

УДК 633.11.004.12 321:631.811.1

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПШЕНИЦЫ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Н.Н. НОВИКОВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В опытах с озимой и яровой формами мягкой пшеницы, проведенных на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах, выяснено, что высококачественное зерно может быть получено при внесении доз азота не менее 150—160 кг/га в сочетании с поздней некорневой азотной подкормкой. Под влиянием азотных удобрений, вносимых до посева, в зерновках повышается активность гидролитических ферментов, в результате чего происходит ослабление клейковины и ухудшение свойств муки и теста. Некорневая азотная подкормка пшеницы в фазу начала формирования зерна улучшает указанные технологические показатели. В ходе электрофоретических исследований полипептидного состава водо- и солерастворимых белков зерна выявлена связь определённых полипептидных компонентов этих белков с урожайностью пшеницы и технологическими свойствами зерна.

Ключевые слова: пшеница, технологические свойства зерна, клейковинные белки, оптимизация азотного питания, активность амилаз, полипептидный состав белков.

Главными факторами снижения качества зерна пшеницы при её выращивании в Нечернозёмной зоне являются неблагоприятный гидротермический режим во время созревания зерна и несбалансированное питание растений. Поэтому для получения высококачественного зерна в условиях этой зоны необходима разработка приёмов и способов оптимизации его качественных и технологических показателей с учётом климатических особенностей, свойств почвы и обеспеченности растений элементами питания.

При влажной и прохладной погоде формируется зерно с пониженной натурой и стекловидностью, низким содержанием и качеством клейкови-

ны, при этом возможно «стекание» и скрытое прорастание зерна. Однако и слишком высокие температуры в период налива зерновок пшеницы инициируют раннее прекращение оттока веществ из листьев, что может стать причиной их щуплости и ухудшения технологических свойств [1, 4, 5, 6, 10, 14, 15].

Во многих опытах по изучению действия удобрений на урожайность и качество зерна хлебопекарной пшеницы выяснено, что для формирования высококачественного зерна с повышенным накоплением клейковинных белков необходимо обеспечивать такой режим питания растений, при котором достигается оптимальное соотношение азота, фосфора и калия.

При дефиците азота снижается как продуктивность растений, так и накопление в зерновках запасных белков. При избыточных дозах азота, вносимых до посева, происходит угнетение роста проростков на ранних стадиях их развития, что приводит к снижению урожайности пшеницы, тогда как белковость зерна повышается [7, 8, 9, 11, 12, 18, 19].

В задачи наших исследований входило изучение действия факторов внешней среды и уровня питания растений на накопление белков и клейковины в зерновках мягкой пшеницы, формирование питательных и технологических свойств зерна, а также выяснение возможности оптимизации азотного питания растений пшеницы с целью усиления синтеза запасных белков.

Объекты и методы исследований

Полевые опыты с сортами и сортообразцами яровой и озимой форм мягкой пшеницы проводились на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах Московской обл.: в учхозе МСХА имени К.А. Тимирязева «Михайловское», на Полевой опытной станции РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Вегетационные опыты выполняли в вегетационном домике кафедры агрономической и биологической химии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.

Интенсивность синтеза белков в зерне пшеницы изучали с использованием мочевины, меченной ^{15}N , которую применяли в виде некорневой подкормки. Оценку технологических показателей зерна проводили стандартными методами [2]. Состав белков изучали путём применения экстракции, гельхроматографии и электрофореза в полиакриламидном геле по общепринятым методикам [13], а также в модификациях, разработанных автором [9]. Активность амилолитических ферментов определяли методом йод-крахмальной пробы [13]. Субъ-

единичный состав белков зерна пшеницы определяли электрофорезом в полиакриламидном геле с использованием в качестве диссоциирующих агентов додецилсульфата натрия (SDS) и (3-меркаптоэтанол) [17].

Для диагностики азотного питания растений в соке стеблевых срезов пшеницы определяли содержание нитратов по [16], а в соке листьев — концентрацию свободных аминокислот в модификации, разработанной автором [9]. Статистическую обработку экспериментального материала выполняли по Б.А. Доспехову [3] и с использованием компьютерных программ в модификации информационно-вычислительного центра РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.

Результаты исследований

В опытах с яровой мягкой пшеницей установлено, что в процессе роста и развития растений пшеницы между азотом, с одной стороны, и фосфором и калием — с другой, происходит определённое взаимодействие, которое оказывает заметное влияние на формирование урожая и белковость зерна. В связи с тем, что азот используется растениями как на образование их структурных элементов, так и синтез запасных белков, при его недостатке снижались и урожайность пшеницы, и накопление в зерне белков, тогда как при дефиците фосфора или калия снижался урожай, а концентрация в зерновках азотистых веществ, как правило, возрастала (табл. 1).

