

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОВСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

*Н.Н. Новиков, д.б.н., А.Н. Налиухин, д.с.-х.н., А.А. Соколов,
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»*

В полевых опытах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве установлено, что при увеличении доз азота до 120 кг/га повышались урожай овса и содержание в зерне белков (на 1,7–1,8 %) за счет усиления синтеза авенинов и глютелинов, активность всех изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы в созревших зерновках, а также активность щелочных α - и β -амилаз, всех изоферментов каталазы и пероксидазы в проросшем зерне, вследствие чего улучшались семенные качества зерна. Под влиянием возрастающих доз азота в соке листьев овса в фазе формирования первого стеблевого узла понижалось содержание аминокислот, которое тесно коррелировало с дозами азота. Выявлена также тесная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с содержанием водорастворимых белков, глобулинов и глютелинов, активностью всех изоферментов α -амилазы в созревшем зерне и активностью нейтральных β -амилаз в зерне проростков. Полученные результаты исследований показывают возможность оценки уровня азотного питания растений овса и прогнозирования состава белков, активности указанных ферментов в зерне по содержанию в соке листьев аминокислот.

Ключевые слова: овес, азотное питание, содержание аминокислот в соке листьев, белки зерна, активность амилаз, каталаз, пероксидаз.

Для цитирования: Новиков Н.Н., Налиухин А.Н., Соколов А.А. Формирование урожая и биохимических показателей качества зерна овса в зависимости от уровня азотного питания // Плодородие. – 2023. – №5. – С. 28-32.
DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.07.

В результате исследований установлено, что многие показатели качества зерна злаковых культур зависят от режима питания растений азотом. Поэтому для получения высококачественного зерна с содержанием белков в пределах нормативных требований важно создание оптимального режима азотного питания растений [1–5].

На процесс питания растений азотом существенное влияние оказывают погодные условия во время периода вегетации. При влажных гидротермических условиях возрастают потери азота в результате вымывания нитратов и усиления денитрификации. В связи с этим нужно контролировать обеспеченность растений азотом, чтобы при необходимости проводить азотную подкормку. Для установления целесообразности проведения азотной подкормки разработаны методы диагностики азотного питания растений на ранних стадиях их развития [6–8].

Для злаковых культур получены результаты оценки обеспеченности растений азотом методом тканевой диагностики. Однако этот метод основан на определении поступающих в растения нитратов, а аммонийная форма азота не учитывается. Также установлено, что при недостаточном световом режиме и пониженных температурах концентрация нитратов в растениях возрастает, что вносит ошибку в результаты проводимой диагностики [9].

В связи с этим предложен новый метод диагностики питания злаковых культур азотом, который позволяет контролировать поступление в растения как нитратной, так и аммонийной форм азота на основе измерения в соке листьев содержания аминокислот. В опытах с пшеницей и ячменем было показано, что при низком уровне азотного питания растений содержание аминокислот в соке листьев в фазе образования первого стеблевого узла повышалось, а

при увеличении доз азота до оптимального уровня снижалось вследствие более интенсивного их потребления на синтез белков и других азотистых веществ в результате усиления ростовых процессов [10–12].

Как известно из биохимической генетики, в ходе синтеза белков в рибосомах происходит быстрое включение в синтезируемые полипептиды всех протеиногенных аминокислот, которые составляют основную часть свободных аминокислот растительного сока. Поэтому для оценки общей концентрации аминокислот в растительном соке вполне достаточно определять в нем изменение концентрации одной или нескольких протеиногенных аминокислот [13].

Цель исследований – установить влияние режима азотного питания растений овса на содержание аминокислот в соке листьев, урожай, содержание и состав белков зерна, активность амилаз, каталаз, пероксидаз в созревшем и прорастающем зерне, а также возможности использования концентрации аминокислот в соке листьев для диагностики азотного питания и прогнозирования указанных биохимических показателей зерна овса при его выращивании на дерново-подзолистой почве.

Проводимые исследования позволяют определить режим азотного питания растений овса, обеспечивающий получение зерна с улучшенными показателями качества, и обосновать возможность диагностики азотного питания растений и прогнозирования качества зерна овса по содержанию в соке листьев аминокислот.

