

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПИТАНИЯ И ФИТОРЕГУЛЯТОРОВ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

Н.Н. Новиков, д.б.н., А.Н. Налиухин, д.с.-х.н., Е.А. Филатов,
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева»
127550, ул. Прянишникова 6, Москва, Россия
E-mail: tshanovikov@gmail.com, naliuhin@yandex.ru, filatov@rgau-msha.ru,
тел.: +7 (499) 976-29-71

**Работа выполнена за счет средств Программы развития университета
в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030»**

В опытах с разными режимами питания растений ячменя, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, показано, что более высокие показатели урожайности и качества зерна получены в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$, в котором по сравнению с контролем урожай зерно возрастал более чем на 70 %, а содержание в зерне белков – на 2,7–4,4 %. В результате последствия удобрений в проросших зерновках этого варианта повышалась активность кислых и нейтральных α -амилаз, кислых каталаз, нейтральных пероксидаз, что улучшало семенные свойства зерна. Под воздействием азотного удобрения повышалась урожайность ячменя и накопление в зерне белков, активность α -амилаз, кислых каталаз и нейтральных пероксидаз. При внесении фосфора на фоне умеренных доз азота и калия ($N_{60}K_{60}$) повышалась урожайность ячменя, а содержание в зерне белков снижалось вследствие дефицита азота, тогда как на фоне высоких доз азота и калия в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ содержание в зерне белков существенно возрастало. Под действием возрастающих доз фосфора повышалась активность кислых и нейтральных α -амилаз, кислых каталаз, нейтральных пероксидаз в зерне проростков. В результате усиления калийного питания существенно повышалась урожайность ячменя и содержание в зерне белков, активность кислых каталаз, нейтральных и щелочных α -амилаз в зерне проростков. При обработке растений в фазе колошения раствором фиторегулятора эпин-экстра в зерне ячменя повышалось содержание белков на 0,6–1,2 %, а также активность кислых α -амилаз, щелочных β -амилаз, нейтральных каталаз в созревшем и проросшем зерне, что улучшало его кормовые и семенные качества.

Ключевые слова: яровой ячмень, режимы питания, содержание и состав белков, активность в зерне амилаз, каталаз, пероксидаз.

Для цитирования: Новиков Н.Н., Налиухин А.Н., Филатов Е.А. Влияние режимов питания и фиторегуляторов на урожай и качество зерна ярового ячменя в условиях Центрального района Нечерноземной зоны // Плодородие. – 2024. – №5. – С. 64–70. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.14.

Яровой ячмень, имеющий короткий период вегетации, относится к культурам, которые очень требовательны к режиму питания. Значительную часть азота, фосфора и калия растения ячменя потребляют в первые 3 нед после появления всходов. Наибольшее влияние на урожай ячменя и содержание в зерне белков оказывает режим азотного питания, при этом зерновая продуктивность растений возрастает на 10–44 %, содержание в зерне белков – на 0,5–4 % за счет увеличения концентрации гордеинов и глютелинов. Однако чрезмерно высокие дозы азота повышают содержание в зерновках небелковых азотистых веществ и снижают накопление крахмала. При усилении азотного питания также происходит повышение активности α -амилаз и антиоксидантных ферментов в созревшем и прорастающем зерне ячменя [1–3].

Под воздействием фосфора и калия урожайность ярового ячменя может возрастать на 10–30 %, тогда как содержание белков очень часто снижается, но возрастает накопление в зерновках крахмала. Для оптимизации развития растений ячменя необходимо правильно определять соотношение азотного и фосфорно-калийного питания. При дефиците азота снижаются зерновая продуктивность растений и содержание в зерне белков, а при недостаточном фосфорно-калийном питании понижает-

ся урожай зерна, но возрастает накопление в зерновках белков [4–6].

Действие удобрений на продуктивность растений и качество формирующегося урожая зерна ячменя зависит от гидротермических условий во время его вегетации. При засухе происходит значительное снижение урожая зерна, но возрастает содержание в зерне белков. С другой стороны, в условиях избыточного увлажнения усиливается потребление питательных веществ на развитие вегетативной массы растений, что очень часто вызывает их полегание и снижение содержания в зерне белков [7–9].

В ходе исследований выявлено влияние некоторых фиторегуляторов, применяемых в поздние фазы развития растений ячменя, на химический состав зерна и способность зерновок к прорастанию вследствие повышения в них активности ферментов гидролитического и антиоксидантного действия. Выявлено положительное действие на качество зерна ячменя таких фиторегуляторов, как эпин-экстра, новосил, биогумус, сидовит и др. Некоторые из них улучшают семенные качества зерна, так как способны повышать в прорастающих зерновках активность амилаз, протеаз, каталаз, пероксидаз [10–14].

Вместе с тем имеется еще недостаточно сведений о возможности оптимизации режимов питания и применения фиторегуляторов в технологиях выращивания

новых сортов ячменя кормового и продовольственного назначения в конкретных регионах с целью получения зерна с улучшенными технологическими и семенными свойствами.

