

ФОРМИРОВАНИЕ ПИВОВАРЕННЫХ СВОЙСТВ ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ПИТАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОРЕГУЛЯТОРОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Н.Н. НОВИКОВ, Н.Е. СОЛОВЬЕВА

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В опытах с пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, выяснено, что под влиянием возрастающих доз азота повышались зерновая продуктивность растений ячменя (на 18–33%), содержание в зерне белков, активность α - и β -амилаз, каталаз и пероксидаз, но понижалась натура зерна. При относительно сухой погоде (ГТК = 1–1,3) увеличение доз фосфора и калия (P_{120} , K_{120}) повышало зерновую продуктивность растений ячменя (на 10–28%), способность прорастания зерна, массу 1000 зерен, активность в зерновках α - и β -амилаз, однако, при этом в них снижалась пероксидазная и каталазная активность, а также снижалось содержание белков до оптимального уровня. При повышении уровня азотного питания растений ячменя сформировалось зерно, в котором при солодоращении возрастала α -амилазная, протеазная, каталазная и пероксидазная активность, но была заметно ниже активность β -амилаз. В результате последействия повышенных доз фосфора и калия в прорастающих зерновках ячменя отмечалась более высокая α -амилазная и пероксидазная, но пониженная β -амилазная активность. Под влиянием фиторегулятора новосил существенно возрастали зерновая продуктивность растений ячменя (на 6–9%), способность прорастания зерна, активность в нем α - и β -амилаз, но снижалась натура зерна. При умеренном дефиците влаги (ГТК = 1,3) фиторегулятор новосил уменьшал накопление белков в зерновках ячменя, а в прорастающем зерне повышал активность протеаз и пероксидаз, ускоряющих растворение эндосперма. Под влиянием фиторегулятора эпин повышалась зерновая продуктивность ячменя (на 9–14%) и в зерновках возрастала активность α -амилаз и каталаз, а в зерне проростков увеличивалась общая активность амилаз и пероксидаз, что ускоряло процесс солодоращения. Выявлена тесная корреляция между показателями амилазной и каталазной активности в покоящемся зерне и зерне проростков.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, питание растений, фиторегуляторы, качество зерна, активность амилаз, протеаз, каталаз, пероксидаз.

Введение

В технологиях выращивания пивоваренного ячменя важными факторами являются создание оптимального режима питания растений и применение экологически безопасных фиторегуляторов, которые способны оптимизировать биохимические процессы в созревающем зерне и улучшить его технологические свойства. Для оценки этих свойств разработаны стандартные показатели и установлены их нормативные значения, определяющие высокое качество пивоваренного сырья [2, 5, 7, 9, 17].

Для использования в пивоваренном производстве из пророщенного зерна ячменя получают солод. В процессе солодоращения в зерновках происходит образование активных форм протеолитических, амилалитических, цитолилитических и других ферментов, под действием которых инициируются процессы растворения клеток эндосперма, расщепления молекул белков до аминокислот, полисахаридов, до моносахаридов и мальтозы, служащих активными субстратами брожения [4, 9]. Ферменты антиоксидантного действия – каталазы и пероксидазы – осуществляют защитные реакции в процессе солодоращения, они предотвращают окисление пероксидом водорода компонентов физиологической среды и внутриклеточных мембран, создавая оптимальные условия для формирования активного ферментного комплекса в процессе образования солода [7, 20, 21].

Зерновая продуктивность растений и качество зерна ячменя зависят от особенностей генотипа, природно-климатических условий, а также обеспеченности растений элементами питания. Во многих опытах было показано, что при дефиците влаги снижается урожайность ячменя, а в зерновках усиливается накопление белков, содержание которых может превысить нормативное ограничение (12%). Вместе с тем в ряде других опытов установлено, что превышение нормативных требований по белковистости зерна пивоваренного ячменя может происходить и в благоприятных условиях его вегетации при внесении повышенных доз азота или недостаточной обеспеченности растений фосфором и калием, когда создается усиленный режим азотного питания вследствие дефицита указанных элементов [6, 8, 11, 16, 19].

В технологиях выращивания пивоваренного ячменя эффективное применение находят фиторегуляторы, обладающие способностью стабилизировать физиолого-биохимические процессы в растениях при воздействии стрессовых факторов и обеспечивать в таких условиях формирование высоких урожаев зерна с улучшенными технологическими свойствами. Опыты показывают, что при опрыскивании растений ячменя растворами фиторегуляторов в фазы колошения-начала созревания зерновок оказывается возможным направленно влиять на формирование пивоваренных показателей зерна [3, 12–15].

Вместе с тем не имеется достаточно сведений об оптимизации режимов питания растений в современных технологиях выращивания пивоваренного ячменя, адаптированных к природно-климатическим условиям региона. Очень мало еще проведено исследований по выяснению влияния фиторегуляторов на биохимические процессы в созревающих зерновках ячменя, а также последствий удобрений и регуляторных препаратов на способность зерна к солодоращению.

В задачи наших исследований входило изучение влияния режимов питания и фиторегуляторов новосил и эпин-экстра на зерновую продуктивность растений и формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в условиях Центрального района Нечерноземной зоны.