Методика. Растения овса сорта Яков селекции Московского НИИСХ «Немчиновка» выращивали на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева в 2021–2022 г. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. В 2021 г. содержание гумуса – 2,2 %,

pH_{кол.} 5,2; Н_г – 3,8, S – 7,5 мг-экв/100 г почвы; P₂O₅ – 315, K₂O – 112 мг/кг почвы (по Кирсанову). В 2022 г. содержание гумуса – 2,3 %; pH_{кол.} 5,7; Н_г – 2,1, S – 7,8 мг-экв/100 г почвы; P₂O₅ – 275, K₂O – 130 мг/кг почвы (по Кирсанову). Повторность опытов 5-кратная, площадь делянки 1 м². Удобрения в виде нитрата аммония, суперфосфата, хлорида калия вносили до посева под перекопку делянок. Корневую азотную подкормку нитратом аммония проводили в фазе начала выметывания метелок.

В опытах изучали варианты с разными режимами азотного питания растений овса: 1 – P₆₀K₆₀, 2 – N₆₀P₆₀K₆₀, 3 – N₉₀P₆₀K₆₀, 4 – N₁₂₀P₆₀K₆₀, 5 – N₁₅₀P₆₀K₆₀, 6 – N₆₀P₆₀K₆₀ + N₆₀ корневая подкормка. Норма высева 6 млн всхожих семян на 1 га.

Показатели качества и активность ферментов определяли в зерне овса, прошедшем послеуборочное дозревание. Содержание в зерне белков оценивали по белковому азоту, для экстрагирования отдельных фракций белков использовали обессоленную воду, 10 %-ный раствор хлорида калия, 70 %-ный раствор этилового спирта, 0,2 %-ный раствор гидроксида натрия. Активность амилаз определяли методом иод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину [14], пероксидаз – при пероксидном окислении тирозина [15]. При определении активности кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7) и щелочных (pH 8) изоферментов α- и β-амилазы, каталазы и пероксидазы использовали 1/15 М фосфатный буфер. С целью выяснения последствий режима азотного питания на активность указанных ферментов в прорастающем зерне овса проращивали в течение 7 сут на воде при температуре 25 °C.

Для определения содержания в соке листьев овса аминокислот в вариантах опыта с возрастающими дозами азота в фазе формирования первого стеблевого узла на главных побегах растений отбирали по 20 листьев (второй лист сверху), из которых отжимали сок и пробы сока по 0,1 мл приливали в пробирки с 3 %-ным раствором трихлоруксусной кислоты (5 мл) для осаждения белков. После этого избыток кислоты нейтрализовали 6 %-ным раствором гидроксида натрия (3 мл) и измеряли оптическую плотность полученного раствора при длине волны 280 нм, по которой оценивали содержание аминокислот в соке листьев в пересчете на тирозин [7].

Урожай зерна и его биохимические показатели статистически оценивали методом дисперсионного анализа с применением программного обеспечения «Straz» (информационно-вычислительный центр 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 проведенных полевых опытах отбирали пробы сока листьев овса в фазе формирования первого стеблевого узла, в которых после осаждения белков трихлоруксусной кислотой измеряли концентрацию аминокислот спектрофотометрированием при длине волны 280 нм и по стандартной шкале производили пересчет ее на тирозин (табл. 1).

При увеличении доз азотного удобрения происходило значительное снижение концентрации аминокислот в соке листьев вследствие усиления их потребления на синтез белков и других азотистых веществ в результате активизации ростовых процессов под воздействием вносимого азота. Между дозами азота и концентрацией в соке листьев аминокислот выявлена тесная отрицатель-

ная корреляция ($r = -0,89 \dots -0,96$, табл. 4), которая свидетельствовала о возможности оценивать уровень азотного питания растений овса по измерению указанного показателя.

