

Продуктивность ячменя в зависимости от способа основной обработки почвы, доз органических и минеральных удобрений

С. И. ТЮТЮНОВ, Д. И. КАТОРГИН, Е. В. НАВОЛЬНЕВА, А. В. АЗАРОВ, А. С. ПОЙМЕНОВ

Белгородский Федеральный аграрный научный центр Российской академии наук, ул. Октябрьская, 58, Белгород, 308001, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью изучения влияния севооборотов, способов основной обработки почвы, доз органических и минеральных удобрений на продуктивность ярового ячменя. Работу выполняли в Белгородской области в многолетнем полевом опыте, заложенном в 1987 г. Почва опытного участка – чернозём типичный, с содержанием гумуса в пахотном слое 5,2...5,3 %. Для анализа и описания действия изучаемых факторов применяли регрессионный анализ. На основании использования квадратичной математической модели установлена тесная связь между расчётными и фактическими значениями урожайности (r от 0,737 до 0,996). Во всех уравнениях регрессии отражено влияние удобрений на урожайность зерна ячменя, при этом в 5-и уравнениях из 18-и действие оказывали только минеральные удобрения, а в 10-и – парное взаимодействие органических и минеральных удобрений. Зернотравянопропашной севооборот имел преимущество перед зернопропашным севооборотом, где урожайность ячменя в среднем по обработкам почвы была на 15,8 % больше. Способ обработки почвы не оказывал влияния на урожайность, только в некоторых вариантах минимальная обработка была более предпочтительна, чем вспашка и безотвальная обработка. В зернотравянопропашном севообороте прибавки урожая от удобрений были выше, чем в зернопропашном, – соответственно 24,6...40,6 и 14,7...24,0 %. Использование навоза КРС обеспечило меньшую прибавку, в сравнении с минеральными удобрениями, но с сохранением закономерности влияния севооборота: 9,4...23,4 % в зернотравянопропашном и 3,6...13,8 % в зернопропашном. Органо-минеральная система удобрений способствовала росту урожайности соответственно севооборотам на 19,6...26,0 и 21,3...22,1 %. На чернозёме типичном увеличение доз отдельно минеральных и отдельно органических удобрений способствовало улучшению качества зерна. Содержание сырого протеина при органической системе удобрений выросло на 0,04...2,68 %, при минеральной – на 1,74...3,52 %.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum vulgare*), способы основной обработки почвы, севооборот, удобрения, длительный полевой опыт, чернозём типичный.

Сведения об авторах: С. И. Тютюнов, академик РАН, директор; Д. И. Каторгин, младший научный сотрудник; Е. В. Навольнева, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник (e-mail: navekavika@gmail.com); А. В. Азаров, младший научный сотрудник; А. С. Пойменов, младший научный сотрудник.

Для цитирования: Продуктивность ячменя в зависимости от способа основной обработки почвы, доз органических и минеральных удобрений / С. И. Тютюнов, Д. И. Каторгин, Е. В. Навольнева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 6. С. 61–65. doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_61.

The productivity of barley depending on the method of basic tillage, doses of organic and mineral fertilizers

S. I. Tyutyunov, D. I. Katorgin, E. V. Navolneva, A. V. Azarov, A. S. Poimenov

Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, ul. Oktyabrskaya, 58, Belgorod, 308001, Russian Federation

Abstract. The research aimed to study the effect of crop rotations, methods of basic tillage, doses of organic and mineral fertilizers on the productivity of spring barley. The work was carried out in the Belgorod region in a long-term field experiment, laid in 1987. The soil of the experimental site was typical chernozem, with a humus content in the arable layer of 5.2-5.3%. Regression analysis was used to analyse and describe the effect of the studied factors. Based on the use of a quadratic mathematical model, a close relationship was established between the calculated and actual yield values (r from 0.737 to 0.996). All regression equations reflect the effect of fertilizers on the yield of barley grain, while in 5 out of 18 equations only mineral fertilizers had an effect, and in 10 equations the pair interaction of organic and mineral fertilizers. The grain-grass row crop rotation had an advantage over the grain row crop rotation, where the average barley yield for tillage was 15.8% higher. The method of tillage did not affect the yield, only in some cases, minimal tillage was more preferable than ploughing and non-mouldboard tillage. In the grain-grass-rowed crop rotation, the increase in yields from fertilizers was higher than in the grain-rowed crop rotation – 24.6-40.6 and 14.7-24.0%, respectively. The use of cattle manure provided a smaller increase, in comparison with mineral fertilizers, but with the preservation of the regularity of the influence of crop rotation: 9.4-23.4% in the grain-grass row and 3.6-13.8% in the grain row. The organo-mineral fertilizer system contributed to the increase in crop yields by 19.6-26.0 and 21.3-22.1%, respectively. On typical chernozem, an increase in the doses of separately mineral and separately organic fertilizers contributed to the improvement of grain quality. The content of crude protein with the organic fertilizer system increased by 0.04-2.68%, with the mineral one – by 1.74-3.52%.

