

УДК 631.81:631.811.98:633.16“321”

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА В ПОСЕВАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*Hordeum sativum* L.)

© 2022 г. Л. А. Пискарева¹, А. Ю. Чевердин^{1,*}

¹ Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева
Каменная Степь 397463 Воронежская обл., Таловский р-н,
пос. 2-го участка Института им. Докучаева, кварт. 5, 81, Россия

*E-mail: cheverdin@bk.ru

Поступила в редакцию 18.05.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

На черноземе сегрегационном Центрально-Черноземной зоны в стационарном опыте изучали эффективность различных доз полного минерального удобрения при возделывании ярового ячменя. Исследование проводили в 8-польном полевом севообороте. Установлено, что применение под основную обработку минеральных удобрений улучшало показатели эффективного плодородия чернозема обыкновенного. Комплексное их использование с внекорневой подкормкой растений ярового ячменя стимуляторами роста снижало содержание нитратного азота при малых и средних дозах НРК. При этом в этих же условиях обеспеченность доступным фосфором и калием повышалась. Отмечено увеличение содержания азота и калия в вегетативной массе растений при использовании удобрений. Показана четкая сортовая зависимость содержания минеральных элементов в растениях. Улучшение условий корневого питания способствовало росту продуктивности и содержания белка в зерне. Включение в технологию возделывания ячменя агропрепаратов различного спектра действия с некорневыми подкормками оказало менее существенное влияние на повышение продуктивности ячменя. Отмечены сортовые особенности ячменя при реагировании на условия минерального питания и примененные агропрепараты.

Ключевые слова: минеральные удобрения, стимуляторы роста, ячмень яровой, чернозем, эффективное плодородие, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188122010094

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень относится к важнейшей кормовой культуре Центрального Черноземья и по площади превосходит другие сельскохозяйственные растения, культивируемые в зоне. В силу своих биологических особенностей (короткий период произрастания, слабая поглотительная способность корневой системы), он довольно требователен к условиям произрастания.

Одним из основных регулируемых источников элементов питания сельскохозяйственных растений являются минеральные удобрения. Несмотря на значительные объемы научных данных об изменении питательного режима почв под их влиянием остается довольно много невыясненных вопросов, связанных с изменившимися условиями функционирования современных агроценозов. На эффективность минеральных удобрений существенное влияние оказывают содержание в

почве азота, фосфора, калия, агротехнические приемы, засоренность посевов, складывающиеся агроклиматические условия, плодородие почвы и др. [1–5]. Наиболее высокая прибавка урожайности ячменя от азотных удобрений отмечена на черноземах [6]. Установлена корреляционная зависимость между количеством осадков и прибавками урожая от дозы азотного удобрения [7]. Тесная корреляционная связь выявлена между урожайностью ячменя и содержанием доступного фосфора в черноземах [8]. Но наибольшая прибавка урожайности отмечена от азотных удобрений [9].

Применение минеральных удобрений в возрастающих дозах стабилизирует почвенную среду, снижает минерализацию органического вещества [10]. Под их воздействием отмечено снижение пестроты почвенного плодородия, стабилизирова-

лась урожайность и снижался коэффициент варьирования продуктивности растений [11].

Многими исследователями отмечена безальтернативность усиления химизации аграрного сектора [12–14]. Несмотря на принимаемые усилия, интенсивно увеличивается отрицательный баланс содержания элементов питания в почвах страны. За период с 1991 по 2015 г. дефицит азота составил 25, фосфора – 12 и калия – 76 млн т, что в среднем составило 40 кг/га [15]. Таким образом, формирование урожайности происходит за счет почвенных запасов.

В то же время в последние десятилетия широко разрабатывают и внедряют в производство различного рода биологически активные вещества и стимуляторы роста сельскохозяйственных культур. В этой связи необходима всесторонняя оценка взаимного комплексного влияния минеральных удобрений и активаторов роста на состояние почвенной среды и формирование продуктивности растений.

Эффективность применяемых стимуляторов роста во многом определяется уровень плодородия. Многими авторами отмечена активизация стартовых процессов роста и развития растений ярового ячменя, повышение уровня минерального питания при действии этих препаратов [16–18]. Производимые многочисленные биопрепараты разных групп оказывают положительное влияние на процессы фотосинтеза, рост и развитие растений, формирование структуры урожая ярового ячменя [19]. Включение в состав агрохимикатов гуминовых веществ повышает эффективность их применения [20]. В связи с этим цель работы – оценка совместного влияния минеральных удобрений и сложных комплексных стимуляторов роста на плодородие чернозема сегрегационного, продуктивность и качество зерна сортов ярового ячменя.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном опыте, заложенном в 2011 г. на полях НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева (Каменная Степь). Период проведения исследования – 2018–2019 гг. Культура – ячмень яровой. Опыт – трехфакторный. Фактор первого порядка – уровни удобрённости севооборота. В схему включены 4 уровня – без удобрений, (NPK)67, (NPK)133 и (NPK)200. Непосредственно под ячмень – без удобрений, N30P30K30, N60P60K60, N90P90K90. Фактор второго порядка – агрохимикаты, примененные в подкормки вегетирующих растений: 1 – без обработки агрохимикатами, 2 – лигногумат в дозе

