

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.16:631.582:631.82(470.32)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-78-87

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ВЛИЯНИЯ СЕВООБОРОТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИИ**

И. И. Гуреев, доктор технических наук, заведующий лабораторией севооборотов и адаптивных агротехнологий, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;

А. В. Гостев, доктор сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «Курский ФАНЦ», gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;

В. А. Лукьянов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, lukanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

С. В. Хлюпина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;

И. А. Прущик, научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Курский федеральный аграрный научный центр»,

305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Цель исследований – определение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность, качество зерна ярового ячменя и плодородие чернозема типичного в условиях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР). Исследования проводили в 2018 и 2022 гг. в многофакторном опыте, размещенном на водораздельном плато научно-производственного подразделения № 2 ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый, содержание гумуса – 5,9 %. Изучали факторы: севообороты – зернопаропропашной и зернотравянопропашной; дозы удобрений – без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Наиболее высокая биологическая урожайность ярового ячменя – до 5,99 т/га – отмечена в зернопаропропашном севообороте с дозой $N_{60}P_{60}K_{60}$. Однако наличие в зернотравянопропашном севообороте многолетних бобовых трав способствовало меньшему снижению гумуса, максимальные потери которого в нем составили 0,14 %, что на 0,02 % ниже, чем в зернопаропропашном севообороте. Тенденции агроэкологического влияния севооборотов и минеральных удобрений на показатели производства зерна ярового ячменя оценены цифровым методом – применением функции желательности Харрингтона. Установлено «приемлемое, удовлетворительное» влияние севооборотов и минеральных удобрений на исследуемые показатели в целом ($d_i = 0,50$), но применительно к отдельным показателям производства зерна уровень влияния севооборотов существенно разнится – от $d_i = 0,12$ «полностью неприемлемое» до $d_i = 0,83$ «наиболее приемлемое». Экологические свойства севооборота проявляются в оценке его влияния на содержание гумуса в почве: «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,38–0,52$). Комплексная оценка последствий минеральных удобрений по большинству показателей возрастала пропорционально их дозе, достигая $d_i = 0,49–0,65$, что свидетельствует об их «приемлемом, удовлетворительном» влиянии.

Ключевые слова: ячмень, севообороты, минеральные удобрения, урожайность, качество зерна, гумус, чернозем типичный.

Для цитирования: Гуреев И. И., Гостев А. В., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Агроэкологическая оценка влияния севооборотов и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях Центрально-Черноземного региона России // Зерновое хозяйство. 2024. Т. 16, № 5. С. 78–87. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-78-87.

**AGROECOLOGICAL ESTIMATION
OF THE EFFECT OF CROP ROTATION AND MINERAL FERTILIZERS
ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SPRING BARLEY GRAIN
IN THE CENTRAL BLACKEARTH REGION OF RUSSIA**

I. I. Gureev, Doctor of Technical Sciences, head of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;

A. V. Gostev, Doctor of Agricultural Sciences, director Federal Agricultural Kursk Research Center, gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;

V. A. Lukiyanov, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, lukanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

S. V. Khlyupina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;

I.A. Prushchik, researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397
Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, Karl Marks Str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

The purpose of the current study was to determine the effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity, grain quality of spring barley and fertility of typical chernozem in the Central Chernozem Region (CBR). The study was conducted in a multifactorial trial located on the watershed plateau of the research and production department No. 2 of the Federal Agricultural Kursk Research Center in 2018 and 2022. The soil of the experimental plot was typical medium-loamy chernozem, with 5.9 % of humus. There have been studied such factors as grain-fallow-row and grain-grass-row crop rotations; with fertilizer doses and no fertilizers, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. The highest biological productivity of spring barley up to 5.99 t/ha was identified in the grain-fallow-row crop rotation with the dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$. However, the presence of perennial leguminous grasses in the grain-grass-row crop rotation contributed to a smaller decrease in humus, the maximum loss of which in it was 0.14 %, which was 0.02 % lower than in the grain-fallow-row crop rotation. The trends of agroecological effect of crop rotations and mineral fertilizers on the indicators of spring barley grain production were estimated with a digital method, namely the Harrington desirability function. There has been established an "acceptable, satisfactory" effect of crop rotations and mineral fertilizers on the studied indicators ($d_i = 0.50$), but in relation to individual indicators of grain production, the level of effect of crop rotations varies significantly from $d_i = 0.12$ "completely unacceptable" to $d_i = 0.83$ "most acceptable". The ecological properties of crop rotation are manifested in the estimation of its effect on the humus content in the soil: "acceptable, satisfactory" ($d_i = 0.38-0.52$). The comprehensive estimation of the effect of mineral fertilizers for most indicators has increased proportionally to their dose, reaching $d_i = 0.49-0.65$, which indicates their "acceptable, satisfactory" effect.

Keywords: *barley, crop rotation, mineral fertilizers, productivity, grain quality, humus, typical blackearth.*

Введение. Одной из важнейших продовольственных задач аграриев Центрально-Черноземного региона страны было и остается производство зерна ячменя высокого качества. Эта культура универсальна, имеет продовольственную, техническую и фуражную направленность, обеспечивая экономическую стабильность и продовольственную безопасность нашей страны (Hladkikh et al., 2022; Тютюнов и др., 2023).