Keywords: spring barley (*Hordeum vulgare*); methods of basic tillage; crop rotation; fertilizers; long-term field experience; typical chernozem.

Author Details: S. I. Tyutyunov, member of the RAS, director; D. I. Katorgin, junior research fellow; E. V. Navolneva, Cand. Sc. (Agr.), research fellow (e-mail: navekavika@gmail.com); A. V. Azarov, junior research fellow; A. S. Poimenov, junior research fellow.

For citation: Tyutyunov SI, Katorgin DI, Navolneva EV, et al. [The productivity of barley depending on the method of basic tillage, doses of organic and mineral fertilizers]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(6):61–5. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_61.

В Центрально-Черноземном регионе яровой ячмень по сбору зерна и площадям посева занимает одно из высоких мест среди зерновых культур, но, несмотря на это, его урожайность остается относительно невысокой [1]. Сложившуюся ситуацию следует изменять путём усовершенствования технологий возделывания. Эта культура очень требовательна к условиям произрастания. Для получения наибольшего урожая важно применять такие агроприемы как оптимизация уровня питания в течение всего периода вегетации культуры, защита растений и др. [2, 3, 4].

Яровой ячмень считается не только ценной кормовой культурой, но также продовольственной и технической. В

зерне ячменя в среднем содержится 12 % белка, 5,5 % – клетчатки, 64,6 % – безазотистых экстрактивных веществ, 2,1 % – жира, 13 % – воды, а питательная ценность ячменной соломы составляет 0,35 корм. ед., что делает эту культуру весьма значимой в животноводстве. В случае неурожая и гибели озимой пшеницы, ячмень определяется как страховая культура [5].

Также важная особенность ячменя – скороспелость и уборка культуры в более ранние сроки, по сравнению с другими зерновыми культурами, что выступает положительным моментом, в частности снижает напряжённость в период уборки остальных зерновых культур [6, 7].

В последние годы существует необходимость определения оптимальных доз и соотношений разного вида удобрений для получения планируемого урожая культуры. Решение этого вопроса возможно на основе использования математических методов и прикладных программ, когда можно рассмотреть большое количество вариантов и с высокой точностью найти оптимальный, то есть прогнозировать действие удобрений [8].

Цель исследований – изучить действие доз органических и минеральных удобрений, а также способов основной обработки почвы на урожайность и качество зерна ярового ячменя; описать их действие с использованием математических моделей в севооборотах с разной насыщенностью пропашными культурами.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в длительный (36 лет) стационарном многофакторном полевом опыте на участке, который расположен в Белгородской области (Белгородский район, х. Гонки) в 2018–2020 гг.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

севооборот (фактор А) – зернотравянопропашной (ЗТП), зернопропашной (ЗП);

основная обработка почвы (фактор В) – отвальная, без-отвальная, минимальная;

доза навоза (фактор С) – без навоза, одинарная (40 т/га), двойная (80 т/га);

доза минеральных удобрений (фактор D) – без минеральных удобрений, одинарная ($N_{46}P_{56}K_{56}$ в ЗТП и $N_{64}P_{64}K_{64}$ в ЗП севооборотах), двойная ($N_{92}P_{112}K_{112}$ в ЗТП и $N_{128}P_{128}K_{128}$ в ЗП севооборотах).

Чередование культур в севооборотах было следующим: ЗТП – многолетние травы 2 г.п. (эспарцет), озимая пшеница, сахарная свёкла, ячмень + многолетние травы, многолетние травы 1 г.п.; ЗП – горох, озимая пшеница, сахарная свёкла, ячмень, кукуруза на силос.