1. Изменение содержания свободных аминокислот в соке листьев овса при разном уровне питания растений азотом

Режим питания растений	2021 г.		2022 г.	
	Оптическая плотность раствора	Концентрация аминокислот в пересчете на тирозин, мг/мл	Оптическая плотность раствора	Концентрация аминокислот в пересчете на тирозин, мг/мл
P ₆₀ K ₆₀	0,74	37,0	0,73	36,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,71	35,5	0,63	31,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,51	25,5	0,47	23,5
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,51	25,5	0,50	25,0
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,49	24,5	0,39	19,5
НСП ₀₅	-	0,2	-	0,2

В опыте 2021 г. по сравнению с 2022 г. были ниже урожайность и содержание белков в зерне овса в связи с неблагоприятными погодными условиями во время вегетации растений: повышенные среднесуточные температуры и значительный воддефицитный стресс во время всходов и налива зерна овса и большое количество осадков в июне, которое создавало условия для увеличения потерь азота. Однако при достаточно контрастных гидротермических условиях в двухлетних опытах наблюдались примерно одинаковые тенденции к изменению зерновой продуктивности растений и биохимических показателей качества зерна овса.

Под влиянием возрастающих доз азота до 120 кг/га повышались зерновая продуктивность растений овса и содержание в зерне белков (на 1,7–1,8 %), тогда как при увеличении дозы азота до 150 кг/га урожай зерна существенно не изменялся, а содержание в зерне белков в опыте 2021 г. даже снижалось (табл. 2). Поэтому не получено достоверной корреляции величины урожая и белковистости зерна с содержанием в соке листьев аминокислот (табл. 2).

2. Зерновая продуктивность растений и содержание белков в зерне овса в зависимости от режима азотного питания

Режим питания растений	2021 г.		2022 г.	
	Урожай зерна, г/м ²	Содержание белков, % сух. массы	Урожай зерна, г/м ²	Содержание белков, % сух. массы
P ₆₀ K ₆₀	201	9,0	593	9,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	211	9,8	636	10,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	215	10,2	652	10,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	219	10,7	666	11,0
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	219	10,4	656	11,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	204	10,4	618	10,6
НСП ₀₅	8	0,2	19	0,1

Корневая азотная подкормка в фазе начала выметывания метелок не влияла на зерновую продуктивность растений овса, но повышала белковистость зерна на 0,5–0,6%. Однако сравнение результатов, полученных в вариантах с азотной подкормкой и N₁₂₀P₆₀K₆₀, где суммарные дозы азота равны, показало, что в проведенных опытах внесение повышенной дозы азота до посева обеспечивало получение более высоких зерновой продуктивности растений овса и содержания в зерне белков, чем в варианте с поздней азотной подкормкой.

При повышении уровня азотного питания до 120 кг/га в зерновках овса возрастало содержание запасных бел-

ков – авенинов и глютелинов, но снижалась концентрация водорастворимых, неэкстрагируемых белков и глобулинов (табл. 3). Это характерно и для других злаковых культур [5]. При увеличении дозы азота до 150 кг/га возрастало накопление глютелинов, а под воздействием азотной подкормки в фазе начала выметывания метелок в белковом комплексе зерна овса увеличивалась доля глютелинов и снижалась концентрация водорастворимых белков.

3. Содержание различных белковых фракций в зерне овса, %

Режим питания растений	Водорастворимые белки	Глобулины	Авенины	Глютелины	Неэкстрагируемые белки
2021 г.					
P ₆₀ K ₆₀	17,6	26,4	12,1	35,2	8,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17,8	24,4	12,2	37,6	7,9
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	16,3	23,4	13,2	39,6	7,5
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	16,0	22,3	13,9	40,7	7,4
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	16,3	22,3	12,6	41,8	7,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	17,3	23,5	13,0	39,2	9,1
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1
2022 г.					
P ₆₀ K ₆₀	22,0	27,0	13,0	31,0	7,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,0	25,0	16,5	32,5	7,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	18,3	24,7	18,1	33,4	5,5
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	17,9	24,5	18,6	33,7	5,3
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	16,9	24,2	18,7	34,2	6,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	17,8	26,7	16,1	33,1	6,3
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1

4. Коэффициенты корреляции между концентрацией аминокислот в соке листьев и дозами азота, продуктивностью растений, содержанием белков и белковых фракций в зерне овса

Коррелирующий показатель	2021 г.	2022 г.
Дозы азота	-0,89	-0,96
Зерновая продуктивность растений	-0,76	-0,87
Общее содержание белков	-0,84	-0,97
Содержание водорастворимых белков	0,98	0,94
Содержание глобулинов	0,93	0,90
Содержание авенинов	-0,86	-0,93
Содержание глютелинов	-0,92	-0,97
Содержание неэкстрагируемых белков	0,84	0,78
Корреляция достоверна с вероятностью 95 % при $r \geq 0,88 $		