Яровой ячмень хорошо реагирует на приемы интенсификации производства – внесение удобрений, способы обработки почвы. Хороший эффект дает его правильное размещение в севообороте. Сегодня многие производители сельскохозяйственной продукции реализуют лишь 60–70 % возможностей урожайности культуры (Сабитов, 2023; Науметов, 2022; Holland et al., 2021). В этой связи для увеличения производства зерна ячменя требуются разработка и апробация адаптивных технологий, основанных на реализации биологических и антропогенных факторов выращивания, близких к местным условиям и имеющих положительное воздействие на элементы структуры урожая и качества зерна с учетом агрохимических свойств почвы (Piskareva et al., 2021; Пасынков и Пасынкова, 2020).

На показатели качества зерна ячменя, помимо минерального питания, большое влияние оказывают гидротермические условия (Kondratenko et al., 2022). В целом почвенно-климатические условия Центрально-Черноземного региона соответствуют получению урожайности ярового ячменя более 7 т/га. Лимитирующим фактором выступает географическое расположение региона в зоне неустойчивого увлажнения, вследствие чего из пяти лет ротации культуры три года выпадают на засушливые в разные периоды вегетации. Следовательно, дефицит влаги здесь оказывается одним из основных факторов

формирования урожая культуры (Левакова, 2022). Решение данной проблемы во многом зависит от правильного выбора предшественника и доз минеральных удобрений, которые способствуют созданию благоприятных условий для развития ячменя и сохранению плодородия почвы (Naeem et al., 2022; Радайкина и Камалихин, 2023; Poliovyu et al., 2021).

Цель исследований – определение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность, качество зерна ярового ячменя и плодородие чернозема типичного в условиях ЦЧР.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018 и 2022 гг. на водораздельном плато многофакторного опыта, размещенного в научно-производственном подразделении № 2 ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (село Панино, Медвенский район, Курская область). В качестве факторов изучали развернутые во времени севообороты и дозы минеральных удобрений. Исследовали следующие севообороты (фактор А): зернопаропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zea máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) – чистый пар); зернотравянопропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zea máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) + эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) – эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) первого года пользования. Минеральные удобрения (фактор В) содержали варианты: без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Минеральные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, дозы которых рассчитывали для поддержания в почве уравновешенного (одинарная) и положительного (двойная) баланса питательных веществ в зависимости от уровня почвенного плодородия и потребности растений в элементах питания.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь которых составляла 100 м². Повторность двукратная. Сорт ярового ячменя – Суздалец. Основная обработка почвы включала отвальную вспашку на глубину 20–22 см (МТЗ-1221 + ПНО-4-35). Элементы структуры урожая и биологическую урожайность определяли с использованием методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 5,9 %, рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85) – 6,5, щелочногидролизуемого азота (метод Корнфилда) – 18,0 мг/100 г, подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) – 14,8 мг/100 г, подвижного калия (ГОСТ 26204-91) – 11,7 мг/100 г

почвы. Качество зерна определяли в соответствии со стандартами: содержание белка – ГОСТ 10846-91, масса 1000 зерен – ГОСТ 10842-89.

Опытные данные обрабатывали с использованием цифровых технологий по методике оптимального планирования многофакторного эксперимента (Бородюк и др., 1983), а также методами дисперсионного анализа (Доспехов, 2014). Для определения статистических показателей применяли программу Statistica 10.0.

Агрометеорологические условия в период вегетации ярового ячменя в годы исследований (2018, 2022 гг.) были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков (рис. 1).

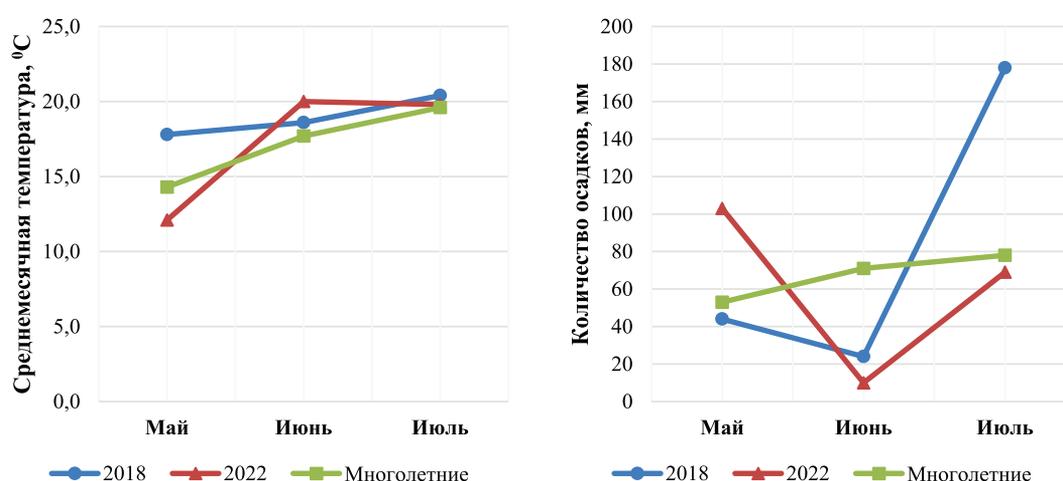


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков в периоды вегетации ячменя (среднее за 2018, 2022 гг.)