При внесении невысокой дозы азота (N_j) усиливались ростовые процессы и повышалась как урожайность пшеницы, так и белковость зерна. Последующее увеличение дозы азота (N_2) существенно не влияло на урожайность пшеницы, но способствовало повышению белковости зерна.

В полевом опыте показано, что при внесении возрастающих доз азота

**Урожайность и белковость зерна яровой мягкой пшеницы
в зависимости от условий питания (вегетационный опыт)**

Вариант	Московская 35		Саратовская 29	
	урожай зерна, г/сосуд	содержание в зерне белков, %	урожай зерна, г/сосуд	содержание в зерне белков, %
Без удобрений	15,0	10,8	13,9	10,5
PK	17,1	10,0	16,8	10,3
N ₁ K	13,3	14,8	13,5	13,2
N ₁ P	24,8	12,9	27,9	12,5
N ₁ PK	32,5	12,3	31,8	12,2
N ₂ PK	32,7	14,0	33,4	13,2
HCP ₀₅	1,7	0,5	1,7	0,5

* N₁ — 0,7, N₂ — 1,5 г/сосуд.

урожайность яровой мягкой пшеницы сорта Московская 35 повышалась до определённого уровня, обусловленного режимом фосфорно-калийного питания. Дальнейшее увеличение дозы азота на 30~40 кг/га не оказывало существенного влияния на урожай-

ность культуры, но повышало белковость зерна (рис. 1).

Для повышения белковости зерна разработаны приёмы проведения некорневых азотных подкормок в поздние фазы развития пшеницы (после цветения — в фазу начала форми-

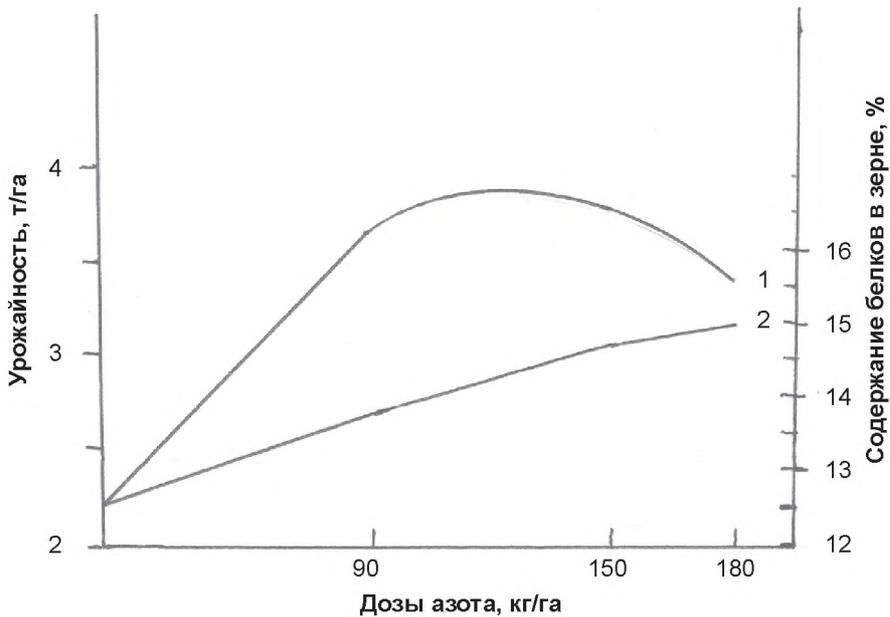


Рис. 1. Изменение урожайности и белковости зерна пшеницы в зависимости от уровня азотного питания (сорт Московская 35): 1 — изменение урожайности; 2 — содержание в зерне белков

рования зерна). Нами выполнены исследования по выяснению эффективности использования азота поздней некорневой азотной подкормки на синтез запасных белков зерна у различных сортов мягкой пшеницы.

