

Литература

1. Аканова Н.И. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса, как химического мелиоранта и фосфорсодержащего минерального удобрения в условиях богарного земледелия Краснодарского края / Н.И. Аканова, А.Х. Шеуджен, М.М. Визирская, А.А. Андреев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №2 (362). – С. 32-37.
2. Аканова Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия (по материалам семинаров ОАО «МКХ» ЕвроХим) // Плодородие. – 2013. – №1(70) – С. 2-7.
3. Ангелова А.И., Левин Б.В., Черненко Ю.Д. Фосфатное сырье. – М.: Недра, 2000. – С. 108-109.
4. Ангелова М.А. Динамика и прогноз мирового производства фосфатного сырья // Химическая промышленность. – 1997. – № 3. – С. 15-22.
5. Борисов В.М., Белрезкина Л.Г., Борисова С.И., Дьяконова Т.И. Кинетика восстановления гипса и фосфогипса // Труды НИУИФ, Вып. 243. – М., 1983. – 191 с.
6. Иваницкий В.В., Классен П.В. Новиков А.А. и др. Фосфогипс и его использование. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
7. Куркаев В.Т. Агрохимия: учеб. пособие для вузов / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.
8. Марказен З.Х. Утилизация фосфогипса. – М.: НИИТЭХИМ, 1986. – 56 с.
9. Меренкова Т.М., Тихонова Р.А. Пути утилизации фосфогипса в капиталистических странах // Химическая промышленность за рубежом. – 1980. – № 3. – С. 14-31.
10. Рекомендации по использованию смесей известковых материалов с фосфогипсом для химической мелиорации кислых почв. – М.: ЦИ-НАО, 1987. – 37 с.
11. Фосфогипс и его использование / Под ред. Эвенчика С.Д., Новикова А.А. – М.: Химия, 1990. – 222 с.
12. Шеуджен А.Х. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
13. Шеуджен А.Х. Агрохимия фосфогипса в рисовом агроценозе / А.Х. Шеуджен, С.В. Гаркуша, Т.Н. Бондарева, Н.М. Кремзин, П.Н. Хачма-мук. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2021. – 156 с. ISBN 978-5-7992-0970-4.
14. Шеуджен А.Х. Сера и методы ее определения / А.Х. Шеуджен, В.П. Суетов, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек, И.А. Лебедевский. – Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ», 2019. – 136 с.
15. Эффективность применения фосфогипса нейтрализованного в рисовом севообороте / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, П.Н. Хачма-мук [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12-1(54). – С. 163-167. – DOI 10.18454/IRJ.2016.54.035.
16. Degirmenci N, Okucub A., Turabi A. Application of phosphogypsum in soil; stabilization // Building-and-Environment. V.2007. – №42. – PP. 3393-3398.
17. <https://belgorodinvest.com/upload/iblock/ac4/ac481d2541a2ac0e5bef2c7b8d41018e.pdf>

EFFECTIVENESS OF DIFFERENT FORMS OF NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM WHEN USED ON WINTER WHEAT CROPS AS A POLYCOMPONENT FERTILIZER

A.Kh. Sheudzen^{1,2}, Dr. of biology, academician of Russian Academy of Sciences, T.N. Bondareva^{1,2}, Ph.D. in agriculture, Kh.D. Khurum¹, Dr. of agriculture, I.A. Lebedovskiy², Ph.D. in agriculture, P.N. Khachmamuk^{1,2}, Ph.D. in agriculture, S.V. Esipenko², Ph.D. in agriculture, M.A. Perepelin¹, A.A. Vereschakova^{1,2}

¹FSBSI «Federal Scientific Rice Centre», 350921, Russia, Krasnodar region, Krasnodar, Belozerny, 3, phone: 89183917017, e-mail: bondarevatatjna@mail.ru

²FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»

The article presents the results of studying the effectiveness of using various forms of neutralized phosphogypsum (free-running, granular, MOMF) as a multicomponent fertilizer on winter wheat crops grown on leached chernozem and meadow-chernozem soil. It has been established that granulation of phosphogypsum and its modification with humates does not affect its agrochemical efficiency. Neutralized phosphogypsum can replace the application of phosphorus fertilizers 1-2 times during an eight-field crop rotation without loss of grain yield or reduction in its quality.

Key words: winter wheat, phosphogypsum, granular phosphogypsum, multicomponent organic-mineral fertilizer (MOMF).