При сопоставлении показателей состава белков с содержанием в соке листьев овса аминокислот установлена достоверная положительная корреляция (табл. 4) концентрации аминокислот в соке листьев с содержанием в созревших зерновках водорастворимых белков ($r = 0,94-0,98$) и глобулинов ($r = 0,90-0,93$), а также тесная отрицательная корреляция с содержанием глютелинов ($r = -0,92...-0,97$). Полученные данные свидетельствуют, что по измерению количества в соке листьев овса аминокислот в фазе формирования первого стеблевого узла можно прогнозировать содержание указанных белковых фракций в созревших зерновках овса.

При дозах азота 60–120 кг/га в созревшем зерне овса возрастала активность всех изоферментов α -амилазы (кислых, нейтральных, щелочных), а в зерне 7-суточных проростков – щелочных α -амилаз (табл. 5). В опыте 2022 г. в проросшем зерне овса в результате последовательного указанных доз азота снижалась активность кислых и нейтральных изоферментов α -амилазы, что связано с повышенным накоплением в зерне авенинов, которые ухудшали растворимость эндосперма и таким образом ослабляли действие ферментов на крахмал. Повышенная доза азота (150 кг/га) увеличивала активность щелочных

α -амилаз в созревшем зерне и нейтральных в проросшем. Под влиянием азотной подкормки в созревших зерновках овса возрастала активность всех изоферментов α -амилазы, а в зерне проростков – щелочных изоформ этого фермента.

5. Активность изоферментов α - и β -амилазы в зерне овса, мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сух. массы

Режимы питания растений	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	pH 5,5	pH 7,0	pH 8,0	pH 5,5	pH 7,0	pH 8,0
2021 г.						
α-амилаза						
P ₆₀ K ₆₀	2,8	2,7	1,4	353	265	111
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,9	4,2	2,1	385	303	169
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	6,8	5,5	2,9	419	310	187
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	10,1	7,7	3,6	481	367	257
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	9,0	7,3	4,6	484	395	296
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	7,9	5,1	3,0	425	311	220
HCP ₀₅	0,3	0,2	0,1	15	13	7
β-амилаза						
P ₆₀ K ₆₀	13,7	10,7	5,9	151	93	45
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	15,3	11,6	6,7	150	90	56
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	17,6	12,8	6,1	125	73	56
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	18,7	15,7	6,3	99	60	56
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	19,0	14,2	7,9	85	54	44
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	16,9	10,8	6,3	149	88	59
HCP ₀₅	0,6	0,4	0,1	12	8	3
2022 г.						
α-амилаза						
P ₆₀ K ₆₀	8,6	6,8	4,0	549	396	183
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,6	12,4	6,3	529	395	233
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	22,3	19,8	11,6	526	325	229
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	29,5	23,6	11,4	494	354	283
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	31,0	24,3	15,4	482	376	285
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	21,9	17,7	8,9	542	346	286
HCP ₀₅	1,1	0,7	0,4	27	17	11
β-амилаза						
P ₆₀ K ₆₀	44,9	36,4	19,9	120	80	31
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	48,0	37,1	23,1	183	133	72
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	51,9	40,1	21,5	194	189	101
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	60,9	52,6	20,3	278	216	137
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	55,0	43,2	26,1	271	219	174
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	53,5	35,0	23,0	221	192	88
HCP ₀₅	1,7	1,2	0,8	17	12	7

В вариантах с дозами азота 60–120 кг/га в созревшем зерне овса была повышена активность кислых, а в проросшем – щелочных β -амилаз. Под воздействием более высокой дозы азота (150 кг/га) в созревших зерновках овса возрастала активность щелочных β -амилаз. Азотная подкормка в фазе начала выметывания метелок в созревшем зерне повышала активность кислых, но снижала нейтральных β -амилаз, а в зерне проростков увеличивала активность щелочных β -амилаз.