Цель исследований – выяснить влияние режимов азотного, фосфорного, калийного питания и фиторегуляторов новосил и эпин-экстра на формирование урожая ячменя, содержание в зерне белков и белковых фракций, активность α - и β -амилаз, каталазы и пероксидазы в созревшем и прорастающем зерне при выращивании в Центральном районе Нечерноземной зоны.

Проведение таких исследований направлено на выяснение режима питания растений ячменя кормового и продовольственного назначения, обеспечивающего формирование качества зерна с улучшенными технологическими и семенными свойствами.

Методика. В 2021–2022 г. на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева были проведены полевые опыты с сортом ячменя Златояр селекции ФИЦ «Немчиновка». Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимические показатели почвы в 2021 г.: содержание гумуса – 2,2 %, $pH_{\text{пол.}}$ – 5,2; гидролитическая кислотность – 3,8, сумма поглощенных оснований – 7,5 мг-экв. на 100 г почвы; P_2O_5 – 275, K_2O – 115 мг/кг почвы (по Кирсанову); в 2022 г.: содержание гумуса – 2,3 %, $pH_{\text{пол.}}$ – 5,7; гидролитическая кислотность – 2,1, сумма поглощенных оснований – 7,8 мг-экв. на 100 г почвы; P_2O_5 – 270, K_2O – 125 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Опыты, заложенные на выровненном агрофоне в 5-кратной повторности, включали следующие варианты: 1 – без внесения удобрений (контроль); 2 – $P_{60}K_{60}$; 3 – $N_{60}K_{60}$; 4 – $N_{60}P_{60}$; 5 – $N_{60}P_{60}K_{60}$; 6 – $N_{120}P_{120}K_{120}$; 7 – $N_{60}P_{120}K_{120}$; 8 – $N_{120}P_{60}K_{60}$; 9 – $N_{120}P_{120}K_{60}$; 10 – $N_{60}P_{60}K_{60}$ +новосил; 11 – $N_{60}P_{60}K_{60}$ +эпин-экстра. На делянках площадью 1 м² до посева ячменя вносили удобрения: нитрат аммония, гранулированный суперфосфат, хлорид калия. На каждую делянку высевали 600 всхожих семян. В фазе колошения растения ячменя опрыскивали растворами фиторегуляторов новосил производства ООО «Эколенд-Сибирь» (д.в. тритерпеновые кислоты) и эпин-экстра производства ННПП «НЭСТ М» (д.в. 24-эпибрасинолид) с нормами расхода действующих веществ: новосил – 40 мг/л, эпин-экстра – 5 мг/л рабочего раствора. Норма расхода рабочего раствора для обработки растений на 1 делянке – 50 мл.

В зерновках ячменя, прошедших послеуборочное дозревание, определяли общий белковый азот и его фракции методом Кьельдаля. Белковые фракции последовательно экстрагировали обессоленной водой, растворами KCl (10 %), этанола (70 %), гидроксида натрия (0,2 %). В созревшем и проросшем зерне ячменя определяли активность кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7), щелочных (pH 8) изоферментов α - и β -амилазы, каталазы [15] и пероксидазы [16]. Необходимый pH при проведении ферментативных реакций поддерживали с использованием 1/15 M фосфатного буферного раствора. Для оценки последствий режимов питания растений и фиторегуляторов на активность указанных ферментов зерновки ячменя проращивали на воде в течение 7 суток при температуре 20°C.

Зерновую продуктивность растений и биохимические показатели зерна статистически оценивали дисперсионным методом на основе программного обеспечения «Straz» в версии 2.1 информационно-вычислительного центра РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева (1989–1991).

Результаты и их обсуждение. В годы проведения опытов очень сильно различались гидротермические условия во время вегетации растений (в 2021 г. ГТК=1,5, в 2022 г. ГТК=1,0), особенно по распределению осадков. В 2021 г. была засуха во время всходов и налива зерна, а в 3-й декаде мая и июне выпало большое количество осадков, которое значительно увеличило потери азота. Все это стало причиной низкой зерновой продуктивности растений ячменя. В 2022 г. наблюдалось более равномерное распределение осадков во время вегетации растений ячменя и в целом сложились более благоприятные условия для формирования урожая, поэтому урожай зерна был существенно выше по сравнению с 2021 г. (табл. 1).