УДК 633.11.004.12 321:631.811.1

DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.06

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА КОРМОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ 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, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, E-mail: tshanovikov@gmail.com

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

Исследования, проведенные на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве, показали, что при внесении фосфора и калия в дозах $P_{60}K_{60}$ для выращивания ячменя наиболее эффективны дозы азота N_{90-120} кг д.в./га. Применение указанных доз азота по сравнению с контролем привело к увеличению его урожайности на 77–112%, а содержания белков в зерне на 2–2,8%. Однако при этом наблюдалось снижение доли водорастворимых белков и глобулинов, обладающих сбалансированным аминокислотным составом, в общем белковом комплексе зерна. Увеличение доз азотного питания стимулировало возрастание активности всех изоферментов α - и β -амилазы, пероксидазы и кислых каталаз в зрелом зерне ячменя. В пророщенных зернах после воздействия внесенного азота наблюдалось повышение активности кислых и нейтральных α -амилаз, а также всех изоферментов каталазы и пероксидазы. Все это способствовало усилению прорастающей способности зерновок и улучшению качественных характеристик семян. В ходе проведенных исследований установлена тесная корреляция между концентрацией аминокислот в клеточном соке листьев ячменя на стадии формирования первого стеблевого узла и такими показателями, как дозы азотного удобрения, величина урожая, содержание белков и их фракций в зерне, активность изоферментов амилаз, каталаз

и пероксидазы в пророщенном зерне. Данные о содержании аминокислот в листьях на указанной стадии развития растений могут быть использованы для прогнозирования урожайности ячменя, а также оценки его кормовых и посевных качеств. Установлено, что активность изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в проросших зерновках тесно коррелировала с их активностью в зрелом зерне. Данный факт обосновывает возможность использования активности указанных ферментов в зрелых зернах для прогнозирования их активности в прорастающем зерне.

Ключевые слова: кормовой ячмень, азотное питание, белки зерна, активность амилаз, пероксидаз, каталаз в зрелом и прорастающем зерне.

Для цитирования: Новиков Н.Н., Налиухин А.Н., Филатов Е.А. Влияние режима азотного питания на урожайность и качество зерна кормового ячменя при выращивании в Центральном районе Нечерноземной зоны// Плодородие. – 2024. – №6. – С. 29-34. DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.06.

Исследования показали, что для получения высоких урожаев зерна кормового ячменя, отвечающего по качеству нормативным требованиям, крайне важно обеспечить растениям необходимый режим питания. Оптимизация питания способствует увеличению урожайности ячменя, повышению его устойчивости к заболеваниям и воздействию неблагоприятных факторов, а также улучшает качественные характеристики зерна [1, 2, 4, 6, 15].

На дерново-подзолистых почвах оптимизация азотного питания играет ключевую роль как в увеличении урожая ячменя, так и в улучшении качества его зерна. В условиях достаточного обеспечения растений ячменя влагой и благоприятных температурных режимов внесение 60 кг/га азота способствовало формированию урожая зерна до 5 т/га. Однако для получения высококачественного зерна кормового ячменя требовалось внесение более высоких доз азота – 90–120 кг/га. При дефиците влаги влияние азотных удобрений на величину урожая ячменя было менее значительным, но их применение существенно повышало накопление белков в зерне и одновременно снижало содержание крахмала [3, 5, 11, 14].

Увеличение доз азотного питания ячменя приводит к усиленному синтезу запасных белков – гордеинов и глютелинов. Однако эти белки характеризуются пониженной биологической ценностью из-за низкого содержания в них лизина, триптофана и ряда других незаменимых аминокислот. В то же время наблюдается снижение содержания водорастворимых белков и глобулинов, которые обладают более сбалансированным составом аминокислот. Важно отметить, что такие изменения в составе белков характерны преимущественно при применении высоких доз азотных удобрений. При внесении умеренных доз азота (до 60 кг/га) эти изменения незначительны [9, 11].

Исследования влияния режимов азотного питания на прорастание семян ячменя выявили связь между уровнем азотного питания и активностью гидролитических и антиоксидантных ферментов. Установлено, что применение азотных удобрений приводит к повышению активности α -амилазы, протеаз, каталазы и пероксидаз в зерне проростков ячменя. При внесении фосфорных и калийных удобрений наблюдается активизация пероксидаз и α -амилазы [11, 13].

В связи с существенным воздействием режима питания растений азотом на урожайность и химический состав зерна ячменя ведется разработка методов оценки обеспеченности растений азотом на ранних этапах развития. В одном из таких диагностических методов измеряют количество свободных аминокислот в выжимке сока из листьев на стадиях формирования первого и второго стеблевых узлов. При повышении уровня азотного питания растений наблюдается снижение, а при дефиците азота – повышение концентрации аминокислот в выделенном из листьев соке [8, 10].