Повышение активности α - и β -амилаз в проросшем зерне овса ускоряло мобилизацию в нем запасного крахмала для развития проростков и, следовательно, улучшало семенные качества зерна. Возрастание активности этих ферментов в зерне овса под влиянием азотного удобрения было связано с тем, что при усилении азотного питания растений происходило снижение в зерновках концентрации водорастворимых белков и содержащихся в этой фракции белковых ингибиторов амилаз. В результате этого меньше таких ферментов связывалось ингибиторами в неактивные комплексы и больше оставалось в свободной форме. Снижение концентрации β -амилаз в проросшем зерне овса, полученном в опыте

2021 г. в результате последствия внесенного азота, было связано с повышенной концентрацией в созревших зерновках глютелинов, которые связывали больше β -амилаз в неактивные комплексы, поэтому ферментные молекулы медленней переходили в свободное состояние при их прорастании.

На активность амилаз заметное влияние оказали гидро-термические условия во время созревания зерна. В 2022 г. в период налива зерна овса выпало значительно больше осадков по сравнению с 2021 г. Это затягивало процесс созревания зерна и связывания амилаз белковыми ингибиторами в неактивные комплексы, поэтому в опыте 2022 г. отмечалась более высокая активность этих ферментов в созревшем и проросшем зерне. Под воздействием возрастающих доз азота до 120 кг/га в созревшем и проросшем зерне овса увеличивалась активность всех изоферментов каталазы, а при более высокой дозе азота (150 кг/га) устойчивых изменений активности указанных изоферментов в опытах двух лет не выявлено (табл. 6).

6. Активность каталаз и пероксидаз в зерне овса, мккат в расчете на 1 г сухой массы

Вариант	Созревшее зерно			Зерно 7-суточных проростков		
	pH 5,5	pH 7,0	pH 8,0	pH 5,5	pH 7,0	pH 8,0
<i>2021 г.</i>						
<i>Каталазы</i>						
P ₆₀ K ₆₀	0,28	1,18	1,28	0,32	1,23	1,27
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,34	1,25	1,33	0,45	1,33	1,38
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,36	1,26	1,33	0,47	1,34	1,39
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,44	1,32	1,37	0,72	1,40	1,49
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,46	1,34	1,39	0,80	1,41	1,51
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	0,38	1,36	1,32	0,50	1,41	1,46
HCP ₀₅	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
<i>Пероксидазы</i>						
P ₆₀ K ₆₀	0,36	2,99	4,58	1,64	4,31	7,18
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,53	3,76	5,44	2,54	4,96	8,57
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,55	3,85	5,64	2,61	4,91	8,48
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,79	4,09	5,93	2,85	5,56	9,68
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,84	4,19	6,21	3,12	5,65	10,10
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	0,65	3,64	5,80	2,80	5,21	9,41
HCP ₀₅	0,06	0,12	0,22	0,08	0,13	0,14
<i>2022 г.</i>						
<i>Каталазы</i>						
P ₆₀ K ₆₀	0,28	1,02	1,11	0,33	1,17	1,15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,30	1,14	1,17	0,42	1,24	1,35
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,33	1,17	1,31	0,47	1,31	1,50
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,34	1,22	1,49	0,71	1,48	1,58
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,35	1,32	1,48	0,66	1,45	1,54
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	0,34	1,18	1,35	0,59	1,46	1,52
HCP ₀₅	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04
<i>Пероксидазы</i>						
P ₆₀ K ₆₀	0,35	2,48	3,88	1,54	3,32	6,20
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,43	2,81	4,88	1,93	3,65	6,70
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,58	3,51	5,54	2,32	4,60	6,85
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,63	4,29	5,91	2,45	4,95	7,25
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,67	4,64	5,98	2,75	4,71	7,98
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +N ₆₀ подкормка	0,52	2,84	5,32	2,23	3,74	6,54
HCP ₀₅	0,05	0,10	0,20	0,13	0,18	0,27

При проведении азотной подкормки в начале выметывания метелок повышалась активность всех изоферментов каталазы как в созревшем, так и проросшем зерне.

Под влиянием доз азота 60-120 кг/га в созревшем и проросшем зерне овса повышалась активность всех изоферментов пероксидазы, а при увеличении дозы азота до 150 кг/га возрастала активность кислых и щелочных пе-

роксидаз в зерне 7-суточных проростков. Под воздействием азотной подкормки в начале выметывания метелок повышалась активность кислых и щелочных пероксидаз в созревшем зерне и кислых изоформ пероксидазы в зерне проростков. Известно, что повышение активности каталазы и пероксидаз в прорастающем зерне является показателем усиления защиты от пероксидного окисления [13].