0.2 кг/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения, 3 – препарат Brentax Triple в дозе 0.4 л/га в фазе кушения–начало трубкования и препарат S. PROGEN growth в дозе 0.4 кг/га в фазе колошения–цветения, 4 – препарат Аквадон-Микро в дозе 3.0 л/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения, 5 – препарат Гуми-20 М Богатый в дозе 1.0 л/га в фазах кушения–начало трубкования и колошения–цветения. Фактор третьего порядка – сорта ячменя: Приазовский 9, Икорец, Таловский 9, 13/14 (перспективная линия), Медикум, Осколец.

Площадь делянок последнего порядка – (3.6 м × 11 м) 39.6 м². Минеральные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы (вспашка на глубину 20–22 см).

Фоновая почва опытного участка представлена черноземом сегрегационным (обыкновенным) среднемощным среднегумусным тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в слое 0–30 см – 6.39%, рН_{KCl} 6.0, гидролитическая кислотность – 1.67 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований – 46.12 мг-экв/100 г почвы, валовое содержание азота – 0.297, фосфора – 0.170, калия – 1.82%. Содержание подвижных форм фосфора и калия менялось соответственно от 70 до 120 и от 65 до 115 мг/кг почвы.

Коэффициент увлажнения рассчитывали по формуле:

$K_{увл} = \Sigma O / I$, где $K_{увл}$ – коэффициент увлажнения, ΣO – количество осадков (мм), I – уровень испаряемости (мм).

Погодные условия в годы проведения исследования характеризовались значительной неравномерностью и отклонением от среднесезонных показателей. Среднегодовая температура воздуха в 2018 и 2019 гг. была выше нормы соответственно на 1.68 и 2.75°C (норма 5.79°C). По количеству выпавших атмосферных осадков за год также можно констатировать их увеличение по отношению к среднесезонным показателям. В 2018 г. годовая сумма осадков составила 508 мм, в 2019 г. – 450 мм (среднесезонные – 438 мм). При этом необходимо отметить такую особенность – увеличение количества осадков было характерно только для холодного периода года.

В период вегетации растений ячменя гидро-термические условия имели свои особенности. Температура воздуха в апреле превышала среднесезонные показатели на 1.84–3.24°C (среднее – 6.66°C). В мае различия были более существенными – на 3.8–2.7°C (среднее 14.4°C), в июне – на 0.9–3.0°C (среднее 18.2°C).

В июле 2018 г. температура воздуха превышала среднее многолетние показатели на 2.3°C (среднее 20.1°C). В 2019 г. температурный фон был понижен. Среднемесячная температура равнялась 19.4°C . За период проведения исследования температура воздуха в августе превышала среднее многолетние показатели на $0.1\text{--}2.7^{\circ}\text{C}$ (среднее 19.0°C).

Количество атмосферных осадков в течение летнего периода вегетации было ниже среднее многолетних показателей, за исключением июля. При средних показателях 61.7 мм месячная сумма осадков по годам составила $135.1\text{--}108.2$ мм. Наиболее критичные условия увлажнения были характерны для первого периода вегетации – мая и июня. При среднее многолетних показателях мая 44.8 мм в годы проведения исследования сумма осадков равнялась 19.2 и 40.3 мм, в июне соответственно 57.0 мм и $3.1\text{--}34.2$ мм.

Судя по величине коэффициента увлажнения ($K_{\text{увл}}$), растения ячменя испытывали недостаток влаги и особенно в первый период вегетации. В подтверждение более жестких условий произрастания расчетные величины $K_{\text{увл}}$ были в основном меньше среднее многолетних величин. В апреле при среднем показателе $K_{\text{увл}}$ на уровне 0.55 в годы исследования он равнялся 0.91 (2018 г.) и 0.26 (2019 г.). Для мая условия увлажнения складывались так же не очень благоприятно: $K_{\text{увл}}$ отмечен в пределах $0.14\text{--}0.31$, что меньше среднее многолетнего показателя (0.41). Аналогично складывались гидротермические условия и в июне. $K_{\text{увл}}$ составил $0.02\text{--}0.22$ при средней величине 0.46 . В годы проведения исследования июль характеризовался высокой степенью увлажнения на уровне $0.9\text{--}0.82$, что превышало существенно среднее многолетние показатели (0.47).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нитраты имеют важное значение в физиологических процессах в растениях, одновременно являясь источником и постоянным поставщиком окиси азота [21]. В нашем исследовании содержание нитратного азота в почве в большей степени определялось дозой внесенных азотных удобрений во всех фазах развития растений. Обработка растений стимуляторами роста оказывала меньшее влияние. Комплексное использование минеральных удобрений в сочетании со стимуляторами роста оказывало на нитратный режим неоднозначное влияние. На неудобренном фоне и при малых (средних) дозах удобрений их применение отмечено незначительным снижением обеспеченности растений азотом (табл. 1). По мере увеличения обеспеченности до N90P90K90 внекорне-

вая подкормка биопрепаратами способствовала росту содержания в почве азота. Причем данная закономерность была характерна для всех фаз развития растений ярового ячменя.