1. Влияние режима питания и фиторегуляторов на зерновую продуктивность растений и содержание белков в зерне ячменя

Вариант	2021 г.		2022 г.	
	Урожай зерна, г/м ²	Содержание белков, % сух. массы	Урожай зерна, г/м ²	Содержание белков, % сух. массы
1. Контроль (без удобрений)	102	8,8	277	9,8
2. $P_{60}K_{60}$	123	8,9	362	9,3
3. $N_{60}P_{60}$	139	12,7	456	11,6
4. $N_{60}K_{60}$	145	11,2	412	12,0
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$	177	10,6	450	10,9
6. $N_{120}P_{120}K_{120}$	236	11,5	479	14,2
7. $N_{60}P_{120}K_{120}$	216	10,6	445	11,6
8. $N_{120}P_{60}K_{120}$	216	10,4	452	12,8
9. $N_{120}P_{120}K_{60}$	176	10,6	451	12,6
10. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	170	11,5	440	12,0
11. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	154	11,2	446	12,1
НСР₀₅	24	0,2	11	0,2

При внесении фосфорно-калийных удобрений ($P_{60}K_{60}$) существенно возросла зерновая продуктивность растений ячменя по сравнению с контролем (без удобрений). В результате улучшения фосфорно-калийного питания усилилось развитие корневой системы и усвоение из почвы питательных веществ. В 2022 г. за счет значительного повышения урожайности ячменя и затрат азота на его формирование содержание в зерне белков несколько понизилось.

Добавление к фосфорно-калийным удобрениям азотного (вариант $N_{60}P_{60}K_{60}$) увеличило урожай зерна ячменя на 24–44 %, а также содержание в зерне белков на 1,6–1,7 %. Сравнение вариантов $N_{60}P_{120}K_{120}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ показало, что под воздействием более высокой дозы азота существенно повышалось содержание в зерне белков, а в опыте 2022 г. возрастала зерновая продуктивность растений. Увеличение доз питательных веществ в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ по сравнению с вариантом $N_{60}P_{60}K_{60}$ существенно повысило урожай зерна ячменя и содержание в зерне белков.

Сравнение вариантов $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{60}K_{60}$ показывает, что под воздействием дозы фосфора 60 кг/га действующего вещества урожай зерна ячменя возрастал на 9–22 %, а содержание в зерне белков понизилось на 0,6–1,1 % вследствие дополнительной затраты азота на формирование прибавки урожая. Под влиянием более высокой дозы фосфора в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ по сравнению с вариантом $N_{120}P_{60}K_{120}$ в условиях вегетации 2021 г. зерновая продуктивность растений существенно не изменилась, а содержание в зерне белков повысилось на 1,1 %, тогда как в 2022 г. урожай зерна возрастал на 6 %, а содержание в зерне белков на 1,4 %, что было обусловлено повышением эффективности использования азота.

При улучшении калийного питания растений в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с $N_{60}P_{60}$ урожай зерна ячменя в условиях вегетации 2021 г. возрос на 27 %, а содержание в зерне белков снижалось на 2,1 % вследствие увеличения потребления азота на формирование прибавки урожая, тогда как в 2022 г. зерновая продуктивность растений существенно не изменилась, что было связано с более высоким содержанием в почве подвижного калия. Под воздействием повышенной дозы калия в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ на фоне $N_{120}P_{120}K_{60}$ зерновая продуктивность растений ячменя увеличивалась на 6–34 %, а содержание в зерне белков – на 0,9–1,6 %.

Таким образом, наиболее высокая зерновая продуктивность растений ячменя и белковистость зерна получены в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$, в котором по сравнению с контролем урожай зерна повышался на 73–131 %, а содержание в зерне белков – на 2,7–4,4 %. Причем в

наибольшей степени эти показатели возрастали под влиянием азотного удобрения.

Обработка растений ячменя растворами фиторегуляторов в фазе колошения не повышала их зерновую продуктивность, но при этом возрастало накопление белков в зерне: в варианте с эпин-экстра – на 0,6–1,2 %, с новосил – на 0,9–1,1 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что указанные фиторегуляторы активизировали синтез белков при созревании зерновок ячменя [3, 11].

Изучение состава белков показало (табл. 2), что при внесении умеренных доз питательных веществ (вариант $N_{60}P_{60}K_{60}$) в зерновках ячменя по сравнению с контролем снижалось содержание неэкстрагируемых белков и повышалась концентрация гордеинов, а в условиях вегетации 2022 г. под воздействием повышенных доз питательных веществ (вариант $N_{120}P_{120}K_{120}$) снижалось содержание глобулинов и неэкстрагируемых белков.

2. Содержание белковых фракций в зерне ячменя в опыте (азот фракций в % от общего белкового азота)