В ходе проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции активности амилаз, каталаз и пероксидаз в созревшем и проросшем зерне овса с содержанием в соке листьев аминокислот (табл. 7). Выявлена тесная отрицательная корреляция концентрации аминокислот в соке листьев с активностью кислых, нейтральных, щелочных α -амилаз ($r = -0,89 \dots -0,99$) в созревшем зерне овса и нейтральных β -амилаз ($r = -0,94 \dots -0,96$) в зерне 7-суточных проростков. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования активности указанных ферментов в созревшем и прорастающем зерне овса и способности зерновок к прорастанию на основе измерения концентрации в соке листьев свободных аминокислот. Следует также отметить, что в проросшем зерне овса варианта N₁₂₀P₆₀K₆₀ по сравнению вариантом, в котором была проведена азотная подкормка, возросла активность нейтральных β -амилаз, кислых и щелочных каталаз, нейтральных и щелочных пероксидаз, в результате чего повышалась способность зерновок к прорастанию. Поэтому для получения семенного зерна овса более эффективно применение повышенной дозы азота до посева, чем поздней азотной подкормки.

7. Коэффициенты корреляции между содержанием аминокислот в соке листьев и активностью амилаз, каталаз, пероксидаз в зерне овса

Коррелирующий показатель	Созревшее зерно		Зерно 7-суточных проростков	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Кислые α -амилазы (pH 5,5)	-0,90	-0,94	-0,90	0,86
Кислые β -амилазы (pH 5,5)	-0,96	-0,75	0,89	-0,85
Кислые каталазы (pH 5,5)	-0,85	-0,98	-0,81	-0,80
Кислые пероксидазы (pH 5,5)	-0,82	-0,97	-0,80	-0,98
Нейтральные α -амилазы (pH 7)	-0,90	-0,96	-0,82	0,65
Нейтральные β -амилазы (pH 7)	-0,86	-0,56	-0,94	-0,96
Нейтральные каталазы (pH 7)	-0,82	-0,94	-0,85	-0,85
Нейтральные пероксидазы (pH 7)	-0,81	-0,92	-0,79	-0,92
Щелочные α -амилазы (pH 8)	-0,89	-0,99	-0,84	-0,62
Щелочные β -амилазы (pH 8)	-0,38	-0,60	-0,20	-0,94
Щелочные каталазы (pH 8)	-0,75	-0,89	-0,80	-0,92
Щелочные пероксидазы (pH 8)	-0,84	-0,95	-0,79	-0,92

Корреляция достоверна с вероятностью 95 % при $r \geq |0,88|$

Заключение. В полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве установлено, что под воздействием возрастающих доз вносимого азота в соке листьев овса в фазе образования первого стеблевого узла понижалась концентрация аминокислот, которые вследствие активизации ростовых процессов более интенсивно включались в синтез белков и других азотистых веществ. Между дозами азота и концентрацией в соке листьев аминокислот выявлена тесная отрицательная корреляция, которая показывает возможность оценки уровня азотного питания растений овса по содержанию в соке листьев аминокислот.

При увеличении доз азотного питания до 120 кг/га повышались зерновая продуктивность растений овса и содержание в зерне белков на 1,7–1,8 % за счет усиления синтеза авенинов и глютелинов, тогда как концентрация

глобулинов, водорастворимых и неэкстрагируемых белков снижалась. Под влиянием вносимого азота в созревших зерновках овса повышалась активность всех изоферментов α - и β -амилазы, каталазы и пероксидазы, а в зерне 7-суточных проростков возрастала активность щелочных α - и β -амилаз, а также всех изоферментов каталазы и пероксидазы, вследствие чего повышалась способность зерновок к прорастанию.

Корневая азотная подкормка в начале выметывания метелок повышала содержание белков в зерне овса на 0,5–0,6 %, при этом в созревших зерновках возрастала доля глютелинов и снижалась концентрация водорастворимых белков, повышалась активность всех изоферментов α -амилазы и каталазы, кислых β -амилаз, кислых и щелочных пероксидаз. Однако для повышения зерновой продуктивности растений овса, белковистости зерна, способности зерна к прорастанию более эффективным было допосевное внесение повышенной дозы азота.