Fig. 1. Mean monthly air temperature and precipitation during the barley vegetation period (mean in 2018, 2022)

Погодные условия сильно различались в периоды вегетации ячменя, наблюдалась общая тенденция увеличения среднесуточных температур воздуха. В 2018 г. среднемесячная температура воздуха превышала среднюю многолетнюю норму с апреля по май на 0,9–3,5 °С, в 2022 г. – на 0,2–2,3 °С. В 2018 г. в период активного роста и развития ячменя месячные суммы осадков были меньше средней многолетней нормы: в апреле – на 33 мм, в мае – на 9 мм, в июне – на 47 мм и только в июле сумма осадков была больше на 100 мм. В 2022 г. в апреле и мае осадков выпало больше многолетней нормы на 71 и 50 мм, в июне и июле – меньше на 61 и 9 мм соответственно.

На основе данных по температурному режиму и количеством осадков, изучены гидротермические условия по каждому месяцу в периоды вегетации ярового ячменя. 2018 г. был наименее благоприятным по сравнению с 2022 г.: в мае и июне сложился дефицит осадков, в связи с чем сформировались засушливые и очень засушливые условия (ГТК = 0,80

и 0,43). Только в июле выпало большое количество осадков, превышающее месячные многолетние нормы (ГТК = 2,82). В 2022 г. в мае выпало обильное количество осадков (ГТК = 2,75), в июне складывались сухие условия (ГТК = 0,17), в июле отмечались более благоприятные условия (ГТК = 1,12).

Тенденции влияния севооборотов и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя оценены применением функции желательности Харрингтона. Особенностью данного подхода является возможность несколько признаков ($i = 1, 2, \dots, n$) преобразовать в безразмерную шкалу, обобщающую частные желательности (Бородюк и др., 1983). Построена шкала методом количественных оценок в диапазоне значений функции от 0 до 1, где неприемлемое значение исследуемых показателей соответствует нулю, а наилучшее – единице. Базовые промежуточные отметки шкалы внутри обозначенного интервала приведены в таблице 1.

Таблица 1. Безразмерная шкала желательности (по Харрингтону)
Table 1. Dimensionless desirability scale (according to Harrington)

Базовые отметки	Оценка свойств функции желательности
1,00	Наилучшее значение
0,80–1,00	Наиболее приемлемое
0,63–0,80	Вполне приемлемое, хорошее
0,37–0,63	Приемлемое, удовлетворительное
0,20–0,37	Неприемлемое, плохое
0–0,20	Полностью неприемлемое

Рассматриваемая задача предполагает шкалу с односторонним ограничением, когда исследуемые показатели y_i преобразовывают в функцию желательности d_i применением экспоненциальной зависимости:

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)]; \quad (1)$$

где $y'_i = b_0 + b_1 y_i$. (2)

Коэффициенты b_0 и b_1 уравнения (2) определяют на основании опытных данных для значений y_i соответствующих величине функции желательности d_i в пределах предпочтительного интервала $(a_i; c_i)$ внутри безразмерного диапазона шкалы $(0; 1)$:

$$a_i \leq d_i \leq c_i$$

Для исследуемых процессов неблагоприятное значение $d_i \geq 0,05$ в поле шкалы желательности плавно переходит в благоприятное при $d_i \leq 0,95$:

$$0,05 \leq d_i \leq 0,95$$

Показатели y_i преобразовывают в функцию желательности d_i следующим образом. Из предпочтительного интервала $(a_i; c_i)$ подставляют наибольшее c_{imax} и наименьшее a_{imin} значение в уравнение (1) и получают систему двух уравнений:

$$\begin{aligned} a_{imin} &= \exp[-\exp(-y'_i)]; \\ c_{imax} &= \exp[-\exp(-y'_i)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Дважды прологарифмировав систему (3), определяют две величины y'_i , которые совместно с соответствующими им значениями y_i по-

следовательно подставляют в уравнение (2). Решением новой системы уравнений определяют коэффициенты b_0 и b_1 и рассчитывают частную функцию желательности d_i по формуле (1).

После преобразования показателей y_i в частные желательности d_i их объединяют в обобщенную желательность D , представляющую среднюю геометрическую величину частных значений:

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}. \quad (5)$$

Математическая модель (1)–(5) позволяет определять частные и обобщенные желательности в конкретных показателях, укладываемых в диапазон от минимального до максимального значения.

Результаты и их обсуждение. Полученные в результате исследований данные об изменении элементов структуры урожая оказались сопоставимы с научными работами других авторов, в которых показано положительное влияние азотных и сложных форм минеральных удобрений. Так, в работе М. А. Евдокимовой (2021) установлено, что использование минеральных удобрений различного состава благоприятно сказалось на изменениях величины каждого элемента структуры, что повлияло на уровень урожайности ячменя. Использование азотных удобрений в большей степени способствовали увеличению всех представленных элементов структуры урожая по сравнению с фосфорными и калийными. В таблице 2 представлена статистическая обработка данных, полученных в ходе исследований.

Таблица 2. Исходные данные и математическая обработка полученных данных (среднее за 2018 и 2022 гг.)
Table 2. Initial data and mathematical processing of the obtained data (mean in 2018 and 2022)

Варианты опыта	Севообороты (фактор А)												НСР ₀₅	
	Зернопаропропашной севооборот						Зернотравнопропашной севооборот							
	Минеральные удобрения (фактор В)													
	1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		А	В
	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности			
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	411	488	425	499	425	516	396	436	401	446	408	453	22,4	27,4
Количество зерен в колосе, шт.	26	26	27	26	28	27	26	26	27	26	27	27	0,6	0,7
Масса 1000 зерен, г	46,0	43,9	48,2	44,1	48,2	44,7	50,5	40,4	50,0	40,5	50,4	44,8	3,5	4,2
Биологическая урожайность, т/га	4,92	5,57	5,53	5,72	5,74	6,23	5,20	4,58	5,41	4,70	5,55	5,48	0,6	0,7