Методика исследований

Исследования проводились на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2016–2018 гг. с пивоваренным ячменём сорта Владимир селекции Московского НИИСХ. Растения ячменя выращивали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с содержанием гумуса 2,5%, которая характеризовалась следующими показателями: в 2016 г. pH_{KCl} – 5,8, P_2O_5 –190 мг/кг, K_2O – 213 мг/кг (в вытяжке по Кирсанову); в 2017 г. pH_{KCl} – 6,2, P_2O_5 –162 мг/кг, K_2O – 202 мг/кг; в 2018 г. pH_{KCl} – 6,2, P_2O_5 –155 мг/кг, K_2O – 182 мг/кг. Повторность опытов 4-кратная, площадь опытной делянки – 1 м².

Опыты включали следующие варианты: 2016 г.: 1 – $P_{30}K_{30}$, 2 – $N_{60}P_{30}K_{30}$, 3 – $N_{90}P_{30}K_{30}$, 4 – $N_{120}P_{30}K_{30}$, 5 – $N_{60}P_{120}K_{30}$, 6 – $N_{60}P_{30}K_{120}$, 7 – $N_{60}P_{30}K_{30}$ + новосил, 8 – $N_{60}P_{30}K_{30}$ + эпин; 2017 г.: 1 – $P_{60}K_{60}$, 2 – $N_{60}P_{60}K_{60}$, 3 – $N_{90}P_{60}K_{60}$, 4 – $N_{120}P_{60}K_{60}$, 5 – $N_{60}P_{120}K_{60}$, 6 – $N_{60}P_{60}K_{120}$, 7 – $N_{60}P_{60}K_{60}$ + новосил, 8 – $N_{60}P_{60}K_{60}$ + эпин; 2018 г.: 1 – $P_{60}K_{60}$, 2 – $N_{60}P_{60}K_{60}$, 3 – $N_{60}P_{120}K_{60}$, 4 – $N_{60}P_{60}K_{120}$, 5 – $N_{60}P_{120}K_{120}$, 6 – $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Удобрения (нитрат аммония, суперфосфат, хлорид калия) равномерно вносили на делянки, которые затем перекапывали. На каждую делянку опыта высевали по 600 всхожих семян (из расчета 6 млн/га).

Растения ячменя в фазе колошения опрыскивали растворами фиторегуляторов: новосил (производства ООО «Эколенд-Сибирь»), эпин-экстра (производства ННПП «НЭСТ М»). Дозы действующих веществ составляли: фиторегулятора новосил – 40 мг/л, эпин-экстра – 0.005 мг/л; общий расход раствора на каждую обрабатываемую делянку – 50 мл.

Массу 1000 зёрен, натуру, показатели пленчатости, экстрактивности, крупности, способности прорастания зерна, содержания в зерне белков определяли общепринятыми методами [1, 18], активность амилаз – методом иод-крахмальной пробы, протеаз – по Ансону, каталаз – по Баху и Опарину [18], пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина [10]. Для оценки влияния режима питания растений и фиторегуляторов на активность ферментов в зерне проростков проводили 7-суточное проращивание зерновок ячменя по технологии солодоращения при температуре 12–14°C. Все исследования выполнялись с зерном, прошедшем послеуборочное дозревание.

Экспериментальный материал полевых и лабораторных исследований статистически оценивали дисперсионным методом с помощью компьютерной программы «Straz», модифицированной информационно-вычислительным центром РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Версия 2.1, 1989–1991). Для расчета коэффициентов корреляции использовали компьютерную программу Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

В годы проведения полевых опытов заметно различались погодные условия во время вегетации растений (ГТК в 2016 г. – 1,3, 2017 г. – 2,3, 2018 г. – 1,0), что позволило оценить влияние гидротермического режима на формирование пивоваренных свойств зерна ячменя. Наиболее благоприятные условия отмечались в 2017 г., когда за период вегетации растений выпало больше осадков, а среднесуточные температуры были существенно ниже по сравнению с 2016 и 2018 гг.

Как видно из данных таблицы 1, зерно, полученное в опыте 2017 г., имело близкие к оптимальным натуру, крупность, пленчатость, способность прорастания, высокие показатели массы 1000 зерен и экстрактивности. Содержание в зерне белков и количество мелких зерен не превышало нормативный уровень (не более 12% белков и 5% мелких зерен).

В опытах 2016 и 2018 гг. были существенно ниже показатели натуры, крупности, экстрактивности зерна и массы 1000 зерен, а белковистость зерновок в вариантах с внесением азота превышала нормативный уровень, в результате чего ухудшались пивоваренные свойства зерна.

Во влажных условиях 2017 г. при внесении возрастающих доз азота (до 120 кг/га) на фоне $P_{60}K_{60}$ существенно возросли зерновая продуктивность растений (на 33%) и показатели массы 1000 зерен, крупности, белковистости зерновок ячменя, но несколько понизилась натура зерна. при этом содержание в зерне белков (11,7%) не превышало нормативный уровень, а натура зерна оставалась в пределах оптимальных значений.

