

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

© 2019 г. Н. Н. Новиков^{1,*}, Н. Е. Соловьева¹

¹ *Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия*

**E-mail: tshanovikov@gmail.com*

Поступила в редакцию 06.07.2018 г.

После доработки 11.08.2018 г.

Принята к публикации 12.11.2018 г.

В полевых опытах с пивоваренным ячменем, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, установлено, что при внесении возрастающих доз азота увеличивались зерновая продуктивность растений, масса 1000 зерен, накопление в зерновках белков за счет усиления синтеза гордеинов, активность α -амилаз и каталаз, но уменьшались натура зерна, содержание в зерне водорастворимых и неэкстрагируемых белков, глобулинов, активность β -амилаз, что ухудшало пивоваренные качества зерна. При достаточной обеспеченности азотом увеличение доз фосфора и калия увеличило зерновую продуктивность растений ячменя, массу 1000 зерен, энергию и способность прорастания зерна, активность в нем α -амилаз, но снижало активность β -амилаз и каталаз, а также белковистость зерна, доводя его до нормативных требований (не более 12%). Выяснено, что в благоприятных для накопления белков гидротермических условиях и режиме азотного питания при обработке растений ячменя в фазе колошения фиторегуляторами увеличивалась их зерновая продуктивность и снижалось содержание белка в зерне. Выявлена тесная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев ячменя в фазе образования первого стеблевого узла и дозой внесенного азота, продуктивностью растений, а также качественными характеристиками зерна, что свидетельствовало о возможности использования этого показателя для диагностики азотного питания и прогнозирования величины урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя.

Ключевые слова: качество зерна, пивоваренный ячмень, режим минерального питания, фиторегуляторы, дерново-подзолистая почва.

DOI: 10.1134/S000218811902011X

ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей получения высококачественного сырья для пивоваренного производства является создание сортов пивоваренного ячменя, способных давать устойчивые урожаи зерна с улучшенными технологическими показателями в природно-климатических условиях различных регионов нашей страны, а также разработка технологий их выращивания, включающих оптимизацию режима питания растений и применение фиторегуляторов, способных интенсифицировать физиолого-биохимические процессы формирования урожая и качества зерна [1–6].

В ходе исследований выяснено, что при разработке оптимального режима питания растений пивоваренного ячменя необходимо создавать такое соотношение между уровнями их азотного и

фосфорно-калийного питания, которое обеспечивает получение высоких урожаев зерна с содержанием белков, не превышающим нормативные требования [7–10].

Внесение повышенных доз азотных удобрений инициирует активный синтез азотистых веществ в вегетирующих растениях и созревающем зерне, в результате чего повышается содержание запасных белков и, если оно превышает 12%, заметно ухудшаются пивоваренные свойства зерна ячменя. Зерно с высоким содержанием белков формируется также при выращивании растений ячменя в условиях дефицита фосфора и калия даже при умеренной их обеспеченности азотом [7, 8, 11–13].

В современных технологиях выращивания пивоваренного ячменя находят применение фиторегуляторы, под влиянием которых возможно повы-

шение урожайности этой культуры за счет увеличения массы зерен и показателя их экстрактивности, а также улучшение технологических свойств зерна. Важное значение имеет также изучение регуляторных веществ, понижающих накопление в зерне пивоваренного ячменя запасных белков на фоне внесения азотных удобрений, необходимых для повышения его урожайности [14–18].

Вместе с тем влияние режимов питания растений и фиторегуляторов на формирование урожая и пивоваренных свойств зерна ячменя изучено еще недостаточно. Окончательно не установлена специфика действия на растения указанных факторов в зависимости от природно-климатических условий региона и генотипа современных сортов ячменя. Цель работы – изучение влияния условий питания растений и применения фиторегуляторов на формирование урожая, состав белков и технологические показатели зерна пивоваренного ячменя при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты с ячменем сорта Владимир селекции Московского НИИСХ проводили на полевой опытной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева в 2016–2017 гг. в четырехкратной повторности, площадь делянки – 1 м². Почва на опытном участке – дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса – 2.5%. В опыте 2016 г.: рН_{KCl} 5.8, P₂O₅ – 190, K₂O – 213 мг/кг (по Кирсанову). В опыте 2017 г.: рН_{KCl} 6.2, P₂O₅ – 162, K₂O – 202 мг/кг (по Кирсанову).