Вариант	Водорастворимые белки	Глобулины	Гордеины	Глютелины	Неэкстрагируемые белки
2021 г.					
Контроль (б/о)	11,2	12,7	28,9	28,5	18,7
$P_{60}K_{60}$	10,0	12,5	31,2	31,3	15,0
$N_{60}P_{60}$	10,8	12,5	30,4	33,7	12,6
$N_{60}K_{60}$	10,4	12,8	29,7	34,0	13,1
$N_{60}P_{60}K_{60}$	10,5	12,1	34,6	30,1	12,7
$N_{120}P_{120}K_{120}$	9,2	9,6	37,7	30,0	13,5
$N_{60}P_{120}K_{120}$	9,3	12,2	36,5	29,4	12,6
$N_{120}P_{60}K_{120}$	10,4	14,5	35,8	25,2	14,1
$N_{120}P_{120}K_{60}$	10,3	13,0	35,5	28,0	13,2
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	11,2	10,3	36,4	29,6	12,5
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	10,4	10,1	38,0	31,0	10,5
НСР ₀₅	1,4	2,9	3,9	3,4	1,4
2022 г.					
Контроль (б/о)	11,5	12,3	29,8	29,5	16,9
$P_{60}K_{60}$	10,9	12,5	33,2	30,1	13,3
$N_{60}P_{60}$	10,6	12,3	32,4	31,1	13,6
$N_{60}K_{60}$	10,2	12,8	29,5	33,8	13,7
$N_{60}P_{60}K_{60}$	10,4	12,0	34,2	29,9	13,5
$N_{120}P_{120}K_{120}$	9,6	10,2	37,8	30,7	11,7
$N_{60}P_{120}K_{120}$	9,9	10,7	37,3	29,5	12,6
$N_{120}P_{60}K_{120}$	10,1	14,1	36,1	27,5	12,2
$N_{120}P_{120}K_{60}$	10,4	13,5	36,3	28,2	11,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	11,3	10,7	35,6	30,3	12,1
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	10,8	11,4	35,3	29,9	12,6
НСР ₀₅	1,1	1,3	3,9	3,4	1,4

Высокие дозы фосфора и калия снижали концентрацию глобулинов в белковом комплексе зерна, а под воздействием умеренной дозы калия (K_{60}) уменьшалось содержание глютелинов и возрастало количество гордеинов в зерне ячменя. В варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ по сравнению с контролем значительно возросла концентрация гордеинов, но снижалось содержание водорастворимых, глобулиновых и неэкстрагируемых белков. Такие изменения состава белковых фракций в определенной степени снижали биологическую ценность белков зерна [9].

Обработка растений ячменя растворами эпин-экстра и новосила в фазе колошения существенно не изменяла состав белков зерна ячменя.

В ряде исследований показано влияние режимов питания растений и фиторегуляторов на активность гидролитических и антиоксидантных ферментов в зерновках ячменя, от которых зависят семенные свойства зерна [3, 5, 13]. В наших опытах при внесении умеренных доз питательных элементов в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с контролем в созревшем зерне ячменя существенно возросла активность кислых, нейтральных и щелочных

изоферментов α -амилазы и она также значительно повышалась при увеличении доз элементов питания в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ (табл. 3).

Повышение активности изоферментов α -амилазы в созревшем зерне, по-видимому, происходило в результате снижения концентрации белковых ингибиторов этих ферментов под действием возрастающей дозы азота.

В варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ в зерне 7-суточных проростков существенно повысилась активность всех изоферментов α -амилазы, а при увеличении доз питательных веществ (вариант $N_{120}P_{120}K_{120}$) возросла активность кислых и нейтральных α -амилаз. В результате повышения активности изоферментов α -амилазы в проросших зерновках происходила более интенсивная мобилизация крахмала для развития проростков, что улучшало семенные свойства зерна.

В варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с контролем в созревших зерновках повысилась активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов β -амилазы, которая также существенно возросла при увеличении доз питательных веществ в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ (табл. 4).

3. Активность изоферментов α -амилазы в зерне ячменя (мг гидролизованного крахмала за 1 минуту в расчете на 1 г сухой массы)

Вариант	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	Кислые (pH 5,5)	Нейтральные (pH 7)	Щелочные (pH 8)	Кислые (pH 5,5)	Нейтральные (pH 7)	Щелочные (pH 8)
2021 г.						
Контроль (без удобрений)	4,2	3,7	3,1	344	302	148
$P_{60}K_{60}$	5,5	4,3	3,9	555	362	253
$N_{60}P_{60}$	7,7	6,8	4,6	511	430	289
$N_{60}K_{60}$	8,7	7,3	4,8	651	543	393
$N_{60}P_{60}K_{60}$	9,6	8,4	5,3	631	526	464
$N_{120}P_{120}K_{120}$	15,3	12,2	6,7	864	691	380
$N_{60}P_{120}K_{120}$	12,5	10,1	4,8	636	468	314
$N_{120}P_{60}K_{120}$	14,4	12,4	7,0	779	672	379
$N_{120}P_{120}K_{60}$	17,0	12,2	7,4	914	541	328
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	9,8	8,6	5,7	650	514	489
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	11,6	9,4	6,2	685	596	523
НСР ₀₅	0,9	0,7	0,4	53	42	27
2022 г.						
Контроль (без удобрений)	7,3	5,3	4,1	598	433	193
$P_{60}K_{60}$	6,2	6,3	3,2	625	521	270
$N_{60}P_{60}$	10,4	9,0	5,8	692	568	369
$N_{60}K_{60}$	10,9	10,0	4,6	739	650	395
$N_{60}P_{60}K_{60}$	11,5	9,8	4,9	827	707	451
$N_{120}P_{120}K_{120}$	19,3	14,6	7,8	1089	825	439
$N_{60}P_{120}K_{120}$	15,0	10,9	7,0	982	711	456
$N_{120}P_{60}K_{120}$	16,6	11,1	7,8	897	602	421
$N_{120}P_{120}K_{60}$	16,9	13,2	7,5	806	583	331
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	14,9	9,9	5,7	952	614	361
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	16,7	11,5	6,8	995	686	406
НСР ₀₅	1,1	0,8	0,5	67	50	31