Вместе с тем, имеется мало сведений о влиянии азотных удобрений на урожайность новых сортов ячменя и биохимические показатели качества зерна в гидротермических условиях конкретных регионов, возможности оценивать обеспеченность растений ячменя азотом и прогнозировать кормовые и семенные свойства зерна по биохимическим показателям.

В то же время недостаточно информации о воздействии азотных удобрений на урожай новых генотипов ячменя и о биохимических характеристиках зерна в условиях гидротермального стресса, свойственных определенным регионам. Важное значение также имеют разработка быстрых методов оценки обеспечения растений ячменя азотом и прогнозирование кормовых и посевных качеств зерна на основе биохимических показателей.

Цель исследований – установить связи между режимом азотного питания растений и показателями их продуктивности, содержанием в зерне белков, концентрацией в соке листьев аминокислот, а также активностью амилаз, каталаз, пероксидаз в созревших и прорастающих зерновках кормового ячменя в условиях Центрального района Нечерноземной зоны.

В ходе таких исследований определяют возможность оптимизации азотного питания растений для достижения высоких урожаев зерна ячменя с улучшенными кормовыми и семенными показателями.

Методика. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (Полевая опытная станция РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева) были проведены полевые опыты с сортом ячменя ярового Златояр, выведенным в Федеральном исследовательском центре «Немчиновка». В 2021 г. почва имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,2 %, $\text{pH}_{\text{сол.}}$ 5,2; гидролитическая кислотность – 3,8, сумма поглощенных оснований – 7,5 мг-экв/100 г почвы; содержание P_2O_5 – 275, K_2O – 115 мг/кг почвы (по Кирсанову). В 2022 г.: содержание гумуса – 2,3 %, $\text{pH}_{\text{сол.}}$ 5,7; гидролитическая кислотность – 2,1, сумма поглощенных оснований – 7,8 мг-экв/100 г почвы; содержание P_2O_5 – 270, K_2O – 125 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Опыты были заложены в 5-кратной повторности и включали следующие варианты: 1 – без внесения удобрений (контроль); 2 – $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$; 3 – $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$; 4 – $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$; 5 – $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$; 6 – $\text{N}_{150}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. На делянках площадью 1 м² до посева ячменя вносили удобрения: нитрат аммония, гранулированный суперфосфат, хлорид калия. На каждую делянку высевали 600 всхожих семян.

Анализ показателей качества проводили в зерне ячменя, прошедшем послеуборочное дозревание. Для определения общего содержания белкового азота и азота отдельных фракций белков использовали метод Кьельдаля. Фракции белков последовательно извлекали с

помощью деионизированной воды, растворов хлорида калия (10%), этанола (70%) и гидроксида натрия (0,2%). В зрелых и пророщенных зерновках ячменя определяли активность кислых (рН 5,5), нейтральных (рН 7) и щелочных (рН 8) изоферментов α - и β -амилазы, каталазы [12] и пероксидазы [7]. Для поддержания необходимого уровня рН в ходе ферментативных реакций использовали фосфатный буферный раствор (1/15 М). Для выяснения последствий доз азота и фиторегуляторов на активность изученных ферментов зерна ячменя проращивали 7 сут при температуре 20°C.

Концентрация аминокислот в соке листьев была определена спектрофотометрическим методом при длине волны 280 нм на стадии формирования первого стеблевого узла. Для анализа с каждой экспериментальной площадки отбирались образцы листьев у 20 растений (второй лист от колоса на главном побеге), из которых с помощью соковыжималки К.П. Магницкого был получен сок. Полученные пробы сока объемом 0,1 мл (в трехкратной повторности) смешивали с 5 мл 3%-ного раствора трихлоруксусной кислоты для осаждения белков. Нейтрализацию раствора осуществляли добавлением 2 мл 6%-ного раствора гидроксида натрия. По оптической плотности полученного раствора оценивали концентрацию аминокислот в листовом соке в пересчете на тирозин, выраженную в мг/мл [8].

Для статистического анализа экспериментальных данных и вычисления коэффициентов корреляции была использована компьютерная программа Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Гидротермические условия в годы проведения полевых опытов существенно варьировали, особенно режим выпадения осадков. В 2021 г. наблюдался значительный дефицит влаги на этапах прорастания семян и формирования зерна, в то время как в конце мая и июне количество осадков было избыточным, что привело к увеличению потерь азота. В таких условиях вегетации отмечалось существенное снижение урожайности ячменя и содержания в зерне белков (табл. 1).