Максимально высокое количество нитратного азота отмечено в начале вегетационного периода в контрольном варианте без применения агрохимикатов при внесении минеральных удобрений в дозе N60P60K60 . Более высокая доза N90P90K90 вызывала ингибирование нитрификационных процессов, и количество доступного азота по отношению к другим фонам обеспеченности (N60P60K60) снижалось. В последующих фазах развития отмечено преимущество удобренных вариантов. В конце вегетации различия в обеспеченности нитратным азотом были незначительными. Сглаживание различий было связано с выносом и потреблением азота на формирование урожая зерна, а также с возможными другими статьями расхода – денитрификацией, выносом сорными растениями, потреблением азота почвенными микроорганизмами.

Минимальное количество нитратного азота было характерно для варианта без удобрений. В среднем в начале вегетации ярового ячменя содержание азота в почве составило 16.0 мг/кг. Применение минеральных удобрений положительно отразилось на обеспеченности растений ярового ячменя азотом. На фоне обеспеченности N30P30K30 в среднем количество доступного растениям азота равнялось 20.5 , увеличиваясь до 24.2 мг/кг на фоне N60P60K60 и 28.2 мг/кг при внесении N90P90K90 .

Особый интерес представляют данные изменения обеспеченности азотом при комплексном использовании стимуляторов роста и минеральных удобрений. В неудобренном варианте применение лингогумата и гуми-20 вызывало незначительное изменение содержания нитратного азота. В начале вегетации и в период уборки отмечено снижение его содержания. В фазе колошения при использовании агрохимикатов выявлена тенденция к увеличению количества азота в почве. Комплексное применение минеральных удобрений при малых и средних дозах NPK приводило к снижению содержания нитратного азота, максимальная доза, наоборот, стимулировала накопление нитратов в почве.

Причина изменения содержания в почве нитратного азота возможно связана с повышением поглощения N-NO_3 растениями при обработке гумусовыми веществами (ГВ) [22]. Повышение поглощения нитратов при обработке ГВ объясняется облегчением H^+/NO -симпорта ионов.

Таблица 1. Содержание нитратного азота в почве, мг/кг

Фон удобрения	Вариант	Фазы развития растений		
		трубкование	колошение	полная спелость
Без удобрений	Без обработок	17.2	15.5	15.1
	Лингогумат	15.3	17.8	14.0
	Гуми-20	15.4	17.0	13.3
	Среднее	16.0	16.8	14.1
N30P30K30	Без обработок	21.2	20.1	15.3
	Лингогумат	20.0	15.2	11.8
	Гуми-20	20.2	23.9	12.9
	Среднее	20.5	19.7	13.3
N60P60K60	Без обработок	31.1	24.5	17.4
	Лингогумат	18.5	20.7	13.6
	Гуми-20	22.9	27.2	17.1
	Среднее	24.2	24.1	16.0
N90P90K90	Без обработок	26.5	25.2	17.8
	Лингогумат	29.4	38.7	19.8
	Гуми-20	28.8	23.3	18.1
	Среднее	28.2	29.1	18.6
<i>HCP</i> ₀₅ главных эффектов				
удобрения		3.6	2.6	1.0
агрохимикаты		2.2	1.9	0.8

ГВ увеличивали поглощение аммонийного азота растениями, при этом увеличивалась активность ферментов малатдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и фосфоэнолпируваткарбоксилазы [23].

Количество доступного фосфора, особенно в начальные этапы развития ячменя, играет существенную роль в темпах роста растений и формирования вегетативной массы [24, 25]. Обеспеченность растений подвижным фосфором также в большей степени определялась примененными в исследовании минеральными удобрениями и была пропорциональна их внесенным дозам. Во всех фазах роста растений ярового ячменя минимальное количество доступного фосфора было характерно для варианта без удобрений. В среднем в начальный этап вегетации количество P_2O_5 отмечено на уровне 113 мг/кг (табл. 2). При использовании дозы минеральных удобрений N30P30K30 отмечено незначительное увеличение содержания доступного фосфора до 129 мг/кг. Более существенные различия были свойственны вариантам с внесением средней и повышенной дозы удобрений – до 190 и 265 мг/кг соответственно.

Использование гуматсодержащих агрохимикатов в подкормку вегетирующих растений оказало неоднозначное воздействие на обеспечен-

ность растений фосфором. На естественном фоне минерального питания в начале вегетации стимуляторы роста вызывали снижение концентрации доступного фосфора в почве. В дальнейшем по мере развития растений ярового ячменя можно отметить стабилизацию фосфатного режима и некоторое повышение содержания доступного фосфора в почве.