Одинарные дозы минеральных и органических удобрений рассчитывали на простое, а двойные – на расширенное воспроизводство плодородия почвы. Подстилочный навоз КРС применяли под сахарную свёклу в дозах 40 и 80 т/га, что в среднем на каждую культуру севооборота составляло 8 и 16 т/га.

Минеральные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы. Использовали азофоску ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и диаммофоску ($N_{10}P_{26}K_{26}$). Одинарные дозы в ЗТП севообороте под посев ячменя составляли $N_{50}P_{130}K_{130}$, в ЗП севообороте – $N_{50}P_{50}K_{50}$, двойные дозы – соответственно $N_{100}P_{260}K_{260}$ в ЗП севообороте – $N_{100}P_{100}K_{100}$. Под предшествующую ячменю сахарную свёклу в обоих севооборотах с одинарной дозой вносили $N_{90}P_{90}K_{90}$, с двойной – $N_{180}P_{180}K_{180}$. В опыте применяли технологии возделывания сельскохозяйственных культур, рекомендованные для Белгородской области.

Отвальную (вспашку) и безотвальную (плоскорезное рыхление) обработки под ячмень проводили на глубину 20...22 см, под сахарную свёклу – на 30...32 см. Минимальная обработка заключалась в проведении дискования в два следа на глубину 8...10 и 12...14 см соответственно.

Почва опытного участка – чернозем типичный среднеломный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Имеет следующие агрохимические показатели пахотного слоя: гумус по Тюрину (ГОСТ 26213-91) – 5,2...5,3 %, содержание подвижного фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО – соответственно 67...78 и 95...112 мг/кг, рН_{KCl} (ГОСТ 26483-85) – 5,8...6,3.

Посев ячменя проводили 22 апреля – в 2018 г., 4 апреля – в 2019 г. и 28 марта – в 2020 г.

Учёт урожая поделочно-массовым комбайном «Сампо». В образцах зерна, отобранных при уборке, определяли азот методом Кьельдаля (ГОСТ 10846-91), сырой протеин определяли расчётным методом.

Метеорологические условия изучаемого периода представлены согласно данным метеорологического поста ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», который расположен вблизи места проведения полевого опыта. Для оценки погодных условий использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. В 2018 г. ГТК составил 1,81, что выше среднемноголетнего значения на 0,71 ед. и характеризует условия увлажнения как избыточные (табл. 1). В этом году сумма осадков до июля составила 126,3 мм, а основное их количество выпало в июле – 247,4 мм, что существенно повлияло на величину ГТК в рассматриваемый период, однако уборка ярового ячменя в оптимальные сроки позволила получить наибольшую урожайность за годы исследований. Согласно грациям ГТК по степени увлажнения, вегетационный период в 2019 г. характеризовался как сухой (ГТК = 0,49) при сумме осадков 101,8 мм, а в 2020 г. – как влажный (ГТК = 1,25), сумма осадков за период вегетации ярового ячменя составила 212,4 мм.

Таблица 1. Метеорологические условия по данным метеопоста ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»

Год	Сумма среднесуточных температур воздуха выше +10 °С, за вегетационный период, °С	Сумма осадков за вегетационный период, мм	ГТК
2018	2062,0	373,7	1,81
2019	2172,7	101,8	0,47
2020	1686,2	212,4	1,26
Среднее многолетнее	2119,0	177,0	0,80

Статистическую обработку массива данных проводили методом регрессионного анализа, путём последовательного исключения незначимых компонентов регрессионного уравнения, согласно критерию t-Стьюдента.

Схемой опыта предусмотрено три уровня удобрённости, которые имеют большую ширину шага. По ранее проведённым и опубликованным работам при такой схеме опыта нет значительных различий в применении квадратичной и половинной моделей для расчётов количественных зависимостей [9]. В связи со сходством получаемых расчётных данных при использовании квадратичной и половинной модели, разберем результаты на примере первой. Квадратичная модель, на основе которой рассчитывали количественную зависимость урожайности ячменя, имеет следующий вид:

$$Y = a_0 + a_1 O_y + a_2 O_y^2 + a_3 M_y + a_4 M_y^2 + a_5 (O_y M_y),$$

где Y – урожайность ячменя, ц/га; a_0 – свободный член, который показывает величину урожайности без применения удобрений; a_{1-5} – коэффициенты, отражающие величину влияния изучаемых факторов и их взаимодействий. Меру совпадения рассчитанных по уравнению и фактических урожаев оценивали по коэффициенту корреляции. При расчёте урожайности были использованы закодированные значения доз внесения органических и минеральных удобрений, соответственно 0, 1, 2, то есть – без применения удобрений, одинарная и двойная доза их внесения.