4. Активность изоферментов β -амилазы в зерне ячменя в опыте 2021 г. (мг гидролизованного крахмала за 1 минуту в расчете на 1 г сухой массы)

Вариант	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	Кислые (pH 5,5)	Нейтральные (pH 7)	Щелочные (pH 8)	Кислые (pH 5,5)	Нейтральные (pH 7)	Щелочные (pH 8)
2021 г.						
Контроль (без удобрений)	46,4	35,9	15,8	232	157	89
$P_{60}K_{60}$	52,6	43,6	19,5	224	151	81
$N_{60}P_{60}$	55,7	43,3	19,7	229	154	87
$N_{60}K_{60}$	56,5	43,7	21,7	227	153	84
$N_{60}P_{60}K_{60}$	60,5	48,7	23,7	248	169	113
$N_{120}P_{120}K_{120}$	76,4	69,1	33,0	186	117	67
$N_{60}P_{120}K_{120}$	63,8	55,6	28,3	211	131	78
$N_{120}P_{60}K_{120}$	70,1	67,3	30,8	223	148	83
$N_{120}P_{120}K_{60}$	72,4	68,8	32,0	237	154	86
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	58,7	53,7	26,8	254	174	119
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	61,6	55,7	29,5	262	179	125
НСР ₀₅	3,3	2,5	1,3	15	12	8
2022 г.						
Контроль (без удобрений)	48,7	38,2	18,1	407	341	164
$P_{60}K_{60}$	54,9	45,9	21,7	394	326	139
$N_{60}P_{60}$	58,0	45,6	22,0	402	337	158
$N_{60}K_{60}$	58,8	46,0	24,0	398	334	154
$N_{60}P_{60}K_{60}$	62,8	51,0	26,0	412	343	161
$N_{120}P_{120}K_{120}$	78,9	69,4	35,3	297	215	112
$N_{60}P_{120}K_{120}$	70,3	57,9	30,6	361	254	129
$N_{120}P_{60}K_{120}$	76,6	69,6	33,1	378	263	137
$N_{120}P_{120}K_{60}$	77,7	71,1	34,3	383	268	132
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил	61,0	56,0	29,1	418	358	163
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин-экстра	71,9	58,0	35,3	427	366	172
НСР ₀₅	3,1	2,5	1,2	14	13	8

Однако в проросшем зерне происходило снижение активности кислых, нейтральных и щелочных β -амилаз при высоких дозах питательных веществ (вариант $N_{120}P_{120}K_{120}$), которые увеличивали накопление в зерновках гордеинов, понижающих растворимость эндосперма при прорастании зерновок. Вместе с гордеинами в эндосперме также откладываются глютелины, с которыми связаны β -амилазы. Поэтому при снижении растворимости эндосперма замедляется переход указанных ферментов в свободное состояние и снижается их активность [9].

В варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с контролем в созревшем зерне была повышена активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов каталазы, а при увеличении доз питательных веществ их

активность существенно не изменялась или различалась по годам (табл. 5).

В результате последствия удобрений в варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ по сравнению с контролем в зерне проростков была повышена активность кислых и нейтральных изоферментов каталазы, а при увеличении доз питательных веществ в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ существенно возросла активность кислых каталаз.

В варианте $N_{60}P_{60}K_{60}$ в созревшем зерне по сравнению с контролем была повышена активность кислых и нейтральных изоферментов пероксидазы, а под действием высоких доз питательных элементов в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ в созревших зерновках заметно возросла активность кислых пероксидаз (табл. 6).

