. Soil Biol. Biochem., 2013, V. 57, P. 301-310.
29. Серегин В.В., Янишевский Ф.В., Муравин Э.А. Использование ячменем меченого азота растительной массы бобовых культур с различным соотношением С:N при применении ингибитора нитрификации// Агрохимия. - 2000. - №6. - С. 42-51.
30. Кузнецова Т.В., Ходжаева А.К., Семенова Н.А. Минерализационно-иммобилизационная оборачиваемость азота в почве при разной обеспеченности разлагаемым органическим веществом// Агрохимия. - 2006. - №6. - С. 5-12.

31. Korsath A., Hendriksen T.M., Bakken L.R. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and N losses. *Soil Biol. Biochem.*, 2002, V. 34, P. 789-799.
32. Dijkstra F.A., Cheng W. Increased soil moisture content increases

plant N uptake and the abundance of ^{15}N in plant biomass. *Plant & Soil*, 2008, V. 302, P. 263-271.

33. Denk T.R.A., Mohn I., Decock C. The nitrogen cycle: A review of isotope effects and isotope modeling approaches. *Soil Biol. Biochem.*, 2017, V. 105, P. 121-137.

GENOTYPESPECIFIC REACTION OF BARLEY VARIETIES FOR THE ASSEMBLY OF ORGANIC AND MINERAL NITROGEN NITROGEN FERTILIZERS (STUDY WITH ^{15}N)

A.A. Zavalin¹, N. Ya. Shmyreva¹, D.A. Sokolov², O.A. Sokolov

¹Federal State Budget Scientific Institution

All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry named after D.N. Pryanishnikova

(FGBNU «All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry»)

127550, Russia, Moscow, st. Pryanishnikova, 31a

²Institute of Physicochemical and Biological problems of soil science RAS - a separate subdivision of the FRC PSCBI RAS,

142290, Russia, Moscow region, Pushchino, st. Institutskaya, 2

In a microfield experiment (plots area 0.5×0.5 m) on sod-podzolic soil (Smolensk region) with two varieties of barley (Nosovskiy 9 – brewing variety) and Nur – (with good brewing, food and fodder qualities of grain) using ^{15}N -labeled fertilizers (ammonium sulfate and white mustard biomass) the genotypic specification of barley plants for fertilizers has been established.

Already at the early stages of development (tillering period), plants of variety Nur consumed 2.2-4.6 times more soil nitrogen, 33% nitrogen of mineral fertilizers and 46% nitrogen of mustard biomass compared to variety Nosovskiy 9. Plants of the Nur variety used better mineral nitrogen (46%) and organic nitrogen (37%) fertilizers (versus 43 and 37%) of the Nosovskiy 9 variety. When growing variety Nur, 1.3-1.5 times more nitrogen of fertilizers was immobilized in the soil and 1.3-1.5 times less gaseous nitrogen compounds were formed in comparison with variety Nosovskiy 9. At the same time, when growing the variety Nur, 1.2-2.1 times more soil nitrogen was mobilized, 2.3 times more was immobilized, and 2.2 times less gaseous compounds of soil nitrogen was lost. Plants of the Nur variety consumed an additional amount of extra nitrogen from the soil (up to 47% of the total nitrogen removal).

Due to the better assimilation of nitrogen of mineral and organic fertilizers, as well as soil nitrogen, the Nur variety formed a larger grain yield (1.1-1.5 times) and straw yield (1.4-1.6 times) than the Nosovskiy 9 variety. The grain of the Nur variety contained more crude protein (1.1-1.2 times) as compared to the Nosovskiy 9 variety.

УДК 631.811.1:632.51:633.16

DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.02

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В ПОСЕВАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

А.М. Шпанев, д.б.н., ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

ashpanev@mail.ru

195220, Санкт-Петербург, Россия, Гражданский пр., 14

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»

196608, Санкт-Петербург, Россия, шоссе Подбельского, 3

Для широкого внедрения системы точного земледелия в России крайне востребованы знания об особенностях пространственного распространения вредных организмов в агроценозах. Исходя из того, что лидирующие позиции по объемам применения занимают гербициды, наиболее важны сведения о сорной растительности. Цель наших исследований заключалась в анализе пространственного размещения сорной растительности в посевах ярового ячменя – основной зерновой культуры на Северо-Западе РФ. Для изучения пространственного размещения сорных растений на всей площади поля визуально выделяли в разные годы 24 (15×15 м) или 54 (10×10 м) элементарных участка. Внутри каждого участка размещали по две-три постоянные площадки 0,1 м², на которых в фазе кущения ячменя проводили учет численности и проективного покрытия сорных растений отдельно по каждому виду. По результатам исследований выявлена выраженная пространственная неравномерность распространения сорных растений в посевах ярового ячменя, которая подтверждается высокими коэффициентами вариации (20-57 %) и агрегации (1,8-8,9). Неравномерное размещение сорных растений являлось следствием разного содержания элементов питания и кислотности пахотного горизонта, обусловленных длительным применением минеральных удобрений, а для многолетних двудольных еще и особенностями их размножения. Внесение минеральных удобрений приводило к снижению неоднородности и изменению характера пространственного размещения сорной растительности в посевах ячменя. Для видов, положительно реагирующих на улучшение питательного режима, таких как марь белая и пикульники, отмечалась тенденция к более агрегированному размещению на поле, а для торицы полевой, предпочитающей неудобренные участки с повышенной кислотностью почвы, к более равномерному.

Ключевые слова: яровой ячмень, минеральные удобрения, сорные растения, видовой состав, пространственная структура засоренности, коэффициент вариации, коэффициент агрегации.

Для цитирования: Шпанев А.М. Влияние минеральных удобрений на пространственное размещение сорных растений в посевах ярового ячменя// Плодородие. – 2022. – №2. – С. 8-12. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.02.