Осенью производили вспашку опытного участка оборотным плугом. Удобрения в виде N_{аа}, P_c и K_x вносили до посева с последующей перекопкой делянок. Посев проводили из расчета 6 млн всхожих семян/га.

В 2016 г. опыт включал следующие варианты: 1 – P30K30 (фон), 2 – фон + N60, 3 – фон + N90, 4 – фон + N120, 5 – фон + N60P90, 6 – фон + N60K90, 7 – фон + N60 + новосил, 8 – фон + N60 + эпин. В 2017 г. в опыте были варианты: 1 – P60K60 (фон), 2 – фон + N60, 3 – фон + N90, 4 – фон + N120, 5 – фон + N150, 6 – фон + N60P60, 7 – фон + N60K60, 8 – фон + N60 + новосил, 9 – фон + N60 + эпин.

Обработку растений фиторегуляторами проводили в фазе колошения ячменя с нормой расхода препаратов: новосил – 40 мг/л, эпин – 0.005 мг/л рабочего раствора; норма расхода рабочего раствора – 50 мл/м².

В фазе образования 1-го стеблевого узла отбирали пробы сока из листьев главного побега растений ячменя (выборки 2-го листа от колоса) для измерения в них концентрации аминокислот. Массу 1000 зерен, натуру, пленчатость, экстрактивность, крупность и выравненность, прорастаемость зерна, содержание в зерне белков определяли общепринятыми методами [19, 20], активность амилаз – методом иод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину [20]. Измерение концентрации аминокислот в соке листьев проводили спектрофотометрическим методом при длине волны 280 нм [21]. Водорастворимые белки экстрагировали обессоленной водой, глобулины – 10%-ным раствором KCl, гордеины – 70%-ным раствором этанола, глютелины – 0.2%-ным раствором NaOH.

Статистическую оценку экспериментального материала выполняли дисперсионным методом с использованием компьютерной программы Straz в модификации информационно-вычислительного центра РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева (Версия 2.1, 1989–1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опыте 2016 г. в варианте без внесения азота (P30K30) отмечена довольно высокая зерновая продуктивность растений ячменя и близкая к оптимальной масса 1000 зерен, средняя натура и пониженный уровень белковистости зерна (табл. 1). Внесение на указанном фоне дозы N60 существенно увеличило урожай (на 5.7%) и белковистость (на 3.1%) зерна, однако понизило его натуру. Повышение дозы азота до N120 увеличило зерновую продуктивность ячменя по сравнению с фоновым вариантом на 18.2%, содержание в зерне белков – на 3.9%, массу 1000 зерен – до 45.2 г, а натуру зерна уменьшило до 628 г/л. Таким образом, при внесении азотного удобрения даже в невысокой дозе существенно возросло содержание белков в зерне ячменя, которое превысило нормативный уровень этого показателя (≤12%).

При добавлении на указанном фоне к дозе N60 дозы P90 увеличилась зерновая продуктивность растений (на 10.4%) и масса 1000 зерен, однако до 10.6% понизилась белковистость зерна, которая уже не превышала нормативные требования. Внесение на том же фоне калийного удобрения в дозе K90 еще в большей степени повысило зерновую продуктивность растений (на 16.7%), натуру зерна, массу 1000 зерен и существенно снизило содержание в зерне белков (до 10.2%). Полученные данные свидетельствовали о том, что при сбалансированном азотно-фосфорно-калий-

Таблица 1. Зерновая продуктивность, качество зерна и концентрация аминокислот в соке листьев ячменя

Вариант	Урожай зерна, г/м ²	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г	Содержание белков, % сухой массы	Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. опт. плотности
2016 г.					
Р30К30 (фон)	418	650	42.7	9.3	0.50
Фон + N60	442	641	42.5	12.4	0.35
Фон + N90	461	634	45.2	12.7	0.29
Фон + N120	494	628	45.3	13.2	0.23
Фон + N60P90	488	637	44.2	10.6	—
Фон + N60K90	516	653	48.3	10.2	—
Фон + N60 + новосил	484	634	45.3	11.0	—
Фон + N60 + эпин	504	639	45.1	12.7	—
<i>HCP</i> ₀₅	21	5	1.1	0.5	—
2017 г.					
Р60К60 (фон)	419	732	47.4	8.9	0.60
Фон + N60	465	730	50.7	9.1	0.55
Фон + N90	505	725	51.9	10.1	0.44
Фон + N120	559	724	53.2	11.7	0.42
Фон + N150	603	719	53.3	11.0	0.42
Фон + N60P60	469	722	51.7	9.5	—
Фон + N60К60	483	721	51.3	9.2	—
Фон + N60 + новосил	492	711	52.1	9.4	—
Фон + N60 + эпин	508	712	52.2	9.6	—
<i>HCP</i> ₀₅	23	5	1.6	0.5	—

ном питании возможно значительное повышение продуктивности ячменя и получение зерна с содержанием белков, отвечающим требованиям пивоваренного производства.