Таблица 1

Зерновая продуктивность и показатели пивоваренных свойств зерна ячменя

Варианты	Урожай зер- на, г/м ²	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г	Содер- жание белков	Экстрак- тивность	Пденча- тость	Крупность зерна, %	Количество мелких зер- ен, %	Способность прорастания зерна, %
				% сухой массы зерна					
Опыт 2016 г.									
P ₃₀ K ₃₀	418	650	42.7	9.3	78.9	7.8	86.2	1.9	98,0
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	442	641	42.5	12.4	77.0	7.7	84.2	2.6	98,2
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	461	634	45.2	12.7	76.7	8.2	82.4	3.6	98,5
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	494	628	45.3	13.2	75.8	8.2	76.4	4.4	98,5
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₃₀	488	637	44.2	10.6	76.7	7.8	82.1	4.8	99,4
N ₆₀ P ₃₀ K ₁₂₀	516	653	48.3	10.2	76.5	8.0	85.8	2.5	99,2
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +новосил	484	634	45,3	11,0	76.8	7.6	86.3	1.9	99,3
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +эпин-экстра	504	639	45,1	12,7	76,7	8,1	83,4	3,4	99,5
НСР ₀₅	21	5	1.1	0.5	2.9	0.5	1.0	1.0	1,0
Опыт 2017 г.									
P ₆₀ K ₆₀	419	732	47.4	8.9	81.1	8.4	96.8	0.8	98.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	465	730	50.7	9.1	80.4	8.3	98.9	0.2	98.3
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	505	725	51.9	10.1	80.1	8.0	98.4	0.2	99.3
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	559	724	53.2	11.7	79.4	8.0	98.3	0.5	98.1
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	469	722	51.7	9.5	80.6	7.8	97.4	0.4	98.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	483	721	51.3	9.2	80.3	7.8	98.3	0.4	98.5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +новосил	492	711	52.1	9.4	79,9	8,8	97,7	0,5	99,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +эпин-экстра	508	712	52,2	9,6	79,7	8,7	98,0	0,3	98,0
НСР ₀₅	23	5	1.6	0.5	2,9	0,5	0,7	0,5	0,8
Опыт 2018 г.									
P ₆₀ K ₆₀	311	636	46.4	10,5	78.3	8.2	89.8	2.8	96.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	372	640	46.7	12,9	77.1	8.1	92.3	1.7	96.8
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	445	652	47.6	11,8	77.4	8.2	91.2	1.8	98.5
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	452	668	47.9	12,2	77.4	8.1	88.1	2.3	99.0
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	477	648	48.8	12,1	76.8	8.2	89.5	2.6	99.0
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	502	639	46.8	14,3	76.5	8.4	89.9	1.9	99.9
НСР ₀₅	17	5	0.8	0,4	2.7	0.4	1.3	0.7	1.0

Увеличение доз фосфорного и калийного питания в вариантах $N_{60}P_{120}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{120}$ несколько снизило натуру и пленчатость зерна, но не влияло на зерновую продуктивность растений ячменя. Последнее было связано с тем, что уровень урожайности ячменя в указанных вариантах опыта ограничивался дефицитом азота, обусловленным его значительными потерями в условиях влажной погоды.

В более сухих гидротермических условиях (опыты 2016 и 2018 гг.) под влиянием вносимого азота зерновая продуктивность ячменя возрастала на 18–20%, при этом снижалась натура и повышалась белковистость зерна до уровня, превышающего нормативные требования. Усиление в этих опытах фосфорно-калийного питания (варианты $N_{60}P_{120}K_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{120}$, $N_{60}P_{120}K_{120}$) обеспечивало существенное увеличение сбора зерна (на 10–28%), массы 1000 зерен, повышение способности прорастания зерновок и снижение содержания в зерне белков до нормативного уровня. При увеличении дозы калия также возрастала натура зерна.

В опыте 2018 г. показано, что при одновременном увеличении доз фосфора и калия (вариант $N_{60}P_{120}K_{120}$) происходило повышение зерновой продуктивности растений ячменя на 28%, а также показателей натуры и способности прорастания зерна, однако уменьшалось количество крупных зерновок, но тем не менее содержание этой зерновой фракции оставалось на оптимальном уровне. Следует отметить, что в зерне данного варианта опыта заметно понижалось содержание белков (до 12,1%), которое уже существенно не превышало нормативный уровень.

В относительно засушливых гидротермических условиях 2016 г. обработка растений ячменя в фазе колошения фиторегулятором новосил увеличила сбор зерна (на 9%), массу 1000 зерен, показатели крупности, способности прорастания зерна и несколько понизила натуру зерна, а также содержание в зерне белков до оптимального уровня (11%). В аналогичных условиях под влиянием фиторегулятора эпин-экстра урожай зерна ячменя увеличился на 14%, несколько возросли также масса 1000 зерен и способность прорастания зерна.

В условиях влажной погоды (2017 г.) при обработке растений ячменя фиторегулятором новосил их продуктивность повысилась на меньшую величину (6%), при этом увеличились показатели пленчатости и способности прорастания зерна, но несколько снизились показатели натуры и крупности зерна, тогда как содержание белков не изменилось. В этих же условиях под воздействием фиторегулятора эпин-экстра зерновая продуктивность ячменя возросла на 9%, несколько повысилась белковистость зерна, но снизились показатели натуры и крупности зерновок,

Как известно, на процесс солодоращения оказывают влияние ферменты гидролитического и антиоксидантного действия. Их активность в зерне пивоваренного ячменя в значительной степени определяется погодными условиями и режимом питания растений, при которых происходит его формирование. В проведенных опытах в зерне вариантов с внесением азотного удобрения была повышена активность α -амилаз, β -амилаз, каталаз и пероксидаз (табл. 2).

При усилении фосфорного и калийного питания (варианты с P_{120} и K_{120}) в более сухих вегетационных условиях (2016 г.) формировалось зерно с повышенной α -амилазной и β -амилазной активностью, но пониженной активностью каталаз и пероксидаз, тогда как в условиях влажной и прохладной погоды (2017 г.) в зерновках ячменя повысилась активность β -амилаз и пероксидаз. Кроме того, во влажных и прохладных условиях под влиянием высокой дозы фосфора формировалось зерно с пониженной активностью α -амилаз, а при повышении дозы калия в зерновках ячменя снижалась активность каталаз. Независимо от погодных условий под влиянием повышенных доз фосфорно-калийного питания в созревших зерновках ячменя

возрастала общая активность амилаз, а активность протеаз во всех вариантах проведенных опытов была на минимальном уровне.