При комплексном использовании стимуляторов на фоне внесения минеральных удобрений можно констатировать их положительную роль в улучшении обеспеченности растений доступным фосфором. При этом данная закономерность была характерна для малых и средних фонов удобрений. Повышение дозы удобрений до N90P90K90, особенно со второй половины вегетации, вызывало снижение содержания фосфора в почве.

Анализ динамики обеспеченности растений обменным калием показал постепенное снижение его содержания в почве по мере развития растений. Максимальное его количество отмечено в начале вегетации. В среднем на удобренных фонах повышение концентрации доступного калия составило от 8 до 50 мг/кг (табл. 3). Улучшение

Таблица 2. Содержание доступного фосфора в почве, мг/кг

Фон удобренности	Вариант	Фазы развития растений		
		трубкование	колошение	полная спелость
Без удобрений	Без обработок	141	91	99
	Лингогумат	93	90	103
	Гуми-20	106	102	115
	Среднее	113	94	105
N30P30K30	Без обработок	112	120	120
	Лингогумат	119	117	128
	Гуми-20	157	156	148
	Среднее	129	131	132
N60P60K60	Без обработок	156	173	178
	Лингогумат	171	175	186
	Гуми-20	244	178	251
	Среднее	190	175	205
N90P90K90	Без обработок	278	283	255
	Лингогумат	302	268	220
	Гуми-20	214	184	183
	Среднее	265	245	219
<i>HCP</i> ₀₅ главных эффектов				
удобрения		14	19	11
агрохимикаты		12	12	8

обеспеченности растений калием было пропорционально увеличению доз минеральных удобрений.

К середине вегетации (фаза колошения) отмечена тенденция к снижению содержания калия, связанная с интенсивным потреблением растениями этого элемента. В варианте без удобрений в среднем содержалось доступного калия 76 мг/кг. Внесение минеральных удобрений в дозе N30P30K30 увеличивало его количество до 90 мг/кг. Повышение фона удобренности до N60P60K60 способствовало росту содержания калия до 97 и до 118 мг/кг при внесении N90P90K90. Применение на минеральном фоне стимуляторов роста в большинстве случаев улучшало обеспеченность растений доступным калием. Особенно заметно данная закономерность прослежена при использовании удобрений в малых и средней дозах (N30P30K30 и N60P60K60).

В рамках проведенной работы дана оценка динамики изменения содержания минеральных элементов в вегетативной массе растений ячменя в зависимости от фона удобренности и сортовых различий ярового ячменя. Для начального этапа развития было характерно наиболее высокое их содержание с максимальными показателями в удобренных вариантах. На фоне без удобрений в

фазе трубкования среднее содержание азота составило 2.05% (табл. 4). При использовании удобрений в дозе N90P90K90 содержание азота увеличивалось до 2.16% (на 5.3%). Несколько в большей мере изменялось содержание калия в вегетативной массе: в среднем с 1.78 до 2.13% (на 19.7%). Содержание фосфора в фазе трубкования существенно не менялось в зависимости от фона удобренности.

В большей степени на содержание минеральных элементов в фазе трубкования оказали сортовые особенности культуры. Максимальным количеством азота отличалась Перспективная линия 13/14—2.47% (в варианте без удобрений) и 2.37% (на фоне N90P90K90). Минимальное содержание азота в варианте без удобрений было у сорта Таловский 9 (1.90%), при повышении уровня удобренности до N90P90K90 — у сорта Икорец (1.99%).

Содержание калия в вегетативной массе в варианте без удобрения в зависимости от сорта варьировало от 1.6 до 1.92%: минимальным оно было у сорта Приазовский 9, максимальным — у Перспективной линии 13/14 — (1.92%). На фоне применения минеральных удобрений содержание калия изменялось в более высоких пределах —

Таблица 3. Содержание подвижного калия в почве, мг/кг

Фон удобрения	Вариант	Фазы развития растений		
		трубкование	колошение	полная спелость
Без удобрений	Без обработок	90	73	95
	Лингогумат	88	79	91
	Гуми-20	84	77	95
	Среднее	87	76	94
N30P30K30	Без обработок	76	84	96
	Лингогумат	101	90	91
	Гуми-20	109	95	110
	Среднее	95	90	99
N60P60K60	Без обработок	94	101	111
	Лингогумат	106	102	107
	Гуми-20	160	89	127
	Среднее	120	97	115
N90P90K90	Без обработок	134	110	121
	Лингогумат	173	139	121
	Гуми-20	106	105	129
	Среднее	137	118	124
<i>HCP</i> ₀₅ главных эффектов				
удобрения		12	9	10
агрохимикаты		10	7	8

Таблица 4. Содержание минеральных элементов в растениях ярового ячменя (2018–2019 гг.)