Продолжение табл. 2

Варианты опыта	Севообороты (фактор А)												НСП ₀₅	
	Зернопаропропашной севооборот						Зернотравянопропашной севооборот							
	Минеральные удобрения (фактор В)													
	1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		А	В
	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности	Повторности			
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Содержание белка, %	12,6	13,3	13,5	13,1	14,3	13,3	12,6	15,4	12,3	14,7	13,0	15,8	1,8	2,2
Гумус, %	5,56	5,29	5,46	5,08	5,42	5,24	5,51	5,47	5,64	5,27	5,54	5,16	0,15	0,18

Влияние минеральных удобрений и севооборотов на формирование главных элементов структуры урожая ячменя показано на рисунке 2.

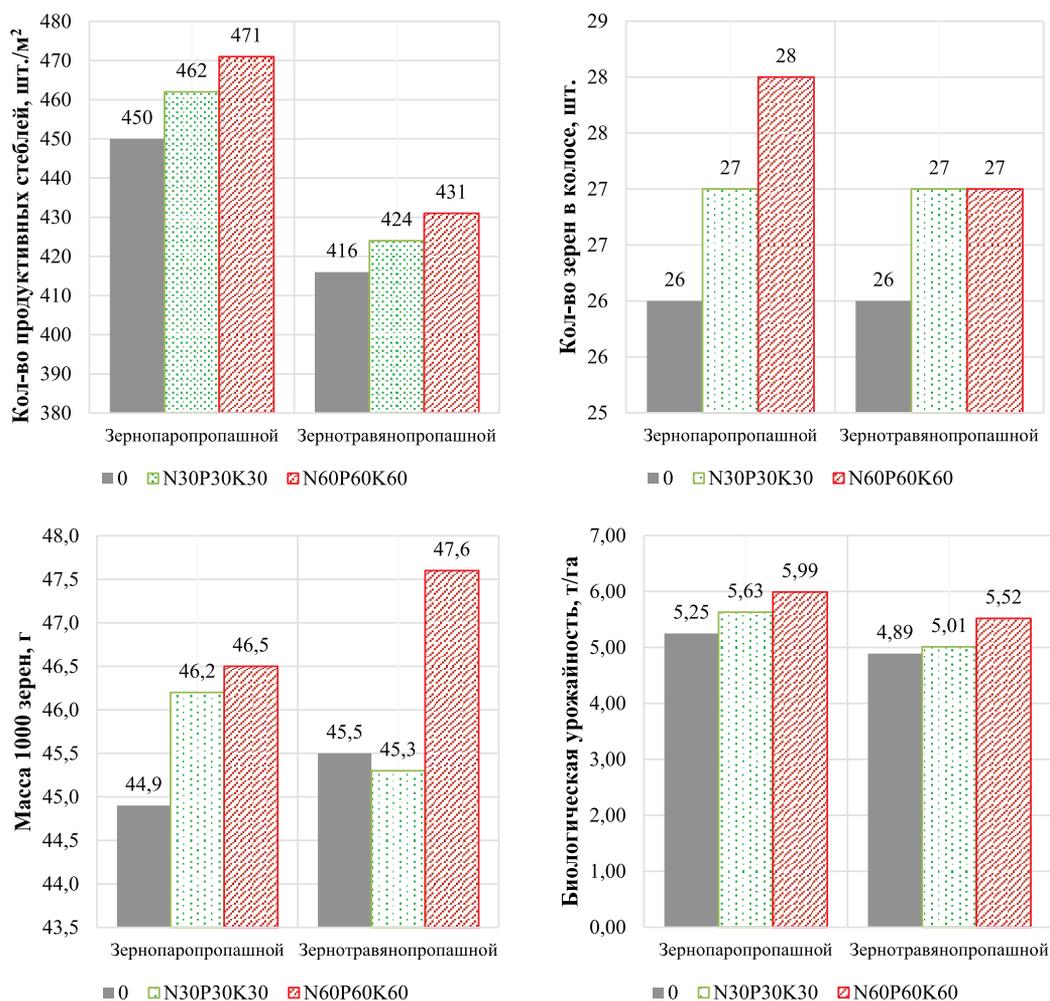


Рис. 2. Показатели структуры урожая зерна ячменя под влиянием минеральных удобрений и севооборотов (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 2. Indicators of barley grain yield structure under the effect of mineral fertilizers and crop rotations (mean in 2018, 2022).

Примечание. Количество продуктивных стеблей НСП₀₅ = 22,4 (А), 27,4 (В); количество зерен в колосе НСП₀₅ = 0,6 (А), 0,7 (В); масса 1000 зерен НСП₀₅ = 3,5 (А), 4,2 (В); биологическая урожайность НСП₀₅ = 0,6 (А), 0,7 (В).

Лучшие показатели урожая отмечены в зернопаропропашном севообороте, которые позволили получить на 9,5 % более высокую биологическую урожайность зерна ячменя в сравнении с зернотравянопропашным севооборотом. Минеральные удобрения в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ способствовали более активно-

му развитию растений, урожайность зернопаропропашного севооборота возросла на 0,62 т/га в сравнении с зернотравянопропашным (5,01 т/га). Двойная доза N₆₀P₆₀K₆₀ улучшала питательный фон по сравнению с одинарной дозой, и выход зерна увеличился до 5,99 и 5,52 т/га по исследуемым севооборотам. Предпосылкой

более высокой урожайности в зернопаропропашном севообороте являются положительные особенности чистых паров в нем.