Под воздействием фиторегулятора новосил, которым растения ячменя обрабатывали в фазе колошения, существенно возросла продуктивность растений (на 9.5%) и масса 1000 зерен, а натура и белковистость зерна несколько снизились, при этом белковистость зерна не превышала нормативных требований. При обработке растений в фазе колошения фиторегулятором эпин увеличилась зерновая продуктивность ячменя (на 14%) и масса 1000 зерен, тогда как натура и белковистость зерна не изменились.

В опытах авторов с ячменем была также поставлена задача испытать новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна, разработанный для пшеницы [21], в связи с чем отбирали пробы сока листьев с главных побегов растений в фазе образования 1-го стеблевого узла, в которых определяли концентрацию аминокислот измерением оптической плотности раствора при длине волны 280 нм.

В пробы включали вторые листья сверху, в которых уже стабилизировались биохимические процессы. Результаты опыта показали, что при увеличении дозы азота концентрация аминокислот в соке листьев уменьшалась (табл. 1). Последнее свидетельствовало об активизации ростовых процессов и увеличении потребления аминокислот для синтеза структурных и функционально активных белков.

Как показали расчеты, концентрация аминокислот в соке листьев тесно коррелировала с дозой внесенного азота ($r = -0.99$), зерновой продуктивностью растений ($r = -0.95$), содержанием в зерне белков ($r = -0.97$) и натурой зерна ($r = 0.99$). Корреляция была достоверна при $|r| \geq 0.95$.

В гидротермических условиях 2017 г. (большое количество осадков во время созревания зерна, ГТК = 2.3) в фоновом варианте Р60К60 сформировался такой же по величине урожай зерна, как и в опыте 2016 г., но с более высокими показателями натуры и массы 1000 зерен (табл. 1). Поскольку в опыте 2017 г. почва содержала меньше подвижных форм фосфора и калия, в фоновом варианте были несколько увеличены дозы фос-

Таблица 2. Показатели пивоваренных свойств зерна ячменя

Вариант	Пленчатость	Крупность	Выравненность, %				Энергия прорастания	Способность прорастания	Экстрактивность, % сухой массы
	%		2.8 мм	2.5 мм	2.2 мм	<2.2 мм	%		
2016 г.									
Р30К30 (фон)	7.8	86.2	47.3	38.9	11.9	1.9	98.0	98.0	78.9
Фон + N60	7.7	84.2	40.6	43.5	13.3	2.6	98.0	98.2	77.0
Фон + N90	8.2	82.4	37.5	44.9	14.0	3.6	98.5	98.5	76.7
Фон + N120	8.2	76.4	34.9	41.5	19.2	4.4	98.2	98.5	75.8
Фон + N60P90	7.8	82.1	41.5	40.6	13.1	4.8	99.4	99.4	76.7
Фон + N60K90	8.0	85.8	53.3	32.5	11.7	2.5	99.0	99.2	76.5
Фон + N60 + новосил	7.6	86.3	50.8	35.4	11.9	1.9	99.0	99.3	76.8
Фон + N60 + эпип	8.1	83.4	44.4	38.9	13.2	3.4	98.8	99.5	76.7
НСР ₀₅	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.9
2017 г.									
Р60К60 (фон)	8.4	96.8	75.6	21.2	2.4	0.8	96.5	98.7	81.1
Фон + N60	8.3	98.9	87.6	11.4	0.9	0.2	96.1	98.3	80.4
Фон + N90	8.0	98.4	87.0	11.4	1.4	0.2	96.9	99.3	80.1
Фон + N120	8.0	98.3	87.2	11.1	1.2	0.5	97.7	98.1	79.4
Фон + N150	8.0	97.8	84.8	13.1	1.8	0.4	97.5	98.9	79.0
Фон + N60P60	7.8	97.4	84.5	12.9	2.2	0.4	98.3	98.7	80.6
Фон + N60K60	7.8	98.3	86.9	11.4	1.3	0.4	97.3	98.5	80.3
Фон + N60 + новосил	8.8	97.7	83.0	14.7	1.7	0.5	98.3	99.1	79.9
Фон + N60 + эпип	8.7	98.0	84.0	14.0	1.7	0.3	96.3	98.0	79.7
НСР ₀₅	0.5	0.7	2.1	2.1	0.5	0.5	0.9	0.8	2.9

форно-калийного удобрения до Р60К60. При увеличении дозы азота до N150 зерновая продуктивность растений ячменя возросла на 44.3%, масса 1000 зерен – на 5.9 г, тогда как натура зерна несколько снизилась, но оставалась в пределах оптимума. Максимальное содержание в зерне белков отмечено при дозе азота N120, однако оно не превышало нормативное ограничение (12%).