Для анализа характера действия удобрений на основе полученных уравнений определяли урожайность ячменя для всех сочетаний возрастных доз каждого вида удобрения.

Результаты и обсуждение. Регрессионный анализ показал сильную связь между фактическими и расчётными данными урожайности ячменя, при этом коэффициент корреляции был от 0,737 до 0,996. Исключением были три

Таблица 2. Уравнения регрессии, отражающие зависимость урожайности ячменя от органических и минеральных удобрений

Год	Обработка почвы	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Зернотравянопропашной севооборот			
2018	отвальная	$Y=36,08 + 8,07 M_y$	0,945
	безотвальная	$Y=36,06+8,08M_y$	0,935
	минимальная	$Y=33,19+1,05O_y^2+20,61M_y-5,66M_y^2-0,98(O_yM_y)$	0,996
2019	отвальная	$Y=33,32+5,80O_y+7,14M_y-4,25(O_yM_y)$	0,840
	безотвальная	$Y=30,32+9,19O_y+10,33M_y-5,58(O_yM_y)$	0,892
	минимальная	$Y=35,93+24,60M_y-9,75M_y^2$	0,879
2020	отвальная	$Y=38,27-0,98M_y^2$	0,629
	безотвальная	$Y=34,58+2,61O_y+2,18M_y-3,40(O_yM_y)$	0,891
	минимальная	$Y=37,48+1,46O_y^2-2,25(O_yM_y)$	0,758
Зернопропашной севооборот			
2018	отвальная	$Y=29,96+8,83O_y-2,57O_y^2+16,62M_y-4,64M_y^2$	0,992
	безотвальная	$Y=31,44+3,08O_y+15,73M_y-3,90M_y^2$	0,982
	минимальная	$Y=31,88+1,82O_y+22,14M_y-6,64M_y^2$	0,992
2019	отвальная	$Y=30,16+2,26O_y+11,72M_y-3,73M_y^2-2,67(O_yM_y)$	0,936
	безотвальная	$Y=29,18+3,75O_y+4,97M_y-2,44(O_yM_y)$	0,861
	минимальная	$Y=31,84+2,86M_y-1,09(O_yM_y)$	0,693
2020	отвальная	$Y=36,35+7,07O_y-4,43M_y^2$	0,808
	безотвальная	$Y=38,48+6,95M_y-3,98M_y^2-1,44(O_yM_y)$	0,737
	минимальная	$Y=37,79-2,14M_y^2+1,86(O_yM_y)$	0,672

варианта, где корреляционная зависимость, согласно таблице Чеддока была заметной и составляла 0,629 в ЗТП севообороте при проведении вспашки в 2020 г., когда на урожайность оказали влияние только минеральные удобрения; и в ЗП севообороте в 2019 и 2020 гг. при использовании минимальной обработки почвы, соответственно коэффициенты были 0,693 и 0,692, при этом оказывали действие минеральные удобрения и взаимодействие органических и минеральных удобрений.

Во всех уравнениях регрессии представлено действие удобрений на урожайность зерна ячменя, при этом в 5-ти уравнениях из 18-ти действие оказали только минеральные удобрения, а в 10 – парное взаимодействие органических и минеральных удобрений (табл. 2).

На примере данных квадратичной модели видно, что рост доз минеральных удобрений приводит к достоверному увеличению урожайности ячменя. Также стоит отметить, что рассматриваемая культура хорошо использует последние (1 год последующего) повышенных доз навоза.