Фон	Сорт	Трубкование			Колошение		
		N	P	K	N	P	K
Без удобрений	Приазовский 9	2.00	0.78	1.60	1.43	0.60	1.17
	Икорец	2.01	0.83	1.82	1.36	0.59	1.09
	Таловский 9	1.90	0.64	1.83	1.48	0.48	1.33
	Перспективная линия 13/14	2.47	0.78	1.92	1.64	0.65	1.25
	Медиум	1.97	0.67	1.67	1.55	0.59	1.22
	Осколец	1.96	0.69	1.86	1.79	0.59	1.38
	Среднее	2.05	0.73	1.78	1.54	0.58	1.24
N90P90K90	Приазовский 9	2.27	0.79	2.28	1.50	0.59	1.33
	Икорец	1.99	0.74	2.02	1.42	0.60	1.44
	Таловский 9	2.06	0.67	2.16	1.50	0.57	1.34
	Перспективная линия 13/14	2.37	0.68	2.12	1.69	0.56	1.41
	Медиум	2.16	0.74	2.01	1.47	0.53	1.27
	Осколец	2.13	0.74	2.23	1.56	0.51	1.32
	Среднее	2.16	0.73	2.13	1.52	0.56	1.35

от 2.01 до 2.28%. Больше калия накапливал сорт Приазовский 9, меньше – сорт Медиум.

По мере роста и развития растений ярового ячменя отмечено снижение содержания минеральных элементов в вегетативной массе. Можно от-

метить такую особенность, как сглаживание показателей и снижение различий между фонами удобрения. На фоне без минеральных удобрений в фазе колошения содержание азота составило 1.54%, в варианте N90P90K90 – 1.52%, фосфо-

Таблица 5. Качественный состав зерна ячменя (2018–2019 гг.)

Фон удобрения	Приазовский 9	Икорец	Таловский 9	Линия 13/11	Медиум	Осколец	Среднее
	Сырой белок, %						
Без удобрений	12.8	11.9	12.5	12.0	12.4	12.1	12.3
N90P90K90	13.3	13.6	13.4	12.5	13.0	11.4	12.9
	Крахмал, %						
Без удобрений	53.3	55.9	56.7	56.0	54.9	56.1	55.5
N90P90K90	55.3	55.9	56.0	56.2	55.1	53.1	55.3

ра и калия соответственно 0.58 и 0.56, 1.24 и 1.35%. При этом по отношению к фазе трубкования в большей степени снизилось содержание калия – на 43.5–57.8%, далее – азота (на 33.1–42.1%) и фосфора (на 25.9–30.4%). Более высокие показатели были отмечены на удобренном фоне. В связи с этим можно предположить снижение темпов накопления минеральных элементов в вегетативной массе по мере роста растений на удобренных фонах (эффект разбавления). К середине вегетации также сохранилась дифференциация в темпах накопления азота, фосфора и калия в зависимости от сортовых особенностей ячменя.

Ячмень относится к важной кормовой культуре. Основными показателями качества зерна является содержание белка и крахмала. Показана главная роль минеральных удобрений в изменении белковости зерна. На содержание крахмала их влияние было выражено в меньшей степени. В среднем за годы исследования на естественном фоне удобрений содержание протеина в зерне варьировало в пределах от 11.9 до 12.8% (табл. 5). Применение минеральных удобрений в дозе N90P90K90 повышало белковость зерна до 12.5–13.6% или на 5.6–15.0%. В зависимости от сорта ячменя наибольшим содержанием белка на фоне без удобрений характеризовался сорт Приазовский 9 (12.8%), у сортов Икорец и Линия 13/11 отмечено его минимальное количество (11.9 и 12.0%).

На фоне внесения N90P90K90 белковость зерна ячменя менялась. Максимальным содержанием белка отличался сорт Икорец – 13.6%, близким было его содержание у сортов Таловского 9 и Приазовского (13.4 и 13.3% соответственно). При этом у сорта Осколец было отмечено снижение белковости зерна на фоне внесения минеральных удобрений – с 12.1 до 11.4%.

Содержание крахмала существенно не изменялось в зависимости от фона минерального питания. Средние показатели в вариантах без удобрений и на минеральных фонах питания были практически равнозначными (55.5 и 55.3%). В наибольшей степени содержание крахмала

определяли генетические сортовые особенности. В варианте без удобрений наибольшее его количество отмечено в зерне сортов Таловский 9, Осколец и Линия 13/11 (56.7, 56.1 и 56.0% соответственно). На фоне N90P90K90 высокое содержание крахмала также было у сортов Таловский 9 и Линия 13/11 (56.0 и 56.2%).

Анализ урожайности зерна ярового ячменя показал на ее значительное варьирование в вариантах опыта. В многофакторных опытах на величину конечного результата, кроме изученных факторов, оказывают влияние множество трудноучитываемых показателей. Оценка главных эффектов показала главную роль условий минерального питания (табл. 6), определяющих максимальную продуктивность ярового ячменя. Самая высокая урожайность отмечена при максимальной дозе минеральных удобрений N90P90K90. Она равнялась 2.45 т/га при уровне урожайности в контроле 1.74 т/га. Прибавка, таким образом, составила 0.71 т/га. При рекомендованной для зоны дозе N60P60K60 увеличение продуктивности составило в среднем 0.48 т/га. Минимальная урожайность при внесении удобрений в дозе N30P30K30 была равна 2.04 т/га (больше контроля на 0.3 т/га).