Таблица 2

**Активность амилаз, каталаз и пероксидаз в зерновках ячменя
(в расчете на 1 г сухой массы)**

Варианты	Активность амилаз, мг гидролизованного крахмала за 1 мин			Активность каталаз, нкат	Активность пероксидаз, нкат
	общая активность	α -амилазы	β -амилазы		
Опыт 2016 г.					
P ₃₀ K ₃₀	65,4	4.4	61.0	169	306
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	80,6	7.6	73.0	203	428
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	87,3	12.4	74.9	305	498
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	95,3	18.6	76.7	373	500
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₃₀	94,8	12.4	82.4	158	356
N ₆₀ P ₃₀ K ₁₂₀	103,3	14.4	88.9	169	372
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +новосил	98,6	18.0	80.6	124	429
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +эпин	85,2	23.2	62.0	260	442
НСР ₀₅	4,3	2.2	2.1	15	25
Опыт 2017 г.					
P ₆₀ K ₆₀	53,8	3.9	49.9	277	278
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	57,7	6.0	51.7	291	324
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	66,5	8.8	57.7	314	362
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	82,6	10.7	71.9	359	326
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	63,4	4.9	58.5	277	352
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	65,7	5.7	60.0	268	360
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +новосил	63,6	8.8	54.8	285	445
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +эпин	66,4	10.8	55.6	308	462
НСР ₀₅	1,1	0.5	0.5	16	26

При обработке растений ячменя в фазе колошения фиторегулятором новосил независимо от погодных условий формировались зерновки с повышенной α -амилазной и β -амилазной активностью, вместе с тем в зерновках, выращенных

в условиях сухой погоды, была понижена активность каталаз, а сформировавшихся в условиях влажной погоды, повышена пероксидазная активность. В результате аналогичной обработки растений ячменя фиторегулятором эпин-экстра в сформировавшемся при разных погодных условиях зерне повышалась активность α -амилазы и каталаз, а в зерне, выращенном при влажной погоде, существенно возрастала также β -амилазная и пероксидазная активность.

Таблица 3

**Активность амилаз, протеаз, каталаз и пероксидаз
в зерне 7-суточных проростков ячменя (в расчете на 1 г сухой массы)**

Варианты	Активность амилаз, мг гидролизованного крахмала за 1 мин			Активность протеаз, мкмоль тиро- зина за 1 мин.	Актив- ность каталаз, нкат	Актив- ность пе- роксидаз, нкат
	общая активность	α -амилазы	β -амилазы			
Опыт 2016 г.						
P ₃₀ K ₃₀	1538	1115	423	2,26	204	448
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	1587	1197	390	2,61	296	537
N ₉₀ P ₃₀ K ₃₀	1622	1260	362	2,64	380	659
N ₁₂₀ P ₃₀ K ₃₀	1751	1455	296	2,83	413	514
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₃₀	1683	1436	247	2,68	283	701
N ₆₀ P ₃₀ K ₁₂₀	1784	1509	275	3,06	288	581
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +новосил	1617	1208	409	3,37	303	640
N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀ +эпин	1635	1215	420	3,11	286	628
HCP ₀₅	27	29	34	0,46	9	24
Опыт 2017 г.						
P ₆₀ K ₆₀	1258	859	399	2,41	306	366
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1379	1016	363	3,02	374	463
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1418	1147	271	3,34	399	491
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	1574	1365	209	2,57	532	505
N ₆₀ P ₁₂₀ K ₆₀	1327	1166	161	3,46	368	601
N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1422	1204	218	3,64	375	587
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +новосил	1510	1176	334	3,14	296	684
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +эпин	1575	1181	394	2,93	299	656
HCP ₀₅	31	26	33	0,46	24	33

В ходе солодоращения амилазы катализируют гидролитическое превращение крахмала в мальтозу и глюкозу, а протеазы – белков в аминокислоты, поэтому повышение активности этих ферментов ускоряет растворение клеток эндосперма при образовании солода. Возрастание в солоде активности β -амилаз, продуктом действием которых является мальтоза, ускоряет процесс брожения при пивоварении, а понижение их активности замедляет реакции брожения. С участием ферментов антиоксидантной системы (каталаз и пероксидаз) в процессе солодоращения осуществляются защитные реакции от пероксидного окисления жизненно важных веществ и клеточных структур прорастающего зерна.

Под воздействием возрастающих доз азота в условиях вегетации 2016–2017 гг. формировалось зерно ячменя, в котором при прорастании была повышена активность α -амилаз, протеолитических ферментов, каталаз и пероксидаз (табл. 3), в результате чего более активно происходило солодоращение, вместе с тем в прорастающем зерне уменьшалась активность β -амилаз, что может снижать качество получаемого из такого зерна солода.

Под влиянием повышенных доз фосфорного и калийного питания сформировалось зерно, которое при 7-суточном проращивании характеризовалось более высоким уровнем α -амилазной и пероксидазной активности и пониженной активностью β -амилаз.