Рассчитанная урожайность ярового ячменя, согласно уравнениям регрессии, изменялась в широком диапазоне. Исходя из данных квадратичной модели, за три года на делянках опыта без использования каких-либо удобрений урожайность составила в ЗТП севообороте 3,59 т/га при отвальной, 3,37 т/га – при безотвальной и 3,55 т/га – при минимальной обработке почвы. При проведении безотвальной или минимальной обработки почвы урожайность ниже, чем при вспашке, на 0,02...0,22 т/га. В зернопропашном севообороте отмечена обратная тенденция по способам обработки почвы – наименьшая урожайность получена при отвальной обработке – 3,22 т/га, что на 0,09...0,17 т/га ниже, чем по другим обработкам (табл. 3). По годам наибольшая урожайность без применения удобрений была получена в 2020 г. (3,46...3,85 т/га), чему способствовали благоприятные погодные условия, при которых гидротермический коэффициент составил 1,26. Минимальная урожайность отмечена в 2019 г. (2,92...3,59 т/га) – этот год характеризовался малым количеством выпавших осадков за вегетационный период культуры.

Среди севооборотов преимущество имел зернотравянопропашной, где урожайность ячменя в среднем по способам обработки почвы была на 0,20 т/га больше, чем

в зернопропашном севообороте и составляла 3,50 против 3,30 т/га. Между способами обработки почвы, в среднем по севооборотам, преимущество имела минимальная обработка, при этом урожайность составила 3,47 т/га.

Максимальная урожайность ячменя без применения удобрений, в среднем за три исследуемых года зафиксирована в зернотравянопропашном севообороте при проведении вспашки и составила 3,59 т/га.

Расчет урожайности ячменя по уравнениям регрессии показал, что применение минеральных удобрений в одинарной дозе обеспечивало ее повышение в ЗТП севообороте на 13,2...28,0 %, а в ЗП севообороте – на 9,9...23,4 %, в зависимости от способа основной обработки почвы (табл. 4).

Внесение двойной дозы минеральных удобрений увеличивало урожайность ячменя в ЗТП севообороте при вспашке на 0,88 т/га или на 24,6 % (табл. 4), при безотвальной обработке – на 1,36 т/га (40,6 %), а при минимальной обработке – на 0,96 т/га (27,0 %). В ЗП севообороте также отмечен рост урожайности с тенденцией максимальной прибавки при безотвальной обработке почвы (выросла на 24,0 %, в сравнении с вариантом без применения удобрений).

На примере этого уровня удобренности (двойные дозы минеральных удобрений) проведем проверку надежности полученных уравнений регрессии, для чего сравним рассчитанную урожайность ярового ячменя с фактической, полученной в годы проведения опыта. Так, в ЗТП севообороте фактическая урожайность в 2018, 2019 и 2020 гг. на фоне вспашки составляла 5,11, 4,36 и 3,45 т/га, а расчетная – 5,22, 4,76 и 3,44 т/га. Разница между фактической и расчетной

Таблица 3. Урожайность ячменя в зависимости от видов севооборотов и способов обработки почвы без применения удобрений (2018–2020 гг.), т/га

Основная обработка почвы	Год			Средняя за годы исследований
	2018	2019	2020	
Зернотравянопропашной севооборот				
Отвальная	3,61	3,33	3,83	3,59
Безотвальная	3,61	3,03	3,46	3,37
Минимальная	3,32	3,59	3,75	3,55
Зернопропашной севооборот				
Отвальная	3,00	3,02	3,64	3,22
Безотвальная	3,14	2,92	3,85	3,30
Минимальная	3,19	3,18	3,78	3,38

Таблица 4. Влияние удобрений на урожайность ячменя (рассчитано согласно уравнениям регрессии), т/га

Вариант*	Отвальная обработка		Безотвальная обработка		Минимальная обработка	
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка
Зернотравнопропашной севооборот						
00	3,59	-	3,37	-	3,55	-
01	4,06	0,47	4,05	0,68	4,55	1,00
02	4,47	0,88	4,73	1,36	4,51	0,96
10	3,78	0,19	3,76	0,39	3,64	0,09
11	4,12	0,53	4,15	0,78	4,52	0,97
12	4,38	0,79	4,53	1,16	4,25	0,70
20	3,98	0,39	4,15	0,78	3,89	0,34
21	4,17	0,58	4,24	0,87	4,67	1,12
22	4,29	0,70	4,33	0,96	4,42	0,87
Зернопропашной севооборот						
00	3,22	-	3,30	-	3,38	-
01	3,97	0,75	3,63	0,33	3,92	0,54
02	3,87	0,65	4,10	0,80	3,88	0,50
10	3,50	0,28	3,53	0,23	3,44	0,06
11	4,16	0,94	4,06	0,76	4,01	0,63
12	3,98	0,76	3,54	0,24	3,99	0,61
20	3,61	0,39	3,76	0,46	3,51	0,13
21	4,19	0,97	4,16	0,86	4,10	0,72
22	3,91	0,69	4,03	0,73	4,10	0,72