Вторым по значимости фактором повышения сбора зерна были сортовые особенности. При этом варьирование показателей было намного уже по сравнению с влиянием минеральных удобрений. В среднем наибольшую продуктивность обеспечил сорт Медиум – 2.35 т/га, минимальная урожайность была у сорта Икорец – 2.01 т/га. На втором месте по уровню урожайности была Перспективная линия 13/14–2.21 т/га. Сорта Приазовский 9 и Таловский 9 в этом отношении были на одном уровне – 2.11 т/га.

Существует генетически обусловленная реакция сортов на различные уровни минерального питания [5]. Оценка отзывчивости сорта на уровни минерального питания позволяет констатировать различную их реакцию. В контрольном варианте без удобрения (и без обработки агрохимикатами) наибольшая урожайность отмечена у сорта

Таблица 6. Урожайность зерна ячменя (2018–2019 гг.), т/га

Фактор А	Фактор В	Фактор В (сорт)						Среднее		
		Приазовский 9	Икорец	Таловский 9	Перспективная линия 13/14	Медкум	Осколец	сорт	НСР _{0,5} фактор А	НСР _{0,5} фактор В
N0P0K0	1	1.62	1.53	1.66	1.64	1.80	1.47	1.62	1.7	2.0
	2	1.79	1.64	1.77	1.74	2.12	1.58	1.62		2.2
	3	1.84	1.73	1.99	1.89	2.11	1.50	1.85		2.2
	4	1.82	1.64	1.74	1.82	1.91	1.55	1.74		2.1
	5	2.00	1.67	2.01	1.78	2.46	1.61	1.83		2.2
	Среднее	1.82	1.64	1.83	1.77	1.98	1.54	1.76		
N30P30K30	1	1.79	1.75	1.89	2.02	2.17	1.80	1.90	2.0	
	2	2.04	2.15	2.05	2.16	2.34	1.96	2.12		
	3	1.98	1.88	2.09	2.14	2.43	2.13	2.06		
	4	1.99	1.87	1.91	2.02	2.25	1.83	1.98		
	5	2.06	2.26	2.22	2.23	2.40	1.91	2.16		
	Среднее	1.97	1.96	2.03	2.11	2.32	1.87	1.98		
N60P60K60	1	2.00	1.97	2.15	2.20	2.25	1.95	2.08	2.2	
	2	2.25	2.26	2.08	2.47	2.43	2.16	2.28		
	3	2.16	1.98	2.19	2.27	2.41	2.06	2.18		
	4	2.17	2.19	2.34	2.51	2.48	2.10	2.29		
	5	2.23	2.25	2.27	2.47	2.44	2.06	2.28		
	Среднее	2.16	2.13	2.20	2.38	2.41	2.07	2.22		
N90P90K90	1	2.16	2.06	2.31	2.43	2.42	2.18	2.26	2.45	
	2	2.59	2.46	2.41	2.60	2.48	2.34	2.55		
	3	2.70	2.41	2.52	2.71	2.78	2.20	2.55		
	4	2.43	2.24	2.44	2.60	2.60	2.28	2.43		
	5	2.46	2.34	2.34	2.62	2.70	2.22	2.45		
	Среднее	2.47	2.30	2.40	2.59	2.67	2.25	2.45		
Среднее для препаратов	1	1.90	1.82	2.00	2.07	2.16	1.85	1.97		
	2	2.16	2.12	2.08	2.24	2.46	2.01	2.14		
	3	2.17	2.00	2.17	2.25	2.43	1.90	2.16		
	4	2.10	1.98	2.10	2.24	2.31	1.94	2.11		
	5	2.19	2.10	2.21	2.27	2.37	1.95	2.18		
Среднее фактора В		2.11	2.01	2.11	2.21	2.35	1.93	2.12		

НСР₀₅ фактор В, т/га = 0.18

Медикум – 1.80 т/га. У сорта Осколец она была минимальной – всего 1.47 т/га, разница составила 0.33 т/га. Применение удобрений в дозе N30P30K30 способствовало росту урожайности. Так же как и в варианте без удобрения сорт Медикум обеспечил получение максимального сбора зерна – 2.17 т/га. Сорта Приазовский 9, Икорец и Осколец обеспечили равную, но низкую продуктивность – 1.79, 1.75 и 1.80 т/га. Но при этом у сортов Перспективная линия 13/14, Медикум и Осколец отзывчивость на удобрения (прибавка урожайности к контролю) в варианте применения N30P30K30 была наибольшей – 0.38, 0.37 и 0.33 т/га соответственно.

Повышение фона удобренности до N60P60K60 способствовало дальнейшему росту урожайности ячменя. Лидерами были сорта Медикум и Перспективная линия 13/14 (2.25 и 2.20 т/га). Прибавка по отношению к неудоברенному варианту составила 0.45 и 0.56 т/га соответственно. Минимальная урожайность была характерна для сортов Осколец и Икорец (1.95 и 1.97 т/га). Но по отзывчивости они не уступали лучшим сортам. Для средней дозы удобрений наименьшая прибавка урожайности зерна отмечена у сорта Приазовский 9.