5. Активность изоферментов каталазы в зерне ячменя в опыте 2021 г. (мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Вариант	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	Кислые (рН 5,5)	Нейтральные (рН 7)	Щелочные (рН 8)	Кислые (рН 5,5)	Нейтральные (рН 7)	Щелочные (рН 8)
2021 г.						
Контроль	0,1	0,2	0,3	0,2	0,8	0,9
P ₆₀ K ₆₀	0,2	0,6	0,6	0,3	1,1	1,1
N ₆₀ P ₆₀	0,3	0,6	0,6	0,3	1,1	1,2
N ₆₀ K ₆₀	0,4	0,6	0,7	0,4	1,3	1,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	0,7	0,7	0,5	1,4	1,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,5	0,8	0,8	0,7	1,7	1,8
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,4	0,7	0,7	0,6	1,7	1,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	0,4	0,8	0,8	0,5	1,5	1,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₆₀	0,4	0,9	0,9	0,5	1,5	1,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,5	0,7	0,8	0,6	1,7	1,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,5	0,8	0,8	0,5	1,7	1,8
НСР ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3
2022 г.						
Контроль	0,1	0,3	0,4	0,3	0,9	1,1
P ₆₀ K ₆₀	0,3	0,8	0,9	0,3	1,2	1,2
N ₆₀ P ₆₀	0,3	0,8	0,9	0,4	1,2	1,3
N ₆₀ K ₆₀	0,4	0,6	0,8	0,4	1,2	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,4	0,8	0,8	0,5	1,4	1,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,5	0,7	0,7	0,8	1,6	1,7
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,3	0,7	0,8	0,5	1,4	1,6
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	0,3	0,8	0,9	0,5	1,5	1,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₆₀	0,3	0,9	0,9	0,5	1,4	1,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,6	1,3	1,5	0,5	1,7	1,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,6	1,1	1,1	0,6	1,8	1,9
НСР ₀₅	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,6

6. Активность изоферментов пероксидазы в зерне ячменя в опыте 2021 г. (мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Вариант	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	Кислые (рН 5,5)	Нейтральные (рН 7)	Щелочные (рН 8)	Кислые (рН 5,5)	Нейтральные (рН 7)	Щелочные (рН 8)
2021 г.						
Контроль	0,1	2,1	3,5	1,3	2,9	4,4
P ₆₀ K ₆₀	0,2	2,2	3,7	1,4	2,9	4,6
N ₆₀ P ₆₀	0,4	3,0	4,6	1,6	3,0	4,7
N ₆₀ K ₆₀	0,4	3,1	4,9	1,9	3,8	5,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	3,3	5,0	2,1	4,8	6,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,7	4,5	6,7	3,1	6,8	8,7
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,6	4,1	6,2	2,3	7,0	8,6
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	0,8	4,7	6,0	2,1	6,7	8,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₆₀	0,7	4,5	5,9	2,0	6,5	8,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,5	4,1	5,6	2,3	4,8	6,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,5	4,0	5,6	2,3	4,9	6,6
НСР ₀₅	0,2	0,1	2,1	1,1	1,4	2,7
2022 г.						
Контроль	0,1	2,9	4,3	1,4	3,0	4,6
P ₆₀ K ₆₀	0,2	2,7	4,4	1,6	3,2	5,2
N ₆₀ P ₆₀	0,4	3,5	4,8	1,7	3,8	5,5
N ₆₀ K ₆₀	0,4	3,6	5,6	2,2	4,3	6,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	4,2	5,5	2,4	5,1	7,5
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,9	4,5	6,8	2,8	7,6	9,1
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,7	4,6	6,8	2,9	6,7	8,5
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,0	4,8	5,1	2,7	6,5	8,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₆₀	0,9	4,4	6,2	2,7	6,4	8,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,6	4,8	6,2	2,4	5,2	7,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,7	4,7	6,0	2,5	5,8	7,9
НСР ₀₅	0,2	0,5	1,3	0,4	0,7	1,5

В результате последствия удобрений в варианте N₆₀P₆₀K₆₀ в проросшем зерне была повышена активность нейтральных изоферментов пероксидазы, которая еще в большей степени возрастала в варианте N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀. Повышение активности в зерне проростков определенных изоферментов каталазы и пероксидазы усиливало в нем антиоксидантную защиту, что улучшало его семенные свойства.

В проведенных опытах выявлено значительное влияние дозы азота 60 кг/га на активность всех изоферментов α- и β-амилазы как в созревшем, так и проросшем зерне ячменя. При увеличении дозы азота до 120 кг/га возрастала активность всех изоферментов α-амилазы в созревшем и проросшем зерне, тогда как активность всех изоферментов β-амилазы уменьшалась вследствие

снижения растворимости эндосперма, вызванного повышенной концентрацией в зерне гордеинов.

При повышении уровня азотного питания растений ячменя в его созревшем и проросшем зерновках возрастала активность кислых каталаз. В созревшем зерне также возрастала активность кислых и нейтральных пероксидаз, а в зерне проростков – активность нейтральных пероксидаз.

Под действием возрастающих доз фосфора повышалась активность кислых и нейтральных α-амилаз, кислых каталаз в созревшем и проросшем зерне, кислых и щелочных β-амилаз в созревшем зерне, нейтральных пероксидаз в проросшем зерне. Высокая доза фосфора снижала активность β-амилаз в проросшем зерне.

В результате усиления калийного питания повышалась активность кислых катализ в созревшем и проросшем зерне ячменя, активность нейтральных и щелочных α -амилаз в зерне проростков. При умеренной дозе калий повышал также активность нейтральных катализ и пероксидаз в созревшем зерне. Калий в умеренной дозе повышал активность всех изоферментов β -амилазы в созревшем зерне и снижал их активность в проросшем зерне. При высокой дозе калия в созревших зерновках снижалась активность нейтральных катализ.