В варианте внесения N60P60K60 дополнительное применение фосфорного или калийного удобрения по 60 кг д.в./га существенно не влияло на урожайность ячменя, массу зерновок и содержание в зерне белков, но несколько понизило натуру зерна. Это было обусловлено тем, что в условиях влажной погоды возрастали потери азота, вследствие чего понижалась обеспеченность растений ячменя этим питательным элементом, который в данных условиях ограничивал уровень продуктивности растений.

Под воздействием фиторегулятора новосил зерновая продуктивность растений ячменя увеличилась на 5.8%, но снижался показатель натуры зерна, а масса 1000 зерен и белковистость зерна существенно не изменялись. В результате применения эпина возросла зерновая продуктивность (на 9.2%) и содержание в зерне белков, а показатель натуры зерна понизился.

В этом опыте, как и в 2016 г., концентрация аминокислот в соке листьев тесно отрицательно коррелировала с дозой внесенного азота ($r = -0.95$), зерновой продуктивностью растений ($r = -0.92$), содержанием в зерне белков ($r = -0.91$), массой 1000 зерен ($r = -0.95$) и натурой зерна ($r = 0.92$). Корреляция была достоверной при $|r| \geq 0.88$.

В опыте 2016 г. под влиянием режима питания растений отмечены определенные изменения показателей пивоваренных свойств зерна ячменя, кроме показателя его пленчатости (табл. 2). При увеличении дозы азота до N120 (на фоне Р30К30)

Таблица 3. Содержание белковых фракций в зерне ячменя (азот фракций, % от белкового азота)

Вариант	Водорастворимые белки	Глобулины	Гордеины	Глютелины	Неэкстрагируемые белки
2016 г.					
Р30К30 (фон)	12.6	13.9	29.4	28.0	16.1
Фон + N60	9.8	12.8	34.1	28.1	15.2
Фон + N90	8.5	11.3	36.7	28.2	15.3
Фон + N120	8.0	9.6	40.6	29.4	12.4
Фон + N60P90	9.8	13.4	32.9	28.0	15.9
Фон + N60K90	9.4	14.1	32.3	29.4	14.7
Фон + N60 + новосил	6.9	10.1	39.7	29.8	13.8
Фон + N60 + эпин	7.2	9.8	39.2	29.9	13.9
НСР ₀₅	0.7	0.6	1.9	2.2	0.6
2017 г.					
Р60К60 (фон)	11.8	12.8	32.5	27.3	15.6
Фон + N60	10.9	12.0	35.0	28.9	13.2
Фон + N90	9.4	11.5	36.7	30.1	12.3
Фон + N120	8.3	9.9	38.0	32.2	11.6
Фон + N150	8.2	9.4	38.9	32.1	11.4
Фон + N60P60	10.1	12.2	33.7	31.8	12.2
Фон + N60К60	9.8	13.0	34.0	31.5	11.7
Фон + N60 + новосил	9.6	11.3	38.7	26.6	13.8
Фон + N60 + эпин	10.1	9.8	38.4	28.2	13.5
НСР ₀₅	0.7	0.5	1.7	2.0	0.6

существенно снизились показатели крупности и экстрактивности зерна, а доля более мелкого зерна возросла, однако не превышала стандартных требований ($\leq 5\%$). Повышение уровня азотного питания не влияло на показатели прорастаемости зерна (энергия и способность прорастания), которая во всех вариантах опыта отвечала требованиям высококачественного сырья для получения солода. Концентрация аминокислот в соке листьев тесно коррелировала с показателем экстрактивности зерна ($r = 0.99$).

Повышение уровня фосфорного питания (вариант фон + N60P90) несколько снизило показатель крупности зерна и увеличило показатели прорастаемости зерновок, а также долю мелкого зерна (до 4.8%). В результате усиления калийного питания (вариант фон + N60K90) в определенной степени повысились показатели крупности и прорастаемости зерна.