При внесении N90P90K90 характер формирования урожайности не изменился. Максимальную близкую продуктивность обеспечивали сорта Медикум и Перспективная линия 13/14 (2.42 и 2.43 т/га), у сорта Икорец она была минимальной (2.06 т/га), сорта Осколец и Приазовский 9 занимали промежуточное положение.

Подводя итоги реакции сортов на различные уровни минерального питания, необходимо отметить определенные особенности. Несомненным лидером независимо от фона минерального питания был сорт Медикум. Он обеспечивал высокую урожайность как без применения удобрений, так и при их использовании. Сорта Икорец и Таловский 9 при низкой урожайности в контроле существенно увеличивали свою продуктивность на минеральном фоне питания. В этой связи эти сорта целесообразно возделывать в технологиях с применением удобрений.

Примененные в опыте агрохимикаты оказывали менее заметное воздействие на изменение продуктивности растений ярового ячменя. В среднем в опыте рост урожайности менялся в пределах 0.14–0.21 т/га. Повышение уровня минерального питания в некоторой степени способствовало росту отклика растений ярового ячменя на внекорневую обработку агрохимикатами. Например, в варианте N30P30K30 в сочетании с об-

работкой растений лигногуматом по отношению к абсолютному контролю увеличение урожайности составило 0.50 т/га, в аналогичном варианте обработки на фоне N60P60K60 – соответственно 0.66, при дозе внесения N90P90K90 – 0.93 т/га. При внекорневой обработке препаратом Гуми-20 М Богатый прирост урожайности равнялся 0.54–0.83 т/га.

ВЫВОДЫ

1. Проведенное исследование эффективного плодородия чернозема сегрегационного позволило выявить влияние удобрений на обеспеченность нитратным азотом, доступным фосфором и калием. Наиболее высокие показатели были отмечены при максимальной дозе внесения удобрений. Содержание нитратного азота в первой половине вегетации при использовании минеральных удобрений увеличивалось на 28.1–76.2% (с 16.0 до 20.5–28.2 мг/кг). Комплексное их применение со стимуляторами роста приводило к снижению содержания азота в почве вследствие его потребления на формирования большей урожайности.

2. Применение минеральных удобрений повышало содержание доступного фосфора на 135–161% по отношению к контролю в первую половину вегетационного периода. Агрохимикаты на фоне малых и средних доз удобрений способствовали увеличению количества P_2O_5 на 36–88 мг/кг по сравнению с контролем.

3. Обеспеченность растений калием под влияние различных доз удобрений повышалась на 5–50 мг/кг. Использование стимуляторов роста в большинстве случаев улучшало обеспеченность растений доступным калием.

4. Минеральные удобрения повышали содержание белка в зерне ячменя с 11.9–12.8 до 12.5–13.6%. При этом отмечена четкая генетически обусловленная дифференциация по накоплению белка в зависимости от сортовых особенностей ярового ячменя. На естественном фоне минерального питания максимальное количество белка в зерне было отмечено для сорта Приазовский 9 (12.8%). На фоне внесения N90P90K90 максимальным содержанием белка отличался сорт Икорец (13.6%). Близкие показатели отмечены у сортов Таловского 9 и Приазовского (13.4 и 13.3 соответственно).

5. В результате применения минеральных удобрений продуктивность ячменя повысилась на 0.3–0.71 т/га. Максимальная урожайность отмечена на фоне применения N90P90K90 – 2.45 т/га (без удобрений – 1.74 т/га). Наиболее отзывчивы-