В проросших зерновках, сформировавшихся под влиянием фиторегуляторов новосил и эпин-экстра в более сухих гидротермических условиях (2016 г.), повышалась активность протеаз и пероксидаз, а в выращенных во влажных условиях (2017 г.), – активность α -амилаз и пероксидаз, но снижалась активность каталаз.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между активностью амилаз и каталаз в зерне 7-суточных проростков и покоящихся зерновках пивоваренного ячменя

Коррелирующие показатели	Опыт 2016 г.	Опыт 2017 г.
Общая активность амилаз в зерне	0,82	0,78
Активность α -амилаз	0,87	0,79
Активность β -амилаз	–0,88	–0,78
Активность каталаз	0,78	0,84
Коэффициенты корреляции достоверны при	$r \geq 0.71$	$r \geq 0.67$

Расчеты коэффициентов корреляции между активностью амилаз и каталаз в зерне 7-суточных проростков и покоящихся зерновках показали, что между этими показателями существует определенная связь. Между общей амилазной активностью, а также активностью α -амилаз и каталаз в проросшем и покоящемся зерне ячменя выявлена достоверная положительная корреляция (табл. 4), тогда как по активности β -амилаз – отрицательная.

Таким образом, в опытах с пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с высокой обеспеченностью элементами питания (5 класс), выяснено, что при повышении уровня азотного питания зерновая продуктивность растений ячменя возрастала на 18–33%, при этом в зерновках увеличивались содержание белков, активность α -амилаз и β -амилаз, каталаз

и пероксидаз, но снижалась натура зерна. Во влажных гидротермических условиях 2017 г. (ГТК=2,3) уменьшение натуры зерна и увеличение содержания в зерне белков существенно не снижали его пивоваренные свойства, поскольку данные показатели оставались на оптимальном уровне.

В относительно сухих условиях вегетации 2016, 2018 гг. (ГТК = 1–1,3) под влиянием даже небольшой дозы азота (60 кг/га) заметно усиливалось накопление белков в зерне ячменя, которое превышало установленный норматив (не более 12%), а под воздействием повышенных доз азота (90–120 кг/га) содержание белков возрастало до 13–14%. Повышение активности указанных ферментов в созревшем зерне ячменя при усилении азотного питания растений по-видимому связано со снижением концентрации водорастворимых белков [13, 14] и содержащихся в этой фракции белковых ингибиторов ферментов, которые меньше связывали ферментных белков в неактивные комплексы.

В результате последствия возрастающих доз азота в прорастающих зерновках ячменя повышалась активность α -амилаз, протеолитических ферментов, а также каталаз и пероксидаз, но снижалась активность β -амилаз. За счет повышения активности указанных ферментов происходила активизация солодоращения, а вследствие понижения β -амилазной активности в зерне проростков стало возможным некоторое ухудшение качества получаемого из него солода. Снижение β -амилазной активности в прорастающих зерновках, сформировавшихся в вариантах с внесением азотного удобрения, обусловлено тем, что в них повышена концентрация запасных белков гордеинов, которые в процессе солодоращения замедляют растворение эндосперма и переход в активную форму локализованных в нем β -амилаз.

В относительно сухих условиях вегетации (опыты 2016, 2018 гг.) при увеличении доз фосфора и калия (P_{120} , K_{120}) существенно повышалась зерновая продуктивность растений ячменя (на 10–28%) и возрастали показатели массы 1000 зерен, способности прорастания зерна, α -амилазной и β -амилазной активности в зерне, но отмечалось снижение каталазной и пероксидазной активности, а также содержания в зерне белков, которое уже не превышало нормативное ограничение. Под влиянием калия увеличивалась натура зерна. В прорастающем зерне, которое сформировалось под влиянием повышенных доз фосфора и калия, возрастала α -амилазная и пероксидазная активность, но снижалась активность β -амилаз. В целом усиление фосфорно-калийного питания в относительно сухих гидротермических условиях (ГТК = 1–1,3) положительно влияло на зерновую продуктивность и качество зерна пивоваренного ячменя.

В условиях влажной и прохладной погоды (2017 г.) под влиянием высоких доз фосфора и калия (120 кг/га действующего вещества) урожайность ячменя существенно не увеличивалась, что было обусловлено ухудшением азотного питания вследствие возрастания потерь азота, вызванных неблагоприятными гидротермическими условиями, вместе с тем снижались показатели пленчатости и натуры зерна и в зерновках повышалась β -амилазная и пероксидазная активность. В проросшем зерне, сформировавшемся в вариантах с высокими дозами фосфорно-калийного питания (P_{120} , K_{120}), была повышена активность α -амилаз и пероксидаз, однако снижена β -амилазная активность.

Под влиянием фиторегулятора новосил, раствором которого растения ячменя опрыскивали в фазе колошения, увеличивался сбор зерна (на 6–9%), а также повышались способность прорастания зерна, активность в нем α - и β -амилаз, тогда как натура зерна несколько уменьшалась. В опыте 2016 г., когда под влиянием сухой погоды в зерновках ячменя усиливалось накопление белков, этот фиторегулятор снижал их содержание, которое уже существенно не превышало нормативное

ограничение (12%). Полученные результаты имеют практическое значение, так как при последующем экспериментальном подтверждении могут быть использованы в технологиях получения зерна ячменя, отвечающего требованиям пивоваренного производства.

При обработке растений ячменя фиторегулятором новосил в условиях сухой погоды (ГТК = 1,3, 2016 г.) сформировалось зерно, в котором при солодоращении возрастала активность протеаз и пероксидаз, тогда как в прорастающем зерне, полученном во влажных гидротермических условиях (ГТК = 2,3, 2017 г.), повышалась активность α -амилаз и пероксидаз и снижалась каталазная активность.