При обработке растений ячменя фиторегулятором новосил отмечено увеличение показателей крупности и прорастаемости зерна, а под влиянием фиторегулятора эпин повысилась способность прорастания зерновок.

В гидротермических условиях 2017 г. сформировалось более крупное зерно с близким к опти-

мальному показателем пленчатости (табл. 2). При добавлении к фосфорно-калийному питанию (фон) дозы N60 отмечено повышение крупности зерна и уменьшение доли мелкого зерна до минимального уровня (0.2%). Дальнейшее увеличение дозы азота существенно не изменило показатель крупности зерна, но несколько повысило его энергию прорастания.

Дополнительное внесение фосфора (вариант фон + N60P60) несколько понизило показатели пленчатости и крупности зерна, но повысило энергию его прорастания, а при усилении калийного питания (вариант фон + N60K60) отмечено небольшое понижение показателя пленчатости зерна и повышение энергии прорастания зерновок.

Под влиянием фиторегулятора новосил несколько возросли показатели пленчатости и прорастаемости зерновок, но уменьшился показатель крупности зерна, а при применении фиторегулятора эпин отмечено небольшое снижение крупности зерновок. В этом опыте, как и в 2016 г., выявлена тесная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и показателем экстрактивности зерна ($r = 0.91$).

Под влиянием режима азотного питания и примененных фиторегуляторов существенно из-

Таблица 4. Активность амилаз и каталаз в зерновках ячменя

Вариант	Общая активность амилаз, мг гидролизованного крахмала/мин/г зерна	% от общей активности		Активность каталаз, нкат/г зерна
		α -амилазы	β -амилазы	
2016 г.				
Р30К30 (фон)	57.9	6.7	93.3	150
Фон + N60	71.3	9.4	90.6	180
Фон + N90	77.3	14.2	85.8	270
Фон + N120	84.3	19.5	80.5	330
Фон + N60P90	83.9	13.1	86.9	140
Фон + N60K90	91.4	13.9	86.1	170
Фон + N60 + новосил	87.3	18.3	81.7	110
Фон + N60 + эпин	75.4	27.2	72.8	230
HCP ₀₅	3.8	2.5	2.3	13
2017 г.				
Р60К60 (фон)	47.3	7.3	92.7	244
Фон + N60	50.8	10.4	89.6	256
Фон + N90	58.5	13.3	86.7	276
Фон + N120	72.7	13.0	87.0	316
Фон + N150	73.3	14.6	85.4	324
Фон + N60P60	55.8	7.8	92.2	244
Фон + N60K60	57.8	8.7	91.3	236
Фон + N60 + новосил	56.0	13.8	86.2	251
Фон + N60 + эпин	58.4	16.2	83.8	271
HCP ₀₅	1.0	0.8	0.8	14

менялся состав белков зерна. При повышении уровня азотного питания растений в зерновках ячменя понизилась концентрация водорастворимых белков, глобулинов, неэкстрагируемых белков, активность β -амилаз и возросла активность α -амилаз и каталаз, содержание спирторастворимых белков (гордеинов), а в опыте 2017 г. увеличилось также и количество глютелинов (табл. 3). Причем указанные изменения в составе белков происходили при возрастании дозы азота до N120 кг/га, тогда как дальнейшее увеличение дозы азота до N150 кг/га на состав белков зерна ячменя не влияло.

Уменьшение концентрации водорастворимых белков и активности β -амилаз в зерновках пивоваренного ячменя в вариантах с повышенными дозами азота в определенной степени снижало его технологические свойства, влияющие на интенсивность процессов сахарообразования и брожения, а также формирование качества пива, тогда как увеличение активности каталаз, как ком-

понентов антиоксидантной системы растений, повышало жизнеспособность семян (табл. 4).

В опыте 2016 г. дополнительное внесение фосфорного удобрения (фон + N60P90), повысившего зерновую продуктивность растений ячменя, несколько увеличило в зерне концентрацию гордеинов и активность α -амилаз, но понизило активность β -амилаз и каталаз, что в определенной степени ухудшило пивоваренные свойства зерна. При усилении калийного питания (вариант фон + N60K90), когда зерновая продуктивность ячменя также повысилась, в его зерновках возросла концентрация глобулинов и активность α -амилаз, тогда как активность β -амилаз и каталаз снизилась, в результате несколько ухудшились пивоваренные свойства зерна.