ми на улучшение условий питания были сорта Медикум, Перспективная линия 13/14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войтович Н.В., Сандухадзе Б.И., Чумаченко И.Н., Капранов В.Н.* Плодородие, удобрение, сорт и качество продукции зерновых культур в Нечерноземной зоне России. М.: ЦИНАО, 2002. 196 с.
2. *Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю.* Пищевой режим чернозема южного и продуктивность ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.) в условиях длительного стационарного опыта // Пробл. агрохим. и экол. 2015. № 4. С. 20–26.
3. *Шпанев А.М.* Влияние азотных удобрений на фитосанитарное состояние и потери урожая яровой пшеницы от вредных организмов в Северо-Западном регионе // Агрохимия. 2016. № 9. С. 62–69.
4. *Сычев В.Г., Афанасьев Р.А.* Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе // Плодородие. 2017. № 4. С. 2–6.
5. *Шпанев А.М., Фесенко М.А., Смух В.В.* Эффективность комплексного применения средств химизации при возделывании ярового ячменя на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2019. № 12. С. 47–55. <https://doi.org/10.1134/S0002188119120093>
6. *Шафран С.А., Козеичева Е.С.* Продуктивность ярового ячменя и окупаемость минеральных удобрений в зависимости от содержания элементов питания в основных типах почв России // Агрохимия. 2016. № 3. С. 11–22.
7. *Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н.* Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // Агрохимия. 2020. № 2. С. 77–83. <https://doi.org/10.31857/S0002188120020039>
8. *Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д.* Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
9. *Державин Л.М.* Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1992. 272 с.
10. *Завьялова Н.Е., Ковалевская Н.П., Шаравин Д.Ю.* Влияние длительного применения удобрений на экофизиологические показатели микробоценозов дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2020. № 1. С. 3–8. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010147>
11. *Артюхова О.А., Гладышева О.В., Свирина В.А.* Влияние элементов технологий возделывания на урожайность новых пивоваренных сортов ярового ячменя // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2020. № 2. С. 21–25. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/21-25>
12. *Сычев В.Г., Алиев А.М., Самойлов Л.Н.* Научные основы применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах Центрального Нечерноземья России (рекомендации). М.: ВНИИА, 2014. 44 с.
13. *Алиев А.М., Самойлов Л.Н., Цимбалист Н.И.* Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги 55 лет исследований в длительном полевом опыте) // Агрохимия. 2016. № 2. С. 20–30.
14. *Кудеяров В.Н.* Агрогеохимические циклы углерода и азота в современной земледелии России // Агрохимия. 2019. № 12. С. 3–15. <https://doi.org/10.1134/S000218811912007X>
15. *Шафран С.А., Кирпичников Н.А.* Научные основы прогнозирования содержания подвижного фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10. <https://doi.org/10.1134/S0002188119040112>
16. *Завалин А.А.* Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
17. *Осипова Л.В., Верниченко И.В., Ромодина Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А.* Устойчивость ярового ячменя к абиотическому стрессу в зависимости от уровня минерального питания и предобработки семян селеном и кремнием // Агрохимия. 2019. № 7. С. 67–74. <https://doi.org/10.1134/S000218811907010X>
18. *Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д.* Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
19. *Тимаков А.Г., Мамеев В.В., Павловская Н.Е., Яковлева И.В.* Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность растений ярового ячменя и структуру урожая // Агрохимия. 2019. № 8. С. 34–39. <https://doi.org/10.1134/S0002188119080106>
20. *Пищик В.Н., Бойцова Л.В., Воробьев Н.И.* Влияние гуминовых веществ на растения и ризосферные микроорганизмы в растительно-микробных системах // Агрохимия. 2019. № 3. С. 85–95. <https://doi.org/10.1134/S0002188119030116>
21. *Верниченко И.В.* Эндогенное образование нитратов в растительных тканях в различных условиях внешней среды и роль нитратной формы азота в жизни растений // Агрохимия. 2016. № 7. С. 81–95.
22. *Pinton R., Cesco S., Iacoletti G., Astolfi S., Varanini Z.* Modulation of NO_3^- uptake by water-extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H^+ -ATPase // Plant Soil. 1999. V. 215. № 2. P. 155–161.

23. *Panuccio M.R., Muscolo A., Nardi S.* Effect of humic substances on nitrogen uptake and assimilation in two species of pinus // *J. Plant Nutr.* 2001. V. 24. № 4–5. P. 693–704.
24. *Блэк К.А.* Растение и почва. М.: Колос, 1973. 504 с.
25. *Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р.* Фосфатное состояние эродированных лугово-черноземных почв и эффективность фосфорных удобрений в условиях Западной Сибири // *Агрохимия.* 2019. № 6. С. 3–13.
<https://doi.org/10.1134/S0002188119060097>

Efficiency of Complex Application of Mineral Fertilizers and Growth Stimulators on Spring Barley Crops (*Hordeum sativum* L.)

L. A. Piskareva^a and A. Yu. Cheverdin^{a, #}

^a *Voronezh V. V. Dokuchaev Federal Agrarian Research Center
quar. 5, 81, Docuchaev Institute, Talovaya district, Voronezh region 397463, Russia*

[#] *E-mail: cheverdin@bk.ru*

On the segregational chernozem of the Central Chernozem zone, the effectiveness of various doses of complete mineral fertilizer in the cultivation of spring barley was studied in a stationary experiment. The study was carried out in an 8-field crop rotation. It was found that the use of mineral fertilizers for the main treatment improved the indicators of effective fertility of ordinary chernozem. Their combined use with foliar fertilization of spring barley plants with growth stimulants reduced the content of nitrate nitrogen at small and medium doses of NPK. At the same time, under the same conditions, the availability of available phosphorus and potassium increased. There was an increase in the content of nitrogen and potassium in the vegetative mass of plants when using fertilizers. A clear varietal dependence of the content of mineral elements in plants is shown. The improvement of root nutrition conditions contributed to the increase in productivity and protein content in the grain. The inclusion of agricultural products of various spectrum of action with non-root top dressing in the technology of barley cultivation had a less significant effect on increasing the productivity of barley. The varietal features of barley in response to the conditions of mineral nutrition and applied agricultural products are noted.

Key words: mineral fertilizers, growth stimulants, spring barley, chernozem, effective fertility, productivity.