*первая по порядку цифра обозначает дозу органических удобрений, вторая – минеральных: 0 – без удобрений, 1 – одинарная доза, 2 – двойная доза. НСР₀₅ для фактических данных: фактор В (обработка почвы) – 0,11; фактор С (органические удобрения) – 0,13; фактор D (минеральные удобрения) – 0,21.

урожайностью составляла соответственно 0,11, 0,40 и 0,01 т/га. В ЗП севообороте при этом же уровне удобренности на фоне вспашки фактическая урожайность составляла 4,53, 3,97 и 3,27 т/га, а расчетная – 4,46, 3,87 и 3,27 т/га, при разнице между фактической и расчётной урожайностью соответственно 0,07, 0,10 и 0 т/га. Близость теоретических и фактических данных свидетельствует о правильности расчёта приведённых уравнений и даёт основание для их использования в целях анализа закономерностей действия и взаимодействия отдельных видов и доз удобрений.

В первый год последействия 40 т/га навоза урожайность в ЗТП севообороте на отвальной обработке составляла 3,78 т/га, на безотвальной – 3,76 т/га, на минимальной – 3,64 т/га. Применение двойной дозы органических удобрений, по сравнению с одинарной, обеспечило значительную разницу в урожайности только на фоне безотвальной обработки почвы, которая составила 0,39 т/га. В ЗП севообороте зафиксирован ещё меньший рост урожайности от увеличения доз навоза, по сравнению с ЗТП севооборотом, а максимальная прибавка отмечена также при безотвальной обработке – 0,23 т/га. В остальных вариантах опыта существенной разницы в урожайности при разных дозах органических удобрений не отмечено.

По результатам расчёта, согласно уравнениям регрессии, в обоих севооборотах отмечено повышение урожайности в вариантах с двойными дозами органических и минеральных удобрений, по отношению к контролю. В ЗТП севообороте прибавка урожая на отвальной обработке составила 0,70 т/га, на безотвальной – 0,96 т/га, на минимальной – 0,87 т/га, однако это повышение ниже прибавки, полученной при внесении только минеральных удобрений в повышенных дозах. В зернопропашном севообороте прибавка в варианте опыта с последствием 80 т/га навоза + N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ по отношению к варианту без использования удобрений составляла 0,69...0,73 т/га – на глубоких обработках и 0,72 т/га – на минимальной.

Если сравнивать эффективность севооборотов, то наиболее эффективно проявил себя зернотравнопропашной севооборот, так при использовании органических удобрений, урожайность ячменя в среднем по обработкам почвы была на 8,6 % больше, чем в зернопропашном севообороте.

Удобрения выступают сильным средством воздействия не только на урожайность, но и на качество зерна ячменя [10]. При определении количественной зависимости сырого протеина от доз и вида вносимых удобрений в качестве исходной математической модели взято квадратичное уравнение такого же вида, как и при определении зависимости урожайности от вносимых удобрений. Закономерность действия удобрений на содержание в зерне сырого протеина рассмотрели на примере данных 2020 г., который был благоприятным по погодным условиям вегетационного периода. Так, уравнения регрессии имели следующий вид:

зернотравнопропашной севооборот (отвальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 12,73 + 1,15\text{My}, \text{ при } R = 0,71 \quad (1)$$

зернотравнопропашной севооборот (безотвальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 12,19 - 0,99\text{Oy} + 0,51\text{Oy}^2 + 3,40\text{My} - 1,13\text{My}^2, \text{ при } R = 0,94 \quad (2)$$

зернотравнопропашной севооборот (минимальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 11,40 + 1,75\text{Oy} - 0,53\text{Oy}^2 + 2,57\text{My} - 0,41\text{M}^2 - 0,45\text{OyMy}, \text{ при } R = 0,97 \quad (3)$$