2022 г. характеризовался более равномерным выпадением осадков в период вегетации растений, поэтому по сравнению с предшествующим годом повысились урожайность ячменя и накопление белков в зерне.

1. Урожай зерна и содержание в нем белков в зависимости от уровня азотного питания растений ячменя

Вариант опыта	2021 г.		2022 г.	
	Сбор зерна, г/м ²	Белки, % сух. массы	Сбор зерна, г/м ²	Белки, % сух. массы
Контроль (б/у)	102	8,8	277	9,8
P ₆₀ K ₆₀	123	8,9	362	9,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	177	10,6	450	10,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	216	10,8	479	11,3
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	216	11,4	490	12,6
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	212	12,6	493	13,6
HCP ₀₅	24	0,2	11	0,2

В ходе исследований показано, что в контрольном варианте и при усилении фосфорно-калийного питания (вариант P₆₀K₆₀) отмечались пониженные урожайность и содержание белков в зерне ячменя. Добавление азота к фосфорно-калийным удобрениям (вариант N₆₀P₆₀K₆₀) привело к значительному увеличению урожая зерна ячменя на 24–44% и повышению содержания белков в зерне на 1,6–1,7%. Внесение повышенной дозы азота 90

кг/га способствовало дальнейшему росту как урожайности, так и белковистости зерна. Увеличение дозы азота до 120 кг/га заметно повысило урожай зерна ячменя и количество в нем белков только в условиях вегетации 2022 г. Внесение дозы азота 150 кг/га не оказало существенного влияния на величину урожая зерна, однако приводило к повышению концентрации белков в зерне на 1–1,2 %.

С учетом того, что эффективность применения удобрений оценивается по приросту урожайности, оптимальным уровнем внесения азота в наших экспериментах при выращивании кормового ячменя был диапазон от 90 до 120 кг/га на фоне фонового внесения фосфора и калия (P₆₀K₆₀). Применение указанных доз азота способствовало увеличению урожайности ячменя по сравнению с контролем на 77–112 % и повышению содержания белков в зерне на 2–2,8 %.

Важнейший критерий оценки качества зерна – биологическая ценность его белков, которая определяется содержанием незаменимых аминокислот. Белки, растворимые в воде, и глобулины, имеют более высокую биологическую ценность по сравнению с гордеинами и глютелинами [9]. В наших опытах показано, что при внесении высоких доз азотного удобрения (120–150 кг/га азота) наблюдалось существенное снижение концентрации водорастворимых белков, глобулинов и неэкстрагируемых белков, в то же время происходило увеличение доли гордеинов и глютелинов (табл. 2). В результате такого изменения состава белков отмечалось некоторое понижение общей биологической ценности белков зерна.

2. Содержание белковых фракций в зерне ячменя под воздействием возрастающих доз вносимого азота (азот фракций в % от общего белкового азота)

Вариант опыта	Разновидность белков				
	водорастворимые	глобулины	гордеины	глютелины	неэкстрагируемые
<i>В условиях вегетации 2021 г.</i>					
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	10,5	12,1	34,6	30,1	12,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	10,0	11,5	35,3	31,4	11,8
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	9,2	10,9	36,4	32,5	11,0
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	8,7	10,3	37,2	32,8	11,0
HCP ₀₅	1,4	1,9	3,9	3,4	1,4
<i>В условиях вегетации 2022 г.</i>					
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	10,4	12,0	34,2	29,9	13,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	10,0	11,3	36,4	30,5	11,4
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	9,5	10,8	37,1	31,9	10,7
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	8,9	10,1	37,8	32,4	10,8
HCP ₀₅	1,1	1,3	3,9	3,4	1,4

Увеличение обеспеченности растений фосфором и калием (P₆₀K₆₀), по сравнению с контролем, привело к активизации всех изоформ β -амилазы и каталазы в зрелом зерне ячменя, а также нейтральных и щелочных изоферментов α -амилазы в зерне проростков. Кроме того, наблюдалось снижение активности щелочных β -амилаз в проросшем зерне (табл. 3, 4).

Под воздействием азотного удобрения в зрелых зерновках ячменя повышалась активность всех α - и β -амилаз, пероксидаз, а также кислых каталаз. В проросшем зерне (7-суточные проростки) возрастала активность кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы, а также

всех изоферментов пероксидазы и каталазы, тогда как активность β -амилаз зависела от доз азота: наблюдалось увеличение активности этих ферментов при внесении дозы азота 60 кг/га и снижение их активности при более высоких дозах (90–150 кг/га).