Под воздействием эпин-экстра возрастала активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы в созревшем зерне и кислых α -амилаз в зерне проростков, также повышалась активность нейтральных и щелочных β -амилаз в созревшем зерне и щелочных – в зерне проростков, нейтральных и щелочных катализ в созревшем зерне и нейтральных в проросших зерновках, а также нейтральных пероксидаз в созревшем зерне ячменя.

Под действием новосила возрастала активность щелочных α -амилаз, нейтральных и щелочных β -амилаз, щелочных катализ и нейтральных пероксидаз в созревшем зерне. Таким образом, по воздействию на активность изоферментов амилаз и катализ в проросшем зерне ячменя хорошо себя показал фиторегулятор эпин-экстра.

Выводы. В опытах с разными режимами питания растений ячменя, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, показано, что более высокие показатели урожайности и качества зерна получены в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$, в котором по сравнению с контролем урожай зерна возрастал более чем на 70 %, а содержание в зерне белков – на 2,7–4,4 %. В результате применения удобрений в проросших зерновках этого варианта повышалась активность кислых и нейтральных α -амилаз, кислых катализ, нейтральных пероксидаз, что улучшало семенные свойства зерна.

Под воздействием азотного удобрения повышались зерновая продуктивность растений ячменя и накопление в зерне белков, активность кислых, нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы, кислых катализ и нейтральных пероксидаз в созревшем и проросшем зерне, однако высокая доза азота (120 кг/га) снижала активность всех изоферментов β -амилазы в зерне 7-суточных проростков вследствие ухудшения растворимости эндосперма.

При внесении фосфора на фоне умеренных доз азота и калия ($N_{60}K_{60}$) повышалась урожайность ячменя, а содержание в зерне белков снижалось вследствие дефицита азота, тогда как на фоне высоких доз азота и калия в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ содержание в зерне белков существенно возрастало. Под действием возрастающих доз фосфора повышалась активность кислых и нейтральных α -амилаз, кислых катализ в созревшем и проросшем зерне, нейтральных пероксидаз в зерне проростков. Высокая доза фосфора снижала активность β -амилаз в проросшем зерне.

Под воздействием повышенной дозы калия в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ существенно повышались зерновая

продуктивность растений ячменя и содержание в зерне белков. В результате усиления калийного питания повышалась активность кислых катализ в созревшем и проросшем зерне ячменя, активность нейтральных и щелочных α -амилаз в зерне проростков.

При обработке растений в фазе колошения растворами фиторегуляторов новосил и эпин-экстра лучшие результаты показал эпин-экстра, который повышал в зерне ячменя содержание белков на 0,6–1,2 %, а также активность кислых α -амилаз, щелочных β -амилаз, нейтральных катализ в созревшем и проросшем зерне, что улучшало его кормовые и семенные качества.

Литература

1. Евдокимова М.А. Оптимизация питательного режима дерново-подзолистой почвы под посевами ярового ячменя // Вестник Марийского госуд. универ. – 2016. – №1(5). – С. 10–18.
2. Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. – М.: ВНИИА, 2007. – 208 с.
3. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Агробиохимия. – 2019. – №2. – С. 43–51.
4. Тованчев И.В. Окупаемость фосфорных удобрений при выращивании ярового ячменя на дерново-подзолистой почве с различной окультуренностью // Плодородие. – 2017. – №2. – С.18–19.
5. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия ТСХА. – 2020. – № 2. – С. 5–19.
6. Филатов А.Н., Мазуров В.Н., Храмой В.К., Арланцева Е.Р. Влияние способов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Владимир в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны // Известия ТСХА. – 2021. – №1. – С. 18–28.
7. Пакуль В.Н. Селекция ярового ячменя в условиях рискованного земледелия // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №9. – С. 11–13.
8. Andersson A., Holm L. Effects of mild temperature stress on grain quality and root and straw nitrogen concentration in malting barley cultivars // Journal of Agronomy and Crop Science. – 2011. – №197. – P. 466–476.
9. Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: учеб. пособие. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 194 с.
10. Новиков Н.Н., Мясников А.Г., Сычев П.В. Влияние фиторегуляторов на формирование урожая и пивоваренных свойств зерна ячменя при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия ТСХА. – 2011. – № 3. – С.78–88.
11. Пономарева Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи // Вестник РГАУ. – 2015. – №3(27). – С.36–42.
12. Новиков Н.Н., Шатилова Т.И., Романова Е.В. Влияние фиторегуляторов на формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в условиях Центрально-Черноземного района // Плодородие. – 2015. – № 4(85). – С. 24–26.
13. Гамзаева Р.С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в 136 прорастающих зёрнах пивоваренного ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 44. – С. 27–32.;
14. Новиков Н.Н., Исламгулова Р.Р. Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (катализ и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2022. – № 4. – С. 36–45.
15. Пleshков Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985. – 255 с.
16. Новиков Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // Известия ТСХА. – 2016. – Вып. 3. – С. 36–46.