зернопропашной севооборот (отвальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 12,06 + 2,84\text{Oy} - 0,75\text{Oy}^2 - 0,56\text{My} + 0,72\text{My}^2 - 0,34\text{OyMy}, \text{ при } R = 0,96 \quad (4)$$

зернопропашной севооборот (безотвальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 11,25 + 1,92\text{Oy} - 0,40\text{Oy}^2 + 1,46\text{My} - 0,38\text{OyMy}, \text{ при } R = 0,82 \quad (5)$$

зернопропашной севооборот (минимальная обработка почвы)

$$\text{протеин} = 12,05 + 0,29\text{Oy}^2 + 2,13\text{My} - 0,63\text{My}^2, \text{ при } R = 0,64 \quad (6).$$

Теснота связи между фактическими и расчетными значениями содержания сырого протеина в зерне ячменя по вариантам опыта, согласно уравнениям (1)...(5) была высокой, о чём свидетельствуют коэффициенты корреляции R=0,71...0,97, что позволяет использовать эти уравнения для анализа зависимости содержания сырого протеина от вида и количества используемых удобрений. Лишь в зернопропашном севообороте при минимальной обработке почвы отмечено ослабление связи до заметной (R=0,64). Из приведённых уравнений следует, что в зернотравнопропашном севообороте при вспашке (уравнение (1)) достоверное закономерное влияние на содержание сырого протеина в зерне ячменя отмечено лишь от применения минеральных удобрений. При этом, внесение одинарной дозы минеральных удобрений повышало содержание протеина примерно на 1,2 %. В остальных вариантах опыта обоих севооборотов (уравнения (2)...(6)) достоверное влияние оказали как минеральные, так и органические удобрения.

В ЗТП севообороте, в зависимости от способа обработки почвы, содержание сырого протеина составляло 11,40...12,73 % без применения удобрений, а при использовании двойных доз минеральных удобрений возросло до 14,48...15,02 %. Сравнивая надёжность уравнений, следует отметить, что разница с фактическими значениями при этом уровне удобренности составляла 0,21...0,33 %. В зернопропашном севообороте без применения удобрений содержание сырого протеина в зерне составляло 11,25...12,06 %, а при использовании двойных доз минеральных удобрений – 13,80...14,17 %. Разница между расчетными и фактическими значениями составляла 0,20...0,82 %.

Согласно уравнениям регрессии (2)...(6) использование только навоза в двойной дозе также обеспечивало рост содержания сырого протеина, но в меньшей степени, чем применение минеральных удобрений, на 0,04...2,68 % с наибольшим ростом в зернопропашном севообороте на фоне отвальной обработки. Расчётные значения составляют 12,23...14,74 %. Однако из-за отрицательного влияния взаимодействия факторов – уравнения (3)...(5), максимальное содержание сырого протеина отмечено при использовании одинарной дозы

навоза совместно с двойной дозой минеральных удобрений (14,94...15,23 %), что обеспечило рост величины этого показателя на 3,15...3,83 %.

Выводы. Результаты эксперимента дают возможность моделирования действия разных систем удобрений в условиях юго-западной части Центрально-Чернозёмной зоны при использовании определённых агротехнических приёмов. Установлено, что применение минеральных удобрений наиболее эффективно в зернопропашном севообороте, при этом прибавка урожайности достигает 0,88...1,36 т/га, или 24,6...40,6 %, в зависимости от обработки почвы. В этом же севообороте отмечали более эффективное использование органических удобрений отдельно (прибавка составляла 0,34...0,78 т/га, или 9,4...23,4 %) и совместно с минеральными (прибавка 0,70...0,96 т/га, или 19,6...28,6 %).

На чернозёме типичном увеличение доз отдельно минеральных и отдельно органических удобрений способствовало улучшению качества зерна. При этом содержание сырого протеина при органической системе удобрений возрастало на 0,04...2,68 %, при минеральной – на 1,74...3,52 %.