3. Активность изоферментов α - и β -амилазы в зерне ячменя под воздействием возрастающих доз вносимого азота (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухого вещества)

Вариант опыта	Изоферменты зрелых зерновок			Изоферменты зерна 7-суточных проростков		
	Кислые, pH 5,5	Нейтральные, pH 7	Щелочные, pH 8	Кислые, pH 5,5	Нейтральные, pH 7	Щелочные, pH 8
<i>α-амилаза</i>						
<i>В условиях вегетации 2021 г.</i>						
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	9,6	8,4	5,3	631	526	464
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	10,7	8,7	5,9	677	605	419
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	14,1	11,1	7,0	828	652	436
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	16,8	13,2	8,3	969	757	579
HCP ₀₅	0,9	0,7	0,4	53	42	27
<i>В условиях вегетации 2022 г.</i>						
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	11,5	9,8	4,9	827	707	451
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	13,4	10,8	5,7	936	755	538
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	17,7	13,5	6,3	1042	795	601
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	19,2	15,6	9,8	1108	900	563
HCP ₀₅	1,1	0,8	0,5	67	50	31
<i>β-амилаза</i>						
<i>В условиях вегетации 2021 г.</i>						
Контроль	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 K ₆₀	60,5	48,7	23,7	248	169	113
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	63,7	58,0	25,8	223	149	106
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	70,8	66,0	28,3	206	136	91
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	72,4	66,9	29,7	193	129	79
HCP ₀₅	3,3	2,5	1,3	15	12	8
<i>В условиях вегетации 2022 г.</i>						
Контроль	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 K ₆₀	62,8	51,0	26,0	412	343	161
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	73,3	60,3	28,1	365	279	143
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	74,7	65,6	30,6	318	208	119
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	77,3	67,1	32,0	286	167	86
HCP ₀₅	3,1	2,5	1,2	14	13	8

Увеличение в опытах активности амилаз, каталаз, пероксидаз в зрелом зерне обусловлено уменьшением в нем концентрации белковых ингибиторов этих ферментов под воздействием возросших доз азота. В прорастающем зерне активность ферментов возрастала в результате активации их синтеза в клетках щитка зародыша и алейронового слоя. Уменьшение активности изоферментов β -амилазы в проросших зерновках в вариантах с высокими дозами азота было следствием усиления синтеза гордеинов, которые понижали растворимость эндосперма и находящихся в нем β -амилаз, связанных в комплексы с глютелинами [9, 11].

На стадии формирования первого стеблевого узла на главном побеге растений ячменя проводили отбор проб сока листьев из второго яруса от колоса. В полученных пробах определяли оптическую плотность раствора на спектрофотометре при длине волны 280 нм, по которой оценивали содержание в соке листьев аминокислот в пересчете на тирозин (табл. 5).

Как видно из данных таблицы 5, повышение доз азота приводило к снижению содержания свободных аминокислот в соке листьев ячменя. Это связано с усилением синтеза белков и других азотсодержащих соединений,

вызванного активизацией процессов роста под влиянием азота.

4. Активность изоферментов каталазы и пероксидазы в зерне ячменя под воздействием возрастающих доз вносимого азота (мккат в расчете на 1 г сухого вещества)

Вариант опыта	Изоферменты зрелых зерновок			Изоферменты зерна 7-суточных проростков		
	Кислые, pH 5,5	Нейтральные, pH 7	Щелочные, pH 8	Кислые, pH 5,5	Нейтральные, pH 7	Щелочные, pH 8
<i>Каталаза</i>						
<i>В условиях вегетации 2021 г.</i>						
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	0,5	0,7	0,7	0,5	1,4	1,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	0,7	0,7	0,6	1,6	1,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	0,8	0,8	0,7	1,7	1,8
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,6	0,7	0,8	0,8	1,7	1,8
HCP ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3
<i>В условиях вегетации 2022 г.</i>						
Контроль (б/у)	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 K ₆₀	0,4	0,8	0,8	0,5	1,4	1,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,6	0,8	0,8	0,6	1,6	1,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,6	0,9	0,9	0,7	1,8	1,9
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,6	0,9	0,9	0,9	2,0	2,0
HCP ₀₅	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,6
<i>Пероксидаза</i>						
<i>В условиях вегетации 2021 г.</i>						
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 K ₆₀	0,5	3,3	5,0	2,1	4,8	6,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,5	3,8	5,2	2,8	5,6	7,3
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,7	3,9	5,5	2,8	6,0	8,1
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,8	4,5	6,9	2,9	6,3	8,5
HCP ₀₅	0,2	0,1	2,1	1,1	1,4	2,7
<i>В условиях вегетации 2022 г.</i>						
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 K ₆₀	0,5	4,2	5,5	2,4	5,1	7,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,6	4,5	5,7	2,7	5,9	8,1
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,9	4,8	6,0	2,9	6,3	8,5
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,9	5,1	6,2	3,1	6,5	8,7
HCP ₀₅	0,2	0,5	1,3	0,4	0,7	1,5