Количество продуктивных стеблей в зернопаропропашном севообороте перед уборкой урожая изменялось с 450 до 462 шт./м² с N₃₀P₃₀K₃₀ и до 471 шт./м² с N₆₀P₆₀K₆₀; в зернотравянопропашном продуктивных стеблей было значительно меньше, в среднем на 37 шт./м² по изучаемым дозам удобрений.

Количество зерен в колосе было в среднем 27 шт., и только с дозой N₆₀P₆₀K₆₀ происходило увеличение до 28 шт. В контрольных вариантах по севооборотам их количество было одинаковым (26 шт.).

Важным показателем элементов структуры урожая, от которого зависит выход продукции, является масса 1000 зерен. В варианте без удобрений масса зерна была минимальной – 44,9 г в зернопаропропашном севообороте и 45,5 г – в зернотравянопропашном. Минеральные удобрения в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ повышали массу зерен до 46,2 г, но в зернотравянопропашном севообороте различий с контрольным вариантом не было. Только с N₆₀P₆₀K₆₀ масса повышалась до 47,6 г, что на 1,1 г выше по сравнению с зернопаропропашным севооборотом.

Обеспечение бездефицитного баланса гумуса является актуальнейшей проблемой со-

временного земледелия. В исследовании А.Г. Красноперового и др. (2023) подчеркивается важность сидератов, а также органических удобрений. К применению в качестве сидератов рекомендованы однолетний и многолетний люпин, кормовые бобы, озимая и яровая вика, горох кормовой, донник белый, сераделла, клевер белый, клевер гибридный, клевер луговой, клевер паннонский, а также смешанные бобово-злаковые однолетние культуры, высеваемые после уборки ранних озимых культур. В условиях дерново-подзолистых среднесуглинистых почв при выходе сухой массы растительных остатков в количестве 22,2 т/га в зернотравянопропашном севообороте с 40 % зерновых, 40 % кормовых (картофель) и 20 % пропашных культур не обеспечивается положительный баланс органического вещества, равный 300 кг/га за севооборот. Следовательно, бездефицитного баланса гумуса можно достичь, если использовать усовершенствованные схемы короткоротационных севооборотов с различной степенью насыщенности средообразующими и сидеральными культурами.

В наших исследованиях удалось установить благоприятное воздействие многолетних бобовых трав в структуре зернотравянопропашного севооборота на содержание гумуса (рис. 3).

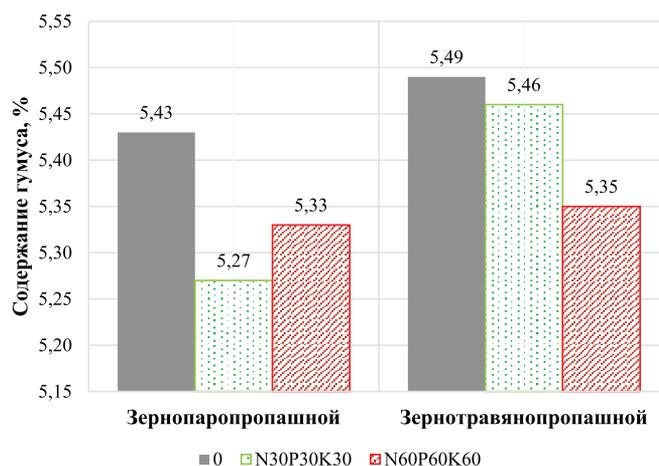


Рис. 3. Влияние минеральных удобрений и севооборотов на содержание гумуса в условиях черноземных почв (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 3. The effect of mineral fertilizers and crop rotation on the humus content in chernozem soils (mean in 2018, 2022)

Примечание. $HCP_{05} = 0,15$ (A), 0,18 (B).

В вариантах с одинарной и двойной дозами содержание гумуса снижалось по сравнению с контролем. Максимальные потери гумуса составили в зернопаропропашном севообороте 0,16 %, а в зернотравянопропашном меньше – 0,14 %.

Технология возделывания ячменя, включающая минеральные удобрения в дозах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₆₀P₆₀K₆₀, позволила увеличить содержание белка в зерне. Его большее содержание отмечено в зернотравянопропашном севообороте (рис. 4).

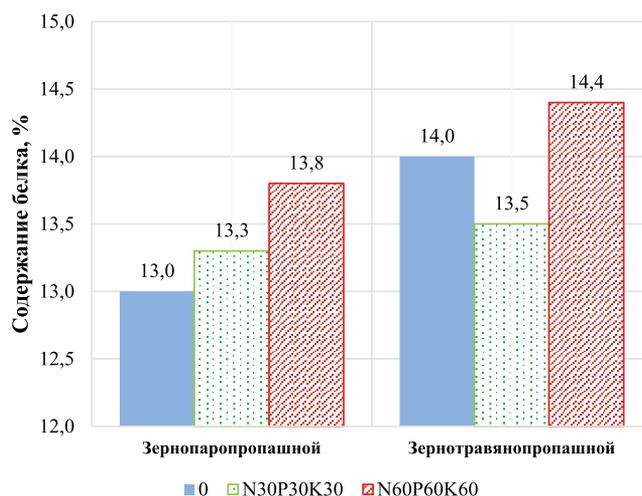


Рис. 4. Содержание белка в зерне ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений и севооборотов (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 4. Protein percentage in barley grain depending on the doses of mineral fertilizers and crop rotations (mean in 2018, 2022)

Примечание. $HCP_{05} = 1,8$ (A), 2,2 (B).