Под воздействием фиторегулятора эпин-экстра, которым растения ячменя обрабатывали в таком же режиме, как и фиторегулятором новосил, повышалась их зерновая продуктивность (на 9–14%) и активность в зерне α -амилаз и каталаз, а в прорастающих зерновках возрастала общая активность амилаз и пероксидазная активность, тогда как каталазная активность существенно снижалась. В целом можно отметить, что применение указанного фиторегулятора положительно влияло на формирование урожая и пивоваренных свойств зерна ячменя.

При определении активности амилаз и каталаз выявлена тесная корреляция между активностью этих ферментов в покоящемся зерне и зерне проростков ячменя. Поэтому по активности указанных ферментов в зрелом зерне ячменя можно прогнозировать их активность при солодоращении.

Выводы

1. В опытах с пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, установлено, что под влиянием возрастающих доз азота существенно повышались зерновая продуктивность растений ячменя (на 18–33%), содержание в зерне белков, активность в нем α - и β -амилаз, каталаз и пероксидаз, но снижалась натура зерна. Во влажных условиях вегетации (ГТК = 2,3) снижение натуры и повышение белковистости зерна не выходило за пределы нормативных требований, тогда как в более сухих условиях (ГТК = 1–1,3) содержание белков в зерне ячменя даже при невысоких дозах азота превышало нормативный уровень (12%).

2. При повышении уровня фосфорного и калийного питания (P_{120} , K_{120}) в условиях сухой погоды увеличивались урожай зерна (на 10–28%), масса 1000 зерен, способность прорастания зерна, активность в зерновках α - и β -амилаз и происходило снижение активности каталаз и пероксидаз, а также белковистости зерна до нормативного уровня. Во влажных гидротермических условиях увеличение доз фосфорного и калийного питания не влияло на зерновую продуктивность ячменя, но снижало натуру и пленчатость зерна, что в определенной степени ухудшало его пивоваренные свойства.

3. В результате последовательного возрастания доз азота в прорастающем зерне ячменя увеличивалась α -амилазная, протеазная, каталазная и пероксидазная активность, но снижалась активность β -амилаз, а под влиянием высоких доз фосфора и калия (P_{120} , K_{120}) сформировалось зерно, в котором при солодоращении была повышена α -амилазная и пероксидазная и снижена β -амилазная активность. Эти данные показывают, что при усилении режима питания растений формировалось зерно ячменя с повышенной активностью ферментов гидролитического и антиоксидантного действия.

4. Под воздействием обработки растений ячменя в фазе колошения фиторегулятором новосил существенно возрастали их зерновая продуктивность (на 6–9%),

способность прорастания зерна, активность в нем α - и β -амилаз, но снижалась натура зерна. В условиях сухой погоды (ГТК = 1,3) указанный фиторегулятор снижал содержание в зерне белков и в результате его последствие в прорастающем зерне возрастала активность протеолитических ферментов и пероксидаз, которые ускоряли процесс солодоращения.

5. В результате обработки растений ячменя в фазе колошения фиторегулятором эпин-экстра повышались урожай зерна (на 9–14%), активность в нем α -амилаз и каталаз. При применении этого фиторегулятора сформировалось зерно, в котором при прорастании возрастала активность амилаз и пероксидаз, что повышало способность зерна к солодоращению.

6. Установленная в опытах тесная корреляция между активностью амилаз и каталаз в проросшем и покоящемся зерне ячменя показывает возможность по активности указанных ферментов в покоящемся зерне прогнозировать их активность в прорастающих зерновках и на основе полученных данных оценивать способность зерна к солодоращению.

Библиографический список

1. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 206 с.

2. Витол И.С., Бобков А.А., Карпиленко Г.П. Углеводно-амилазный комплекс и технологические показатели качества пивоваренного ячменя, выращенного в условиях Нечерноземья // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2007. № 2. – С. 24–27.

3. Витол И.С., Карпиленко Г.П. Белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // Прикл. биохимия и микробиология. 2007. Т. 43. № 3. – С. 356–364.

4. Гамзаева Р.С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилолитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в прорастающих зёрнах пивоваренного ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2016, № 44. – С. 27–32.

5. Железнов А.В., Солоненко Л.П., Железнова Н.Б., Бурмакина Н.В. Активность амилазы ячменя различного географического происхождения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2005, № 5. – С. 36–44.

6. Иванова Т.И., Бабанина А.В. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожай и качество ячменя в годы с повышенным увлажнением на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1978. № 2. – С. 73–79.

7. Карташова Е.Р., Руденская Г.П., Юрина Е.В. Полифункциональность растительных пероксидаз и их практическое использование // Сельскохозяйственная биология. – 2000, № 5. – С. 63–70.

8. Лапа В.В., Иваненко Н.Н. Влияние различных систем применения минеральных удобрений на урожайность и качество ячменя на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 2000. № 11. – С. 27–33.

9. Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства. – М.: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 194 с.

10. Новиков Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растении // Известия ТСХА, 2016, № 3. – С. 36–46.

11. Новиков Н.Н., Мякиньюков А.Г., Сычев Р.В. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя сорта Михайловский в зависимости от уровня азотного

питания при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия ТСХА. 2009. № 3. – С. 65–73.

12. Новиков Н.Н., Мякинков А.Г., Сычёв Р.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.

13. 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 // Агробиология. 2019. № 2. – С. 43–51.

14. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Влияние режима питания и фиторегуляторов (новосил, эпин) на качество зерна и состав белков пивоваренного ячменя при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия ТСХА. 2019. № 3. – С. 5–18.

15. 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.