5. Изменение концентрации аминокислот в соке листьев ячменя в зависимости от обеспеченности растений азотом

Показатель	P ₆₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	HCP ₀₅
<i>Опыт 2021 г.</i>						
Оптическая плотность раствора сока при длине волны 280 нм	0,74	0,65	0,49	0,47	0,43	-
Содержание в соке листьев аминокислот в пересчете на тирозин, мг/мл	37,0	32,1	24,5	23,5	21,5	0,2
<i>Опыт 2022 г.</i>						
Оптическая плотность раствора сока при длине волны 280 нм	0,71	0,58	0,47	0,43	0,42	-
Содержание в соке листьев аминокислот в пересчете на тирозин, мг/мл	35,5	29,0	23,5	21,5	21,0	0,2

В таблице 6 показана тесная отрицательная корреляция содержания аминокислот в соке листьев с дозами внесенного азота, что свидетельствует о возможности

использования концентрации аминокислот в соке листьев для оценки уровня обеспеченности растений ячменя азотным питанием на ранней стадии развития (фаза образования первого стеблевого узла) [10].

6. Корреляция количества аминокислот в соке индикаторных листьев с дозами азотного питания растений, уровнем урожайности и содержания белков в зерне ячменя

Коррелирующий показатель	Коэффициенты корреляции	
	2021 г.	2022 г.
Дозы внесенного азота	-0,97	-0,97
Величина урожая	-0,95	-0,97
Общее содержание в зерне белков	-0,91	-0,93
Водорастворимые белки	0,72	0,92
Глобулины	0,94	0,93
Гордеины	-0,95	-0,97
Глутелины	-0,71	-0,79
Неэкстрагируемые белки	0,96	0,90
Корреляция достоверна с вероятностью 95 % при $r \geq 0,88 $		

Проведенные исследования выявили тесную отрицательную корреляцию между содержанием в соке листьев ячменя аминокислот и такими показателями, как величина урожая, общее содержание белков в зерне и концентрация в нем гордеинов. В то же время наблюдалась тесная положительная корреляция концентрации аминокислот с содержанием глобулинов и неэкстрагируемых белков в зерне. Полученные результаты исследований показывают возможность прогнозирования с достаточно высокой точностью уровня урожайности ячменя, содержания белков и белковых фракций в зерне по уровню аминокислот в соке индикаторных листьев на ранней стадии роста и развития растений.

При оценке обеспеченности растений ячменя азотом по оптической плотности раствора сока листьев (согласно указанной методике), высокие показатели урожайности и содержания белков в зерне наблюдались, как правило, при значениях $E_{280} \leq 0,45$ (см. табл. 1, 5).

В ходе исследований установлена также достоверная отрицательная корреляция между количеством аминокислот в соке индикаторных листьев ячменя и активностью ряда ферментов в зрелом зерне и зерне 7-суточных проростков. К таким ферментам относятся: кислые, нейтральные и щелочные пероксидазы, нейтральные α -амилазы как в зрелом, так и в проросшем зерне; кислые α -амилазы, а также кислые, нейтральные и щелочные β -амилазы в зрелом зерне; кислые и нейтральные каталазы, щелочные α -амилазы и каталазы в проросшем зерне (табл. 7). Анализ полученных данных свидетельствует о возможности прогнозирования активности изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в зрелом и прорастающем зерне ячменя на основании содержания аминокислот в соке индикаторных листьев. Данный подход позволяет оценить прорастающую способность семян ячменя, что служит важным индикатором их посевных качеств.

По результатам оценки активности амилаз, каталаз, пероксидаз в зрелом зерне ячменя и зерне 7-суточных проростков были рассчитаны коэффициенты корреляции между этими показателями (табл. 8). Высокая степень корреляции выявлена для всех изоферментов α -амилазы, нейтральных изоформ β -амилазы, пероксидазы и каталазы. Аналогичная тенденция наблюдалась и для

щелочных изоферментов пероксидазы. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что активность указанных ферментов в проросших зерновках можно прогнозировать на основе анализа их активности в зрелом зерне, что позволяет оценивать его способность к прорастанию.