В ходе проведенных исследований выявлены тесная положительная корреляция концентрации в соке листьев аминокислот в фазе формирования первого стеблевого узла с содержанием в созревшем зерне овса водорастворимых белков и глобулинов и тесная отрицательная корреляция с содержанием глютелинов и активностью всех изоферментов α -амилазы, а в проросшем зерне – активностью нейтральных β -амилаз. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования указанных показателей по содержанию в соке листьев аминокислот.

Литература

1. Завалин А.А., Потапов В.И. Формирование урожая и качества зерна ячменя и овса в зависимости от доз и сроков внесения азота // *Агрохимия*. – 1996. – № 11. – С. 20–26.

2. Каскарбаев Ж.А., Салаченок Е.П. Формирование продуктивности посевов овса в зависимости от сорта, срока посева и удобрений // *Зерновое хозяйство*. – 2001. – № 1. – С. 33–34.
3. Braziene Z. Spring wheat yield and productivity components as affected by nitrogen fertilization and weather conditions // *Zemdirbyste / Lietuvos zemes ukio univ. Akademija*, 2007, vol. 94, № 1. – p. 89–99.
4. Баталова Г.А. Формирования урожая и качества зерна овса // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 11. – С. 10–13.
5. Новиков Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства. – М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 194 с.
6. Соколов О. А. Физиолого-биохимические основы азотного питания растений // *Бюллетень ВНИИА*. – 2001. – № 115. – С. 104–106.
7. Ермохин Ю.И. Экспресс-методы химической диагностики потребности сельскохозяйственных культур в удобрениях. – Омск: Вариант-Омск, 2010. – 120 с.
8. Новиков Н.Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы // *Известия ТСХА*. – 2017. – № 5. – С. 29–40.
9. Церлинг В.В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур. – М.: Колос, 1980. – 135 с.
10. Novikov N.N., Zharikhina A.A. Protein composition and grain quality of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the level of nitrogen nutrition and phytohormones use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil // *Izvestiya TSKhA*, 2013, special issue. – p. 142–152.
11. Новиков, Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фитогормонов при выращивании на дерново-подзолистой почве // *Агрохимия*. – 2019. – №2. – С. 43–51.
12. 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. – № 1. – С. 29–41.
13. Новиков Н.Н. Биохимия растений. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 680 с.
14. Новиков, Н.Н., Таразанова Т.В. Лабораторный практикум по биохимии растений. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. – 97 с.
15. Новиков, Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // *Известия ТСХА*. – 2016. – № 3. – С. 36–46.

FORMATION OF YIELD AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF OAT GRAIN QUALITY DEPENDING ON THE LEVEL OF NITROGEN NUTRITION OF PLANTS WHEN GROWN ON SOD-PODZOLIC SOIL

*N.N. Novikov, Doctor of Biological Sciences, A.N. Naliuhin, Doctor of Agricultural Sciences, A.A. Sokolov
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550, Russia, E-mail: tshanovikov@gmail.com*

In field experiments on sod-podzolic medium loamy soil, it was found that with an increase in nitrogen doses up to 120 kg/ha, the oats yield and the content of proteins in the grain was getting higher (by 1.7–1.8%) due to enhanced synthesis of avenins and glutelins and the activity of all isoenzymes of α - and β -amylase, catalase and peroxidase in ripe grains, as well as the activity of alkaline α - and β -amylases, all catalase and peroxidase isoenzymes in the sprouted grain became higher, as a result of which the seed qualities of the grain improved. Under the influence of increasing doses of nitrogen in the juice of oat leaves in the phase of the first stem node formation, the content of amino acids decreased, which closely correlated with nitrogen doses. A close correlation was also revealed between the concentration of amino acids in leaf juice and the content of water-soluble proteins, globulins and glutelins, the activity of all α -amylase isoenzymes in the ripened grain and the activity of neutral β -amylases in the seedling grain. The obtained research results show the possibility of assessing the level of nitrogen nutrition of oat plants and predicting the composition of proteins, the activity of specified enzymes in the grain by the content of amino acids in the leaf juice.

Keywords: oats, nitrogen nutrition, amino acid content in leaf juice, grain proteins, activity of amylases, catalases, peroxidases.