16. Пасынков А.В. Урожайность и пивоваренные качества различных сортов ячменя в зависимости от доз и соотношения азотных и калийных удобрений // Агробиология. 2002. № 7. – С. 25–31.

17. Персикова Т.Ф., Сергеева И.И. Применение регуляторов роста и бакпрепаратов на посевах ячменя и гороха // Плодородие, 2006, № 1. – С. 19–20.

18. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985. – 255 с.

19. Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley // Euphytica. – 2003. – Vol. 133. – P. 291–298.

20. Mahmoudi T., Oveisi M.R., Jannat B., Behzad M., Hajimahmoodi M., Sadeghi N. Antioxidant activity of Iranian barley grain cultivars and their malts // African Journal of Food Science. – 2015. – Vol. 9(11). – p. 534–539.

21. Palatnik Y.F., Valle E.M., Federico M.L., Gomez L.D., Melchiorre M.N., Paleo A.D., Carrillo N., Acevedo A. Status of antioxidant metabolites and enzymes in a catalase-deficient mutant of barley (*Hordeum vulgare* L.). // Plant science. № 3. 2002. – p. 363–371.

FORMATION OF BREWING PROPERTIES OF BARLEY GRAIN WHEN GROWN ON SOD-PODZOLIC SOIL DEPENDING ON NUTRITION PATTERN AND PHYTOREGULATOR APPLICATION

N.N. NOVIKOV, N.YE. SOLOVYEVA

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

Experiments with malting barley carried out on sod-podzolic medium loam soil have shown that under the influence of raising nitrogen rates the grain productivity of barley, the content of proteins, the activity of α - and β -amylases, catalases and peroxidases in the grains increased, while the grain unit decreased. In relatively dry weather (hydrothermic factor = 1–1.3) enhanced application rates of phosphorus and potassium (P_{120} , K_{120}) increased the grain productivity of barley, the ability of grain germination, the mass of 1000 grains, the activity of α - and β -amylases in grain seeds, but they decreased peroxidase and catalase activity, as well as the protein content to an optimal level. An increased level of nitrogen nutrition of barley led to the formation of grains with higher activity of α -amylase, protease, catalase and peroxidase during malting, but noticeably lower activity of β -amylases. As a result of the aftereffect of increased phosphorus and potassium rates, sprouting barley grains showed higher α -amylase and peroxidase activity, but reduced β -amylase

activity. Under the influence of the Novosil phyto regulator the grain productivity of barley increased significantly (by 6–9%), as well as the ability of grain germination, the activity of α - and β -amylases became higher, but the grain unit decreased. With a moderate moisture deficit (hydrothermic factor = 1.3) the Novosil phyto regulator reduced the accumulation of proteins in barley grains and enhanced the activity of proteases and peroxidases in germinating grain, which activated the endosperm dissolution. Under the influence of the Epin phyto regulator, grain productivity of barley became higher (by 9–14%) and the activity of α -amylases and catalases increased in grain seeds, while the total activity of amylases and peroxidases accelerating the malting process increased in sprout grains. The study has found strong correlation between the indicators of amylase and catalase activity in the resting and sprout grain.

Key words: malting barley, plant nutrition, phyto regulators, grain quality; activity of amylases, proteases, catalases, and peroxidases.

References

1. *Berkutova N.S.* Metody otsenki i formirovaniye kachestva zerna [Methods of evaluation and the formation of grain quality]. – M.: Rosagropromizdat, 1991: 206. (In Rus.)
2. *Vitol I.S., Bobkov A.A., Karpilenko G.P.* Uglevodno-amilaznyy kompleks i tekhnologicheskkiye pokazateli kachestva pivovarennoy yachmenya, vyrashchennogo v usloviyakh Nechernozem'ya [Carbohydrate-amylase complex and technological quality characteristics of malting barley grown in the conditions of Non-Chernozem region] // *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya.* 2007; 2: 24–27. (In Rus.)
3. *Vitol I.S., Karpilenko G.P.* Belkovo-proteinaznyy kompleks yachmenya, vyrashchennogo na raznom agrofone s primeneniym preparatov regul'yatornogo deystviya [Protein-proteinase complex of barley grown on different agricultural background with the use of regulatory action products] // *Prikl. biokhimiya i mikrobiologiya.* 2007; 43; 3: 356–364. (In Rus.)
4. *Gamzayeva R.S.* Vliyaniye fitoregulyatorov epin i tsirkon na amiloliticheskuyu aktivnost' i sodержaniye redutsiruyushchikh sakharov v prorastayushchikh zornakh pivovarennoy yachmenya [Effect of epin and zircon phyto regulators on amylolytic activity and reducing sugars content in germinating grains of malting barley] // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2016; 44: 27–32. (In Rus.)
5. *Zheleznov A.V., Solonenko L.P., Zheleznova N.B., Burmakina N.V.* Aktivnost' amilazy yachmenya razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya [Amylase activity of barley of different geographic origin] // *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki.* 2005; 5: 36–44. (In Rus.)
6. *Ivanova T.I., Babanina A.V.* Vliyaniye vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy na urozhay i kachestvo yachmenya v gody s povyshennym uvlazhneniyem na derno-podzolistoy pochve [Influence of increasing rates of mineral fertilizers on the yield and quality of barley in years with increased moisture on sod-podzolic soil] // *Agrokhi-miya.* 1978; 2: 73–79. (In Rus.)
7. *Kartashova Ye.R., Rudenskaya G.P., Yurina Ye.V.* Polifunktsional'nost' rastitel'nykh peroksidaz i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye [Polyfunctionality of plant peroxidases and their practical use] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya.* – 2000; 5: 63–70. (In Rus.)
8. *Lapa V.V., Ivanenko N.N.* Vliyaniye razlichnykh sistem primeneniya mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo yachmenya na derno-podzolistoy pochve [Influence of different systems of applying mineral fertilizers on yield and quality of barley on sod-podzolic soil] // *Agrokhi-miya.* 2000; 11: 27–33. (In Rus.)