В гидротермических условиях 2017 г., когда усиление фосфорного или калийного питания не влияло на зерновую продуктивность ячменя, при дополнительном внесении фосфорного удобрения (фон + N60P60) в его зерновках повысились концентрация глютелинов и активность β -ами-

лаз, но понизились содержание водорастворимых и неэкстрагируемых белков и активность α -амилаз. Под влиянием повышенной дозы калийного питания (фон + N60K60) в зерновках ячменя возросла концентрация глобулинов, глютелинов и активность β -амилаз, но понизилось содержание водорастворимых и неэкстрагируемых белков, а также активность α -амилаз и каталаз. Как видно из этих данных, существенного улучшения пивоваренных свойств зерна ячменя не происходило.

По результатам двухлетних опытов выяснено, что под действием фиторегуляторов новосил и эпин в зерновках ячменя уменьшилось относительное содержание водорастворимых белков, глобулинов и понизилась активность β -амилаз, но заметно увеличилось количество гордеинов и возросла активность α -амилаз, а под влиянием эпина – еще и активность каталаз.

В проведенных опытах установлена достоверная положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев ячменя и содержанием в зерновках водорастворимых белков ($r = 0.98-0.99$) и отрицательная корреляция с содержанием гордеинов ($r = -0.96-0.98$) и общей активностью в зерне амилаз ($r = -0.91-0.99$).

Таким образом, в полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с высокой обеспеченностью элементами питания (5-й класс), выяснено, что более качественное зерно пивоваренного ячменя получено в вегетационных условиях 2017 г. (прохладная и влажная погода, ГТК = 2.3): близкие к оптимальным показатели природы, крупности, пленчатости, способности прорастания зерна, массы 1000 зерен, содержания в зерне белков, на достаточно высоком уровне показатель экстрактивности зерна. В опыте 2016 г., когда гидротермические условия были близкими к среднесуточным (ГТК = 1.3), сформировалось зерно ячменя с более низкими показателями природы, экстрактивности, крупности, массы 1000 зерен и высокой энергией прорастания, а по содержанию в зерне белков нормативное ограничение 12% не превышалось только в вариантах без внесения азота и с повышенными дозами фосфорного и калийного питания, а также с применением фиторегулятора новосил. В урожае зерна количество мелких зерен не превышало нормативных требований ($\leq 5\%$).

При повышении уровня азотного питания растений ячменя возрастала зерновая продуктивность растений (на 18–44%), масса 1000 зерен, общее содержание в зерне белков и концентрация гордеинов, активность α -амилаз и каталаз, но понижалась натура зерна, содержание в зерне водо-

растворимых белков, глобулинов, неэкстрагируемых белков и активность β -амилаз. Основные показатели, снижающие пивоваренные свойства зерна ячменя при увеличении доз внесенного азота: повышение белковистости зерна более 12% (в опыте 2016 г.), а также уменьшение содержания в зерне водорастворимых белков, активности β -амилаз и показателя экстрактивности зерна (в опыте 2016 г.). В наибольшей степени эти показатели ухудшались при внесении повышенных доз азота N120–150.

В проведенных полевых опытах выявлено, что увеличение доз фосфорного и калийного питания до 120 кг д.в./га повышало зерновую продуктивность ячменя в гидротермических условиях 2016 г., близких к среднесуточным показателям, тогда как в условиях более низких среднесуточных температур и повышенной влажности вегетационного периода 2017 г. усиление фосфорно-калийного питания не обеспечивало существенного повышения урожайности ячменя. Последнее было связано с тем, что в условиях влажной погоды вследствие увеличения потерь азота создавался значительный его дефицит в почве, который ограничивал уровень продуктивности растений ячменя. Вместе с тем при усилении фосфорно-калийного питания отмечены определенные изменения в формировании качества зерна. Как установлено в опытах, под воздействием повышенной дозы фосфора (P120) возрастала энергия прорастания зерна и общая активность в нем амилаз, но несколько понижался показатель крупности зерна. При усилении калийного питания (K120) повышалась энергия прорастания зерна, общая активность в нем амилаз и содержание глобулинов, но уменьшалась активность каталаз.