*N.N. Novikov**, Doctor of Biological Sciences, *A.N. Naliukhin*, Doctor of Agricultural Sciences, *E.A. Filatov*

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Pryanishnikova ul. 6, 127550 Moscow, Russia, *E-mail: tshanovikov@gmail.com*

In experiments with different nutrition regimes of barley plants, carried out on sod-podzolic medium loamy soil, it was shown that higher yield and grain quality indicators were obtained in the N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ variant, in which, compared to the control, the grain yield increased by more than 70%, and the protein content in the grain by 2.7–4.4%. As a result of the aftereffect of fertilizers in the sprouted grains of this variant, the activity of acidic and neutral α -amylases, acidic catalases, and neutral peroxidases increased, which improved the seed properties of the grain. Under the influence of nitrogen fertilizer, barley yield and accumulation of proteins in grain, the activity of α -amylases, acid catalases and neutral peroxidases increased. When phosphorus was added against the background of moderate doses of nitrogen and potassium (N₆₀K₆₀), the barley yield increased, and the protein content in the grain decreased due to nitrogen deficiency. whereas against the background of high doses of nitrogen and potassium in the N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ variant, the protein content in grain increased significantly. Under the influence of increasing doses of phosphorus, the activity of acidic and neutral α -amylases, acidic catalases, and neutral peroxidases in the grain of sprouts increased. When treating plants in the heading phase with a solution of the phyto regulator Epin-extra, the protein content in barley grain increased by 0.6–1.2%, as well as the activity of acid α -amylases, alkaline β -amylases, neutral catalases in ripe and sprouted grain, which improved its forage and seed qualities.

Keywords: spring barley, feeding regimes, protein content and composition, amylase, catalase, peroxidase activity in grain.

УДК 631.824: 631.81.036

DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИЕВОГО УДОБРЕНИЯ АГРОМАГ В АГРОЦЕНОЗЕ С КАРТОФЕЛЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Н.И. Аканова¹, А.В. Козлова², И.И. Серегина³, Полухин А.А.⁴, Кутырева Д.Е.¹

¹ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Россия, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

²ООО «Русское горно-химическое общество»,

Россия, 115093, Москва, ул. Павловская, д. 7, info@brucite.plus, +7 495 789 65 30

³ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»

Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru,

*⁴ФГБНУ ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, Орловский муниципальный округ,
посёлок Стрелецкий, Молодёжная улица, 10, корп. 1, +7 (4862) 40-32-24*

Приведены результаты исследования эффективности магнийсодержащего удобрения в качестве мелиоранта в севообороте с картофелем. Выявлено прямое действие и последствие мелиорантов линейки АгроМаг марок А и В на урожайность и качество картофеля сорта Коломба, а также на изменение агрохимических и физико-механических свойств темно-серых лесных почвы. Установлено, что внесение магнийсодержащего мелиоранта увеличивает урожай клубней картофеля, наибольший урожай был получен при дозе 600 кг/га АгроМаг марка В и составил 18,0 т/га.

Ключевые слова: магнийсодержащего удобрения, мелиоранты, картофель, агроценоз, почвенно-климатические условия.

Для цитирования: Аканова Н.И., Козлова А.В., Серегина И.И., Полухин А.А., Кутырева Д.Е. Эффективность магниевого удобрения АгроМаг в агроценозе с картофелем в зависимости от почвенно-климатических условий// Плодородие. – 2024. – №5. – С. 70-74. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.15.

Продовольственной культуры пшеницы и риса играют важную роль в обеспечении жизнедеятельности людей. Третье место по значимости занимает картофель.

В настоящее время картофель возделывают на площади >20 млн га в 150 странах мира, а общее мировое производство составляет более 360 млн т. По прогнозам ФАО, производство картофеля может увеличиться до 500 млн т к 2025 году и до 750 млн т в 2030 г.

Магний (Mg²⁺) имеет решающее значение для жизнедеятельности растений, формирования урожайности и качества продукции растениеводства. Магний²⁺ принимает участие в фотосинтезе, как главный компонент хлорофилла, ускоряет рост и накопление биомассы растения. От интенсивности синтеза хлорофилла во многом зависит качество продукции и срок её хранения [1].

Магний способствует увеличению поглощения питательных веществ из почвы, обеспечивает передачу энергии и регуляцию клеточных процессов [2, 3]. играет важную роль в транспортировке углеводов и [4] обеспечивает стабилизацию клеточных структур, в том числе, клеточных мембран, рибосом, митохондрий, хлоропластов и нуклеиновых кислот, что повышает функциональную эффективность растительных клеток [3, 5]. Магний влияет на интенсивность синтеза белка, деление клеток и репликацию ДНК [6-8].

Mg²⁺ способствует активации ферментов и устойчивости растений к различным стрессам окружающей среды [5; 9-11]. Магний имеет большое значение в синтезе и метаболизме белков, углеводов и нуклеиновых кислот [12-13].