9. *Novikov N.N.* Biokhimicheskiye osnovy formirovaniya kachestva produktsii rasstaniyevodstva [Biochemical bases of crop product quality formation]. – M.: Izdatel'stvo RGAU–MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2014: 194. (In Rus.)

10. *Novikov N.N.* Novyy metod opredeleniya aktivnosti peroksidaz v rasteniyakh [New method of determining peroxidase activity in plants] // *Izvestiya TSKHA*, 2016; 3: 36–46. (In Rus.)

11. *Novikov N.N., Myakin'kov A.G., Sychev R.V.* Formirovaniye pivovarennykh svoystv zerna yachmenya sorta Mikhaylovskiy v zavisimosti ot urovnya azotnogo pitaniya pri vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochve [Formation of brewing properties of the Mikhailovsky barley variety depending on the level of nitrogen nutrition when grown on sod-podzolic medium-loamy soil] // *Izvestiya TSKHA*. 2009; 3: 65–73. (In Rus.)

12. *Novikov N.N., Myakin'kov A.G., Sychov R.V.* Vliyaniye fitoregulyatorov na formirovaniye urozhaya i pivovarennykh svoystv zerna yachmenya pri vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochve [Influence of phyto regulators on the yield formation and brewing properties of barley grain when grown on sod-podzolic medium-loamy soil] // *Izvestiya TSKHA*. 2011; 3: 88. (In Rus.)

13. *Novikov N.N., Solov'yeva N.Ye.* Formirovaniye kachestva zerna pivovarennogo yachmenya v zavisimosti ot rezhima pitaniya i primeneniya fitoregulyatorov pri vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy pochve [Formation of the grain quality of malting barley when grown on sod-podzolic soil depending on nutrition pattern and the use of phyto regulators] // *Agrokimiya*. 2019; 2: 43–51. (In Rus.)

14. *Novikov N.N., Solov'yeva N.Ye.* Vliyaniye rezhima pitaniya i fitoregulyatorov (novosil, epin) na kachestvo zerna i sostav belkov pivovarennogo yachmenya pri vyrashchivanii na dernovo-podzolistoy pochve [Influence of the nutrition pattern and phyto regulators (Novosil, Epin) on the quality and protein composition of malting barley grain when grown on sod-podzolic soil] // *Izvestiya TSKHA*. 2019; 3: 5–18. (In Rus.)

15. *Novikov N.N., Shatilova T.I., Romanova Ye.V.* Vliyaniye fitoregulyatorov na formirovaniye pivovarennykh svoystv zerna yachmenya v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo rayona [Influence of phyto regulators on the formation of malting properties of barley grain in the conditions of the Central Chernozem region] // *Plodorodiye*. 2015; 4(85): 24–26. (In Rus.)

16. *Pasynkov A.V.* Urozhaynost' i pivovarennyye kachestva razlichnykh sortov yachmenya v zavisimosti ot doz i sootnosheniya azotnykh i kaliynykh udobreniy [Yield and brewing quality of different varieties of barley depending on the application rate and the ratio of nitrogen and potash fertilizers] // *Agrokimiya*. 2002; 7: 25–31. (In Rus.)

17. *Persikova T.F., Sergeyeva I.I.* Primeneniye regulyatorov rosta i bakpreparatov na posevakh yachmenya i gorokha [Application of growth regulators and bacterial preparations on barley and pea crops] // *Plodorodiye*, 2006; 1: 19–20. (In Rus.)

18. *Pleshkov B.P.* Praktikum po biokhimii rasteniy [Workshop on plant biochemistry]. – M.: Kolos, 1985: 255. (In Rus.)

19. *Abeledo L.G., Calderini D.F., Slafer G.A.* Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley // *Euphytica*, 2003; 133: 291–298.

20. *Mahmoudi T., Oveisi M.R., Jannat B., Behzad M., Hajimahmoodi M., Sadeghi N.* Antioxidant activity of Iranian barley grain cultivars and their malts // *African Journal of Food Science*. – 2015; 9(11): 534–539.

21. *Palatnik Y.F., Valle E.M., Federico M.L., Gomez L.D., Melchiorre M.N., Paleo A.D., Carrillo N., Acevedo A.* Status of antioxidant metabolites and enzymes in a catalase-deficient mutant of barley (*Hordeum vulgare* L.). // *Plant science*. 2002; 3: 363–371.

Новиков Николай Николаевич – д.б.н., проф. кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-29-71, (499) 976-16-60); e-mail: tshanovikov@gmail.com

Соловьева Нюргуяна Егоровна – аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-29-71, (499) 976-16-60); e-mail: nurguyana.s@mail.ru

Nikolai N. Novikov – DSc (Bio), Professor, the Department of Agronomy, Biological Chemistry and Radiology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-29-71, (499) 976-16-60); e-mail: tshanovikov@gmail.com

Nurguyana Ye. Solovyeva – post-graduate Student, the Department of Agronomy, Biological Chemistry and Radiology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 976-29-71, (499) 976-16-60); e-mail: nurguyana.s@mail.ru