В зернопаропропашном севообороте количество белка изменялось с 13,0 (контроль) до 13,3 % с использованием $N_{30}P_{30}K_{30}$ и до 13,8 % с $N_{60}P_{60}K_{60}$. В зернотравянопропашном севообороте получены более высокие значения по данному показателю: по дозам используемых удобрений происходило увеличение с 14,0 до 14,4 %. Следует отметить, что в зернотравянопропашном севообороте наблюдалось увеличение количества белка в зерне яч-

меня, особенно эффективной оказалась доза $N_{60}P_{60}K_{60}$.

С использованием функции желательности Харрингтона определены тенденции влияния севооборотов и минеральных удобрений на агроэкологические показатели производства зерна ярового ячменя (табл. 3). Сопоставляя полученные значения желательности с базовыми отметками шкалы в таблице 1, можно сделать следующие выводы.

Таблица 3. Агроэкологические показатели желательности влияния севооборотов и минеральных удобрений на биологическую урожайность и качество зерна ярового ячменя (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Table 3. Agroecological indicators of the desirability of the effect of crop rotation and mineral fertilizers on the biological productivity and quality of spring barley grain (mean in 2018 and 2022)

Севооборот	Натуральные значения			Относительный индекс изменчивости			Частная желательность показателей			Обобщенная желательность севооборотов	Оценка по шкале желательности
	NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га				
	0	30	60	0	30	60	0	30	60		
Биологическая урожайность, т/га											
Зернопаропропашной	5,25	5,63	5,99	1,00	1,07	1,14	0,51	0,83	0,95	0,74	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	4,89	5,01	5,52	0,93	0,95	1,05	0,08	0,18	0,76	0,22	Неприемлемое, плохое
Содержание белка в зерне, %											
Зернопаропропашной	13	13,3	13,8	1,00	1,02	1,06	0,51	0,62	0,8	0,63	Приемлемое, удовлетворительное
Зернотравянопропашной	14	13,5	14,4	1,08	1,04	1,11	0,86	0,72	0,91	0,83	Наиболее приемлемое
Содержание гумуса в почве, %											
Зернопаропропашной	5,43	5,27	5,33	1,00	0,97	0,98	0,51	0,30	0,37	0,38	Приемлемое, удовлетворительное
Зернотравянопропашной	5,49	5,46	5,35	1,01	1,01	0,99	0,57	0,57	0,44	0,52	Приемлемое, удовлетворительное
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²											
Зернопаропропашной	450	462	471	1,00	1,03	1,05	0,51	0,68	0,76	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	416	424	431	0,92	0,94	0,96	0,05	0,13	0,24	0,12	Полностью неприемлемое

Продолжение табл. 3

Севооборот	Натуральные значения			Относительный индекс изменчивости			Частная желательность показателей			Обобщенная желательность севооборотов	Оценка по шкале желательности
	NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га				
	0	30	60	0	30	60	0	30	60		
Количество зерен в колосе, шт.											
Зернопаропропашной	26	27	28	1,00	1,04	1,08	0,51	0,72	0,86	0,68	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	26	27	27	1,00	1,04	1,04	0,51	0,72	0,72	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Масса 1000 зерен, г											
Зернопаропропашной	44,9	46,2	46,5	1,00	1,03	1,04	0,51	0,68	0,72	0,63	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	45,5	45,3	47,6	1,01	1,01	1,06	0,57	0,57	0,80	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Обобщенная желательность удобрений							0,38	0,49	0,65	Общая оценка желательности 0,50	Приемлемое, удовлетворительное

Совокупное влияние севооборотов и минеральных удобрений на исследуемые показатели «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,50$). По величине частной желательности севообороты оказали на исследуемые показатели в целом «приемлемое, удовлетворительное» влияние ($d_i = 0,41-0,61$). Однако применительно к отдельным показателям производства зерна уровень влияния севооборотов существенно различается. Так, зернопаропропашной севооборот оказал «вполне приемлемое, хорошее» влияние на урожайность зерна. В то же время влияние зернотравянопропашного севооборота на урожайность по уровню желательности оказалось «неприемлемым, плохим» ($d_i = 0,22$). С другой стороны, зернотравянопропашной севооборот «наиболее приемлемо» сказался на содержании белка в зерне ($d_i = 0,83$). Влияние же зернопаропропашного севооборота на содержание белка несколько ниже – «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,63$).

Экологические свойства севооборота проявляются в оценке его влияния на содержание гумуса в почве. Для зернопаропропашного севооборота частная желательность ($d_i = 0,38$). Уровень частной желательности зернотравянопропашного севооборота в данном случае более благоприятный вследствие наличия бобовых трав в его структуре ($d_i = 0,52$). В целом же влияние севооборотов на содержание гумуса в почве согласно шкале соответствует оценке «приемлемое, удовлетворительное».

На остальные показатели качества зерна влияние исследуемых севооборотов по уровню желательности примерно одинаковое – «вполне приемлемое, хорошее» ($d_i = 0,63-0,68$), за исключением зернотравянопропашного севооборота, оказавшего в условиях исследований «полностью неприемлемое» влияние на показатель количества продуктивных стеблей ($d_i = 0,12$).