7. Коэффициенты корреляции между количеством аминокислот в соке индикаторных листьев и активностью ферментов в зерне ячменя (амилаз, каталаз, пероксидаз)

Коррелирующий показатель	Созревшее зерно		Зерно 7-суточных проростков	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Кислые α -амилазы (pH 5,5)	-0,93	-0,96	-0,87	-0,98
Кислые β -амилазы (pH 5,5)	-0,95	-0,99	0,69	0,80
Кислые каталазы (pH 5,5)	-0,86	-0,98	-0,97	-0,93
Кислые пероксидазы (pH 5,5)	-0,91	-0,96	-0,99	-0,99
Нейтральные α -амилазы (pH 7)	-0,92	-0,94	-0,96	-0,95
Нейтральные β -амилазы (pH 7)	-0,97	-0,98	0,71	0,82
Нейтральные каталазы (pH 7)	-0,73	-0,72	-0,98	-0,94
Нейтральные пероксидазы (pH 7)	-0,96	-0,97	-0,97	-0,99
Щелочные α -амилазы (pH 8)	-0,93	-0,83	-0,91	-0,97
Щелочные β -амилазы (pH 8)	-0,97	-0,98	0,08	0,59
Щелочные каталазы (pH 8)	-0,90	-0,02	-0,92	-0,97
Щелочные пероксидазы (pH 8)	-0,89	-0,97	-0,97	-0,97
Корреляция достоверна с вероятностью 95 % при $r \geq 0,88 $				

8. Корреляция между показателями активности амилаз, каталаз и пероксидаз в зрелом и прорастающем зерне ячменя

Коррелирующий показатель	Коэффициент корреляции	
	2021 г.	2022 г.
Кислые α -амилазы (pH 5,5)	0,97	0,99
Кислые β -амилазы (pH 5,5)	-0,67	-0,83
Кислые каталазы (pH 5,5)	0,95	0,87
Кислые пероксидазы (pH 5,5)	0,94	0,98
Нейтральные α -амилазы (pH 7)	0,99	0,98
Нейтральные β -амилазы (pH 7)	-0,76	-0,89
Нейтральные каталазы (pH 7)	0,90	0,83
Нейтральные пероксидазы (pH 7)	0,99	0,99
Щелочные α -амилазы (pH 8)	0,93	0,73
Щелочные β -амилазы (pH 8)	0,04	-0,77
Щелочные каталазы (pH 8)	0,93	0,64
Щелочные пероксидазы (pH 8)	0,95	0,99
Корреляция достоверна с вероятностью 95 % при $r \geq 0,48 $		

Заключение. При выращивании ячменя на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве установлено, что в этих условиях наиболее эффективны дозы азота 90–120 кг/га на фоне $P_{60}K_{60}$, под действием которых, в сравнении с контролем, возрастали сбор зерна на 77–112 % и количество в зерне белков на 2–2,8 %. Однако в зерновках уменьшалась концентрация водорастворимых белков и глобулинов, которые характеризуются более высоким содержанием незаменимых аминокислот, что в определенной степени снижало общую биологическую ценность белков в зерне.

Под воздействием возрастающих доз азотного удобрения в зрелых зерновках ячменя происходила активизация кислых, нейтральных, щелочных α - и β -амилаз,

пероксидаз, а также кислых изоферментов каталазы. Вследствие последствия азотного удобрения в проросшем зерне ячменя (7-суточные проростки) повышалась активность кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы, каталазы и пероксидазы, а также щелочных каталаз и пероксидаз.

На стадии формирования первого стеблевого узла растений ячменя установлена достоверная отрицательная корреляция между уровнем аминокислот в клеточном соке индикаторных листьев и дозой внесенного азота. Результаты этих исследований показывают, что концентрацию аминокислот в клеточном соке листьев можно использовать как показатель обеспеченности растений ячменя азотом.

Содержание аминокислот в клеточном соке листьев в указанной фазе роста и развития растений ячменя также тесно коррелировало с величиной урожая зерна, количеством в зерне белков, активностью амилаз, каталаз и пероксидаз как в зрелом, так и в проросшем зерне. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности прогнозирования на ранней стадии развития растений ячменя (фаза образования первого стеблевого узла) величины урожая зерна, его белкового состава и активности изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в созревшем и прорастающем зерне.