В опыте 2016 г. показано, что при повышении уровня фосфорно-калийного питания (P120 и K120) на фоне возрастания зерновой продуктивности ячменя происходило существенное понижение белковистости зерна до нормативных требований ($\leq 12\%$), увеличение массы 1000 зерен, повышение энергии и способности прорастания зерна и активности α -амилаз, а также снижение активности β -амилаз и каталаз. В гидротермических условиях 2017 г., когда внесение повышенных доз фосфора и калия вследствие дефицита азота существенно не влияло на урожайность ячменя, усиление фосфорно-калийного питания увеличивало содержание в его зерновках глютелинов и активность β -амилаз, показатели прорастаемости зерна, но уменьшало натуру зерна, концентрацию водорастворимых и неэкстрагируемых белков, показатель пленчатости зерна, активность α -амилаз. Увеличение массы 1000 зе-

рен, показателей прорастаемости зерна, активности β -амилаз и каталаз улучшало пивоваренные свойства зерна ячменя, тогда как уменьшение натуре зерна, содержания в нем водорастворимых белков, а также активности β -амилаз и каталаз эти свойства ухудшало.

Согласно полученным данным, при обработке растений ячменя в фазе колошения растворами фиторегуляторов новосил и эпин повышалась их зерновая продуктивность (соответственно на 6–9 и 9–14%), содержание в зерновках гордеинов и активность α -амилаз, но уменьшалось содержание в зерне водорастворимых белков, глобулинов, активность β -амилаз, что ухудшало пивоваренные свойства зерна ячменя. Учитывая, что эпин может повышать концентрацию белков в зерне ячменя на фоне внесения азотного удобрения (в опыте 2017 г.), а новосил способен уменьшать этот показатель (в опыте 2016 г.), предполагается возможность использования последнего для повышения зерновой продуктивности растений пивоваренного ячменя и понижения белковистости его зерна до нормативного уровня.

В ходе аналитических исследований, связанных с измерением концентрации свободных аминокислот в соке листьев в фазе образования 1-го стеблевого узла, выяснено, что этот показатель тесно коррелировал с дозой внесенного азота, продуктивностью растений и показателями качества зерна пивоваренного ячменя (натура и экстрактивность зерна, общее содержание в зерне белков, содержание водорастворимых белков и гордеинов, общая активность амилаз). На основе этих данных показана возможность применения указанного показателя для диагностики азотного питания и прогнозирования уровня урожайности и пивоваренных свойств зерна ячменя, а также предполагаемого применения фиторегулятора новосил для понижения белковистости зерна.

ВЫВОДЫ

1. В полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с высокой обеспеченностью элементами питания (5-й класс), установлено, что более качественное зерно пивоваренного ячменя с оптимальными показателями натуре, крупности, массы 1000 зерен, способности прорастания и содержания белков формировалось в условиях влажной погоды (ГТК = 2.3), тогда как в гидротермических условиях, близких к среднепогодным (ГТК = 1.3), при внесении азотного удобрения в зерновках ячменя повышалось содержание белков, превышая нормативный уровень (12%).

2. При внесении возрастающих доз азота повышалась зерновая продуктивность растений ячменя (на 18–44%), масса 1000 зерен, накопление в зерновках белков за счет усиления синтеза гордеинов, активность α -амилаз и каталаз, но понижалась натура зерна, содержание в зерне водорастворимых и неэкстрагируемых белков, а также глобулинов, активность β -амилаз, в результате ухудшались пивоваренные свойства зерна. В наибольшей степени эти показатели снижались при внесении повышенных доз азота N120–150.

3. В условиях достаточной обеспеченности растений азотом увеличение внесенных доз фосфора и калия повышало зерновую продуктивность пивоваренного ячменя, массу 1000 зерен, энергию и способность прорастания зерна, активность в нем α -амилаз, но снижало активность β -амилаз и каталаз, а также белковистость зерна, доводя его до нормативных требований ($\leq 12\%$).

4. При обработке растений ячменя в фазе колошения фиторегуляторами новосил и эпин существенно возрастала их зерновая продуктивность (на 5.8–14%), концентрация в зерновках гордеинов и активность α -амилаз, однако уменьшалось содержание водорастворимых белков и глобулинов, а также активность β -амилаз, что в определенной степени ухудшало пивоваренные свойства зерна. Выяснено, что фиторегулятор новосил в благоприятных для накопления белков гидротермических условиях и режиме азотного питания способен понижать концентрацию белка в зерне пивоваренного ячменя.