Тенденции агроэкологического влияния минеральных удобрений на показатели производства ярового ячменя по большин-

ству показателей как в зернопаропропашном, так и в зернотравянопропашном севообороте возрастали пропорционально их дозе от $d_i = 0,38$ до $d_i = 0,49-0,65$, что свидетельствует об их «приемлемом, удовлетворительном» влиянии.

Применение минеральных удобрений в исследованиях активизировало процесс дегумификации почвы. Поэтому с возрастанием их доз содержание гумуса в почве снижалось, и частная желательность минеральных удобрений для этого показателя уменьшалась с $d_i = 0,51-0,57$ до $d_i = 0,37-0,44$.

Выводы. Предпосылкой более высокой урожайности в зернопаропропашном севообороте являлись положительные особенности чистых паров. Двойная доза $N_{60}P_{60}K_{60}$ в данном севообороте дополнительно улучшала питательный фон, отчего выход зерна увеличился с 5,63 до 5,99 т/га, что выше на 0,62 и 0,47 т/га по сравнению с зернотравянопропашным севооборотом. Элементы структуры урожая, кроме массы 1000 зерен, были в среднем лучше в зернопаропропашном севообороте: количество продуктивных стеблей увеличивалось от 450 до 471 шт./м² в зависимости от используемых доз удобрений; масса 1000 зерен аналогично повышалась от 44,9 до 46,5 г. Применение минеральных видов удобрений способствовало снижению гумуса в изучаемых севооборотах. Наибольшие его потери – 0,16 % наблюдались в зернопаропропашном севообороте.

Согласно полученным значениям обобщенной желательности Харрингтона совокупное влияние севооборотов в целом на агроэкологические показатели производства ячменя удовлетворительное. Но по величине частной желательности уровень влияния севооборотов на отдельные показатели существенно различается. Так, неприемлемое влияние зернотравянопропашного севооборота на урожайность зерна и количество продуктивных стеблей и в то же время наиболее приемлемое его влияние на содержание белка в зерне. Обобщенная оценка использования минеральных удобрений

ний по большинству показателей возрастала пропорционально их дозе, достигая приемлемого уровня. Однако частная желательность влияния минеральных удобрений на содержание гумуса в почве снижалась с возрастанием

доз удобрений, особенно в зернопаропропашном севообороте.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

Библиографические ссылки

1. Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З., Кабанов В.А., Круг Г.К., Лисенков А.Н., Мойсюк Б.Н., Сосулин Ю.А., Филаретов Г.Ф., Фомина Е.С. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): учебное пособие. М.: Высш. школа, 1983. 216 с.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Евдокимова, М.А. Влияние элементов технологий возделывания на структуру урожая ярового ячменя // Агропродовольственная экономика. 2021. №6. С. 52–57. DOI: 10.54092/24122521_2021_6_52
4. Красноперов А.Г., Зарудный В.А., Пятаков М.А. Баланс органического вещества дерново-подзолистой почвы в севооборотах со средообразующими и сидеральными культурами // АгроЭкоИнфо. 2023. № 2(56). Article number: 14. DOI: 10.51419/202132248
5. Левакова, О.В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 3. С. 327–333. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333
6. Науметов, Р.В. Эффективность применения сложных удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы, ячменя и озимой ржи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2022. Т. 1, № 2(2). С. 56–61. DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-56-61
7. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Зависимость показателей качества зерна пивоваренного ячменя от уровня минерального питания и гидротермических условий в период вегетации // Агрохимический вестник. 2020. № 3. С. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036
8. Радайкина Л.М., Камалихин В.Е. Влияние предшественников на хозяйственную урожайность ярового ячменя // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93(8). С. 166–168. DOI: 10.18411/trnio-01-2023-432
9. Сабитов, М.М. Влияние удобрений в разных звеньях севооборота на продуктивность ячменя в условиях среднего Поволжья // Агрохимический вестник. 2023. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-005
10. Тютюнов С.И., Каторгин Д.И., Навольнева Е.В., Азаров А.В., Пойменов А.С. Продуктивность ячменя в зависимости от способа основной обработки почвы, доз органических и минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 6. С. 61–65. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_61
11. Hladkikh Ye., Siabruk O., Revtie-Uvarova A., Smychenko V. Effect of integrated plant nutrient management on indicators related to yield and productivity of spring barley (*Hordeum vulgare*) under drought conditions in the growing season // Revista Facultad Nacional de Agronomia. 2022. Vol. 75, № 2. P. 9909–9918. DOI 10.15446/rfnam.v75n2.97384
12. Holland J., Brown J.L., MacKenzie K., Neilson R., Piras S., McKenzie B.M. Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 130, Article number: 12636. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126363
13. Kondratenko E.P., Soboleva O.M., Sergeeva I.A. Influence of weather conditions and weediness on barley (*Hordeum vulgare*) yield // Research on Crops. 2022. Vol. 23, № 1. P. 33–39. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.006
14. Naeem M., Farooq M., Farooq S., Ul-Allah S., Alfarraj S., Hussain M. The impact of different crop sequences on weed infestation and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different tillage systems // Crop Protection. 2021. Vol. 149, Article number: 105759. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105759
15. Piskareva L.A., Cheverdin A. Yu. Productivity and quality indicators of grain barley depending on variety features and level of mineral nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. № 1(17), Article number: 8. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8
16. Poliovy V., Snitynsky V., Hnativ P., Szulc W., Lahush N., Ivanyuk V., Furmanets M., Kulyk S., Balkovskyy V., Poliukhovych M., Rutkowska B. Agro-ecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine // Journal of Elementology. 2021. Vol. 26, № 2. P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120