В ходе исследования выявлено, что активность многих изоформ α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в зерне проростков ячменя тесно коррелировала с их активностью в зрелых зерновках. Данные результаты позволяют предположить возможность прогнозирования активности этих изоферментов в прорастающем зерне на основании полученных сведений об их активности в зрелом зерне, что может быть использовано при оценке способности к прорастанию зрелых зерновок.

Литература

1. Голова Т. Г., Ершова Л.А., Чевердина Г.В. Влияние минерального питания на продуктивность сортов ячменя // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2023. – № 1 (45). – С. 109–120.

2. Евдокимова М.А. Оптимизация питательного режима дерново-подзолистей почвы под посевами ярового ячменя // *Вестник Марийского гос.универ.* – 2016. – №1(5). – С. 10–18.
3. Завалин А.А., Потапов В.И. Формирование урожая и качество зерна ярового ячменя и овса в зависимости от доз и сроков внесения азота // *Агрохимия*. – 1996. – №11. – С. 20–26.
4. Иванова О.М. Применение различных видов минеральных удобрений на ячмене в условиях Тамбовской области // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2019. – №4. – С. 132–136.
5. Кашуков М.В., Кошуков Х.М., Хамжуева З.Х. Азотные удобрения как фактор регулирования пивоваренных качеств зерна ячменя // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 6(176). – С. 30–36.
6. Конова А.М. Комплексное применение минеральных удобрений и пестицидов при возделывании ячменя на дерново-подзолистой почве // *Плодородие*. – 2010. – №2. – С.13–14.
7. Новиков Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // *Известия ТСХА*. – 2016. – № 3. – С. 36–46.
8. Новиков Н.Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы // *Известия ТСХА*. – 2017. – Вып. 5. – С. 29–40.
9. Новиков Н.Н. Биохимия растений. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 680 с.
10. Новиков Н.Н., Жарихина А.А., Соловьева Н.Е. Диагностика азотного питания и прогнозирование качества зерна злаковых культур по концентрации аминокислот в соке листьев // *Известия ТСХА*. – 2021. – Вып. 1. – С. 29–41.
11. 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 // *Агрохимия*. – 2019. – № 2. – С. 43–51.
12. Плещиков Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985. – 255 с.
13. Соловьева Н.Е., Новиков Н.Н. Влияние режима питания и фиторегуляторов на формирование пивоваренных свойств зерна ячменя при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // *Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по материалам XXII междунар. Науч.-практ. Конф.* – № 4(22). М.: Изд. «МЦНО», 2019. – С. 40–45.
14. Braziene Z. Spring barley yield and productivity components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions // *Zemdirbyste. Akademijs*. – 2007. – №1. – P.89–99.
15. Karamanos R.E., Harapiak J.T., Flore N.A. Revisiting seedrow nitrogen placement with barley and wheat // *Canad. J.Plant Sc.* – 2008. – №6. – P.1073–1086.

EFFECT OF THE NITROGEN FEEDING REGIME ON THE YIELD AND QUALITY OF FODDER BARLEY GRAIN DURING CULTIVATION IN THE CENTRAL REGION OF THE NON-CHERNOZEM ZONE

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

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550, Russia, E-mail: tshanovikov@gmail.com

When growing barley on medium-clay sod-podzolic soil, it was shown that against the background of P60K60, nitrogen doses of 90–120 kg/ha are most effective, under the influence of which, in comparison with the control, grain harvest increased by 77–112% and the amount of proteins in the grain by 2–2.8%. At the same time, the proportion of water-soluble proteins and globulins well balanced in terms of the content of essential amino acids in the protein complex of grain decreased. With an increase in the level of nitrogen nutrition in ripened barley grains the activity of all isoenzymes of α - and β -amylase, peroxidase and acidic catalases increased, while as a result of the effect of applied nitrogen in germinated grains the activity of acidic and neutral α -amylases and all isoenzymes of catalase and peroxidase increased. This increased the germination capacity of the grains and improved the seed quality of the grains. In the course of research, a close correlation of the amino acid content in the juice of barley leaves in the phase of formation of the first stem node with nitrogen doses, yield, protein and protein fractions content in the grain, activity of amylases, catalases, peroxidases in the germinated grain was revealed, which makes it possible to use these data to predict the yield, feed and seed qualities of barley grain. The activity of the isoenzymes α - and β -amylase, catalase and peroxidase in the germinated grain is also closely correlated with their activity in ripened grains, which makes it possible to assess their ability to germinate by enzyme activity in ripened grains.

Keywords. Feed barley, nitrogen nutrition, grain proteins, activity of amylases, peroxidases, catalases in mature and germinating grain.