В опытах с применением мочевины, меченной ^{15}N , показано, что растения мягкой пшеницы используют на синтез белков в зерне 20~30% азота некорневой подкормки, проведенной

в фазу начала формирования зерна (через неделю после цветения). Уже через 5 дней после проведения подкормки раствором мочевины, меченной ^{15}N , включалось в синтез белков 75% азота подкормки, поступавшего в зерно, а к фазе полной спелости зерна — 95%. В зрелом зерне азот подкормки составлял 8-13% от общего азота зерна, а в пересчете на азот белков — в среднем 10% (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Включение меченого ^{15}N азота некорневой подкормки в азотистые вещества зерна пшеницы

Фаза созревания зерна	Мионовская 808	ППГ 347	ПППГ 79
Формирование зерна	75/15,8	74/16,0	74/19,9
Молочная спелость	86/13,5	84/15,1	83/13,6
Молочно-восковая спелость	90/11,0	90/12,0	85/14,8
Полная спелость	95/8,8	95/9,8	95/13,6

П р и м е ч а н и е . В числителе — азот подкормки, включившийся в белки, % от поступившего азота; в знаменателе — азот подкормки, поступивший в зерно, % от общего азота зерна.

О действии поздней некорневой азотной подкормки на качество зерна яровой мягкой пшеницы свидетельствуют результаты полевого опыта, проведенного на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со средней обеспеченностью элементами питания (табл. 3). В этом опыте допосевное внесение возрастающих доз азота (до 180 кг/га) не обеспечивало получения высококачественного зерна, отвечающего требованиям, предъявляемым к

сильной пшенице. Высококачественное зерно с содержанием сырой клейковины около 30% первой группы качества (ИДК=69) сформировалось лишь в варианте с некорневой азотной подкормкой, проведенной через неделю после цветения пшеницы на фоне допосевого внесения азота в дозе 150 кг/га.

В других полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с содержанием

Т а б л и ц а 3

Действие азотных удобрений на урожайность и качество зерна пшеницы сорта Московская 35 (полевой опыт 1985 г.)

Вариант*	Урожайность, т/га	Белок, %	Сырая клейковина, %	ИДК, ст.ед	Категория качества зерна
$\text{P}_{90}\text{K}_{90}$	2,16	12,4	19,7	101	Слабая пшеница
$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$	3,64	13,8	23,4	89	Слабая пшеница
$\text{N}_{150}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$	3,91	14,6	25,7	81	Средняя пшеница
$\text{N}_{180}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$	3,42	14,9	26,1	82	Средняя пшеница
$\text{N}_{150}\text{P}_{90}\text{K}_{90} + \text{N}_{40}$ в виде некорневой подкормки	4,07	16,2	29,7	69	Сильная пшеница
HCP_{05}	0,21	0,5	1,5	5	—

* П р и м е ч а н и е . Дозы удобрений в кг действующего вещества на 1 га.

гумуса 2,1~2,8% и средним уровнем обеспеченности доступными для растений формами элементов питания, было показано, что в результате улучшения азотного питания белковость зерна яровой мягкой пшеницы возрастала в среднем на 3—3,6%, урожайность — на 40-50%, содержание сырой клейковины — на 7-7,3%, при этом также существенно улучшалась седиментационная характеристика муки (табл. 4). В более влажных условиях 1991 г. под влиянием возрастающих доз азотных удобрений отмечалась тенденция ослабления клейковины (увеличение ИДК).

Накопление белков в зерне озимой мягкой пшеницы вследствие более продолжительного вегетационного периода в большей степени зависит от погодных условий. В полевых опытах 1978-1979 гг. показано, что при повышении влажности в первой половине вегетации растений (гидротермический коэффициент за период апрель - июнь свыше 10) возрастали потребление азота на ростовые процессы и его потери за счёт вымывания, вследствие чего в репродуктивный период их развития складывался неблагоприятный режим азотного питания и при таких условиях содержание в зерне белков даже на фоне внесения азотных удобрений не превышало 12-13%. Однако в условиях, когда гидротермический коэффициент за указанный период понижался

до 6~7, концентрация в зерновках белков при тех же дозах азота повышалась на 2~5% и достигала уровня 15-17% (табл. 5).

Под воздействием азотных удобрений, вносимых до посева, у сортов мягкой пшеницы существенно возрастает объём хлеба, но возможно ухудшение свойств муки и теста (снижение водопоглотительной способности муки, времени образования, сопротивляемости и устойчивости теста). Однако эти показатели существенно улучшаются при проведении поздней некорневой азотной подкормки (табл. 6).