5. В проведенных полевых опытах выявлена тесная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев ячменя в фазе образования 1-го стеблевого узла и дозой внесенного азота, продуктивностью растений, а также качественными характеристиками зерна, что свидетельствовало о возможности использования этого показателя (концентрации аминокислот в соке листьев) для диагностики азотного питания и прогнозирования уровня урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева О.В., Жашко К.Т., Тартаковская И.Э., Полховская Е.С.* Влияние биологически активных веществ на качество светлого ячменного пивоваренного солода // Пиво и напитки. 1999. № 4. С. 20–22.
2. *Витол И.С., Бобков А.А., Карпиленко Г.П.* Углеводно-амилазный комплекс и технологические показатели качества пивоваренного ячменя, выращенного в условиях Нечерноземья // Изв. вузов. Пищ. технол. 2007. № 2. С. 24–27.

3. Горпинченко Т.В., Аниканова З.Ф. Качество ячменя для пивоварения // Пиво и напитки. 2002. № 1. С. 18–22.
4. Гулидова В.А. Особенности возделывания ячменя для производства солода // Зерн. хоз-во. 2001. № 3. С. 26–29.
5. Ермолаева Г.А. Характеристика пивоваренного ячменя и требования к его качеству // Пиво и напитки. 2004. № 5. С. 16–17.
6. Watanabe Y., Miura S., Yukawa T., Takenaka S. Effects of plant hormones on Pythium snow rot resistance of barley // Japan. J. Crop Sc. 2008. V. 77. № 1. P. 78–83.
7. 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.
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. Пасынков А.В. Урожайность и пивоваренные качества различных сортов ячменя в зависимости от доз и соотношения азотных и калийных удобрений // Агрохимия. 2002. № 7. С. 25–31.
10. 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. V. 133. P. 291–298.
11. Новиков Н.Н. Биохимия растений. М: ЛЕНАНД, 2014. 680 с.
12. Новиков Н.Н., Мякинников 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 // Изв. ТСХА. 2009. В. 3. С. 65–73.
13. Новиков Н.Н., Мякинников А.Г., Сычев Р.В. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от уровня азотного питания при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Докл. ТСХА. 2011. В. 283. С. 452–455.
14. Витол И.С., Карпиленко Г.П. Белковопротеиновый комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // Прикл. биохим. и микробиол. 2007. Т. 43. № 3. С. 356–364.
15. Карпиленко Г.П., Шаненко Е.Ф., Витол С.Б. Комплексное влияние агрофона и регуляторов метаболизма на качество пивоваренного ячменя // Зерновое хоз-во. 2004. № 8. С. 12–14.
16. Новиков Н.Н., Мякинников А.Г., Сычев Р.В. Влияние фиторегуляторов на формирование урожая и пивоваренных свойств зерна ячменя при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Изв. ТСХА. 2011. № 3. С. 78–88.
17. 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.
18. Персикова Т.Ф., Сергеева И.И. Применение регуляторов роста и бакпрепаратов на посевах ячменя и гороха // Плодородие. 2006. № 1. С. 19–20.
19. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
20. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985. 255 с.
21. Новиков Н.Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы // Изв. ТСХА. 2017. № 5. С. 29–40.

Formation of Quality of Malting Barley Grain Grown on Sod-Podzolic Soil as Affected by Nutrition Regime and Use of Phyto regulators

N. N. Novikov^{a,*} and N.E. Solovyeva^a

^a Russian State Agrarian University— K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia

*E-mail: tshanovikov@gmail.com

In the field experiments with malting barley on sod-podzolic medium loamy soil it was established that fertilization with increasing doses of nitrogen increased grain yield, the weight of 1000 grains, grain protein content by enhancing the synthesis of hordeins, α -amylases and catalases activity. However, the grain unit, the content of water-soluble and non-extractable proteins, globulins, and β -amylase activity decreased, with degradation brewing value of grain. Increasing doses of phosphorus and potassium under sufficient nitrogen nutrition increased grain yield, the weight of 1000 grains, energy and ability of grains to germinate, α -amylase activity in grain, but decreased β -amylase and catalase activity, as well as grain protein content, bringing it to standard requirements (less than 12%). It was found that under favorable hydrothermal and nitrogen nutrition conditions for the protein accumulation, grain productivity increased and the grain protein content decreased with barley plants treatment by phyto regulators in the heading phase. A close correlation between the concentration of amino acids in barley leaves juice in the phase of the first stem node formation and the dose of nitrogen, plant productivity, as well as grain quality parameters were revealed. It is evidence the possibility of using this indicator for diagnosing nitrogen nutrition and predicting yield and quality of malting barley grain.

Key words: grain quality, malting barley, nutrition regime, phyto regulators, sod-podzolic soil.