Литература

1. Мельников В. И. Основные итоги и перспективы развития земледелия Белгородской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 1. С. 4–5.
2. Формирование продуктивности и качества зерна сортов ярового ячменя в зависимости от норм высева и уровня азотного питания в лесостепи Алтайского края / Ж. В. Кузикеев, В. А. Борадулина, Г. М. Мусалитин и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 3. С. 74–78.
3. Modeling the impact of weather and climatic conditions and nutritional variants on the yield of spring barley varieties (*Hordeum vulgare*) / A. Panfilova, V. Amayunova, M. Fedorchuk, et al. // *Agronomy research*. 2020. Vol. 18. Special issue 2. P. 1388–1403. doi: 10.15159/AR 20.159.
4. Creissen H. E., Jorgensen T. H., Brown J. K. M. Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes // *Crop Protection*. 2016. Vol. 85. P. 1–8. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219416300321> (дата обращения: 15.02.2023).
5. Волынкина О. В., Копылов А. Н., Кириллова Е. В. Влияние агрохимических свойств почвы и удобрений на урожайность культур в зернопропашном севообороте // *Агрохимический вестник*. 2020. № 5. С. 17–22.
6. Сабитов М. М. Технология возделывания ячменя с различным уровнем интенсификации в условиях Ульяновской области // *Агрохимический вестник*. 2020. № 5. С. 3–8.
7. Продуктивность севооборотов при длительном применении удобрений / Е. В. Навольнева, А. С. Цыгуткин, И. В. Логвинов и др. // *Сборник докладов XVII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В. В. Докучаева»*. Курск: Курский ФАНЦ. 2022. С. 194–200.
8. Опыт применения методов математической статистики для оценки состояния сельскохозяйственных растений / В. М. Буре, А. Ф. Петрушин, Е. П. Митрофанов и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 1. С. 84–90.
9. Тютюнов С. И., Цыгуткин А. С., Логвинов И. В. Урожай сахарной свёклы в зависимости от севооборота, способа основной обработки почвы, доз минеральных и органических удобрений // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 3–7.
10. Malting quality indicators of Croatian dual-purpose barley varieties / K. Mastanjevic, L. Lenart, G. Simic, et al. // *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol. 9. No. 2. P. 145–151.

References

1. Mel'nikov V. I. [Main results and prospects for the development of agriculture in the Belgorod region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(1):4-5. Russian.
2. Kuzikeev ZhV, Boradulina VA, Musalitin GM, et al. [Formation of productivity and grain quality of spring barley varieties depending on the seeding rates and the level of nitrogen nutrition in the forest-steppe of the Altai Territory]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(3):74-8. Russian.
3. Panfilova A, Amayunova V, Fedorchuk M, et al. Modeling the impact of weather and climatic conditions and nutritional variants on the yield of spring barley varieties (*Hordeum vulgare*). *Agronomy research*. 2020;18(Spec No 2):1388-403. doi: 10.15159/AR 20.159.
4. Creissen HE, Jorgensen TH, Brown JKM. Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*. 2016;85:1-8.
5. Volynkina OV, Kopylov AN, Kirillova EV. [Influence of agrochemical properties of soil and fertilizers on crop yields in a grain-row crop rotation]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020;(5):17-22. Russian.
6. Sabitov MM. [Barley cultivation technology with different levels of intensification under the conditions of the Ulyanovsk region]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020;(5):3-8. Russian.
7. Navol'neva EV, Tsygutkin AS, Logvinov IV, et al. [Productivity of crop rotations with long-term use of fertilizers]. In: *Sbornik докладов XVII Mezhduнародnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Kurskogo otdeleniya MOO "Obshchestvo pochvovedov imeni V.V. Dokuchaeva"* [Collection of reports of the XVII International scientific-practical conference of the Kursk branch of the International Public Organization "Dokuchaev Society of Soil Scientists"]. Kursk (Russia): Kurskii FANTs; 2022. p. 194-200. Russian.
8. Bure VM, Petrushin AF, Mitrofanov EP, et al. [Experience in the application of methods of mathematical statistics for assessing the state of agricultural plants]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2019;54(1):84-90. Russian.
9. Tyutyunov SI, Tsygutkin AS, Logvinov IV. [Yield of sugar beet depending on crop rotation, tillage method, doses of mineral and organic fertilizers]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*. 2022;(1):3-7. Russian.
10. Mastanjevic K, Lenart L, Simic G, et al. Malting quality indicators of Croatian dual-purpose barley varieties. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2017;9(2):145-51.