References

1. Borodyuk V.P., Voshchinin A.P., Ivanov A.Z., Kabanov V.A., Krug G.K., Lisenkov A.N., Moisyuk B.N., Sosulin Yu. A., Filaretov G.F., Fomina E.S. Statisticheskie metody v inzhenernykh issledovaniyakh (laboratornyi praktikum): ucheb. posobie. [Statistical methods in engineering research (laboratory practice book): Textbook]. M.: Vyssh. shkola, 1983. 216 s.
2. Dospikhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Evdokimova, M.A. Vliyanie elementov tekhnologii vozdeleyvaniya na strukturu urozhaya yarovogo yachmenya [The effect of cultivation technology elements on spring barley yield structure] // Агропродовольственная экономика. 2021. № 6. С. 52–57. DOI: 10.54092/24122521_2021_6_52
4. Krasnoperov A.G., Zarudnyi V.A., Pyatakov M.A. Balans organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistoi pochvy v sevooborotakh so sredoobrazuyushchimi i sideral'nymi kul'turami [Balance

of organic matter of sod-podzolic soil in crop rotations with environment-forming and green manure crops] // AgroEkoInfo. 2023. № 2(56). Article number: 14. DOI: 10.51419/202132248

5. Levakova, O.V. Variabel'nost' elementov struktury urozhaya yarovogo yachmenya v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovii vegetatsii [Variability of spring barley yield structure elements depending on hydrothermal conditions of vegetation] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23, № 3. S. 327–333. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333

6. Naumetov, R.V. Effektivnost' primeneniya slozhnykh udobrenii na urozhai i kachestvo zerna yarovoi pshenitsy, yachmenya i ozimoi rzhii [Efficiency of complex fertilizers on productivity and grain quality of spring wheat, barley and winter rye] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Sel'skokhozyaistvennyye nauki. 2022. T. 1, № 2(2). S. 56–61. DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-56-61

7. Pasyukov A.V., Pasyukova E.N. Zavisimost' pokazatelei kachestva zerna pivovarennogo yachmenya ot urovnya mineral'nogo pitaniya i gidrotermicheskikh uslovii v period vegetatsii [Dependence of malting barley grain quality indicators on the level of mineral nutrition and hydrothermal conditions during a vegetation period] // Agrokhimicheskii vestnik. 2020. № 3. S. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036

8. Radaikina L.M., Kamalikhin V.E. Vliyanie predshestvennikov na khozyaistvennyuyu urozhainost' yarovogo yachmenya [The effect of forecrops on the economic productivity of spring barley] // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2023. № 93(8). S. 166–168. DOI: 10.18411/trnio-01-2023-432

9. Sabitov, M.M. Vliyanie udobrenii v raznykh zven'yakh sevooborota na produktivnost' yachmenya v usloviyakh srednego Povolzh'ya [The effect of fertilizers in different crop rotation links on barley productivity in the middle Volga region] // Agrokhimicheskii vestnik. 2023. № 4. S. 29–34. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-005

10. Tyutyunov S.I., Katargin D.I., Navol'neva E. V., Azarov A.V., Poimenov A.S. Produktivnost' yachmenya v zavisimosti ot sposoba osnovnoi obrabotki pochvy, doz organicheskikh i mineral'nykh udobrenii [Barley productivity depending on the method of primary tillage, doses of organic and mineral fertilizers] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 6. S. 61–65. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_61

11. Hladkikh Ye., Siabruk O., Revtie-Uvarova A., Smychenko V. Effect of integrated plant nutrient management on indicators related to yield and productivity of spring barley (*Hordeum vulgare*) under drought conditions in the growing season // Revista Facultad Nacional de Agronomia. 2022. Vol. 75, № 2. P. 9909–9918. DOI 10.15446/rfnam.v75n2.97384

12. Holland J., Brown J.L., MacKenzie K., Neilson R., Piras S., McKenzie B.M. Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 130, Article number: 12636. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126363

13. Kondratenko E.P., Soboleva O.M., Sergeeva I.A. Influence of weather conditions and weediness on barley (*Hordeum vulgare*) yield // Research on Crops. 2022. Vol. 23, № 1. P. 33–39. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.006

14. Naeem M., Farooq M., Farooq S., Ul-Allah S., Alfarraj S., Hussain M. The impact of different crop sequences on weed infestation and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different tillage systems // Crop Protection. 2021. Vol. 149, Article number: 105759. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105759

15. Piskareva L.A., Cheverdin A. Yu. Productivity and quality indicators of grain barley depending on variety features and level of mineral nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. № 1(17), Article number: 8. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8

16. Poliovy V., Snitynsky V., Hnativ P., Szulc W., Lahush N., Ivanyuk V., Furmanets M., Kulyk S., Balkovskyy V., Poliukhovych M., Rutkowska B. Agro-ecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine // Journal of Elementology. 2021. Vol. 26, № 2. P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120

Поступила: 11.06.24; доработана после рецензирования: 27.08.24; принята к публикации: 27.08.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гуреев И.И. – планирование главных этапов полевых исследований, обоснование функции желательности Харрингтона; Гостев А.В. – разработка концепции исследований, обоснование актуальности исследований; Лукьянов В.А. – анализ данных по влиянию минеральных удобрений на элементы структуры урожая и качество зерна, проведение математической обработки; Хлюпина С.В. – подготовка данных, оценка влияния севооборотов как фактора в исследованиях; Прущик И.А. – сбор и обработка полученных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.