Статистический анализ показывает, что изменение водопоглотительной способности муки, времени образования и сопротивляемости теста не связано с количеством и качеством клейковины, а показатель устойчивости теста в определённой степени зависит от состава спирторастворимых белков и свойств клейковины. Выяснено, что устойчивость теста имеет довольно выраженную тенденцию к возрастанию при повышении упругости клейковины (уменьшение ИДК) и снижении концентрации спирторастворимого глютенина (табл. 7). Полученные данные свидетельствуют о том, что снижение устойчивости теста в вариантах с допосевным внесением азотных удобрений в определённой степени связано с увеличением в зерновках содержания спиртораств-

Т а б л и ц а 4

Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы
(в среднем по сортам: Московская 35, Родина, Приокская, Энита, Люба, Саратовская 29)

Показатель	$P_{90}K_{90}^*$ (фон)	Фон+N ₈₀	Фон+N ₁₈₀	Фон+N ₁₈₀ +N ₄₀ нек. подк.
Урожай зерна, т/га	3,2/3,2	4,4/4,3	4,8/4,8	4,8/4,7
Содержание в зерне белков, %	12,2/12,4	13,1/13,4	14,1/14,6	15,5/16,0
Сырая клейковина, %	24,7/25,3	26,5/27,2	28,6/29,6	31,7/32,6
ИДК, ст. ед.	77/75	75/83	78/84	79/83
Показатель седиментации муки, мл	4,7/6,8	6,2/8,6	6,8/9,7	6,3/10,2
Удельная седиментация, мл на 100 мг белка	7,6/11,0	9,4/12,8	9,6/13,4	8,2/12,6

П р и м е ч а н и е . В числителе — 1990 г., в знаменателе — 1991 г. *Дозы удобрений в кг действующего вещества на 1 га.

Урожайность и белковость зерна озимой мягкой пшеницы

Вариант	Гидротермический коэффициент*			
	за апрель – июнь — 15,3		за апрель – июнь — 5,6	
	Мироновск. 808	ППГ 347	Мироновск. 808	ППГ 347
$P_{90}K_{90}$	10,5/2,6	12,1/2,7	13,7/3,7	14,2/4,6
$N_{90}P_{90}K_{90}$ **	12,1/4,0	13,0/4,4	15,2/4,0	15,2/4,9
$N_{140}P_{90}K_{90}$ ***	12,8/4,9	12,0/5,1	15,4/4,2	16,0/5,2
$N_{140}P_{90}K_{90}+N_{40}$. Некорневая подкормка	14,5/4,9	13,7/5,1	16,1/4,2	16,5/5,1
HCP_{05}	0,5/0,17		0,5/0,27	

Примечание. В числителе — содержание белков, %; в знаменателе — урожай зерна, т/га.

* Гидротермический коэффициент — отношение суммы осадков за конкретный период вегетации растений к среднесуточной температуре. ** N_{40} осенью + N_{50} весной; *** N_{40} осенью + N_{100} весной.

Таблица 6

Технологические свойства муки из зерна мягкой пшеницы, выращенной при разных режимах азотного питания (сорт Родина, полевой опыт 1983 г.)

Вариант	Объем хлеба, мл	Водопогло- тельная способность муки, %	Время об- разова- ния теста, мин	Сопротив- ляемость теста, мин	Устойчи- вость теста, мин
$P_{90}K_{90}$	630	65,4	4,5	5,5	1,0
$N_{90}P_{90}K_{90}$	670	63,5	4,3	4,6	0,3
$N_{150}P_{90}K_{90}$	700	63,1	3,3	4,1	0,8
$N_{150}P_{90}K_{90}+N_{30}$. Некорневая подкормка	825	65,5	5,3	6,6	1,3
HCP_{05}	25	1,0	0,5	0,5	0,3

Таблица 7

Изменение состава спирторастворимых белков зерна пшеницы и свойств клейковины в зависимости от режима азотного питания (сорт Саратовская 29, полевой опыт 1983 г.)

Вариант	Спирторастворимый глютенин	Глиадин	ИДК
$P_{90}K_{90}$	38	62	38
$N_{90}P_{90}K_{90}$	47	58	58
$N_{150}P_{90}K_{90}$	46	54	50
$N_{150}P_{90}K_{90}+N_{30}$. Некорневая подкормка	34	66	35

воримого глютеина, вызывающего ослабление клейковины.

Как показывают опыты, снижение водопоглощительной способности муки, времени образования, сопротивляемости и устойчивости теста в вариантах с внесением азотных удобрений может быть связано с повышением активности гидролитических

ферментов, ухудшающих свойства белково-углеводного комплекса зерна и муки.

При изучении амилолитических ферментов зерна пшеницы выяснено, что усиление азотного питания растений способствует росту активности а-амилаз (табл. 8), которая зависит от концентрации водорастворимых

**Активность α -амилаз в зерне озимой мягкой пшеницы
в зависимости от режима азотного питания**

Сорт пшеницы	PK	NPK*	NPK + некорневая подкормка
ППГ 347	3,0/12,7	3,8/14,6	1,2/4,5
ППГ 186	3,6/13,0	6,6/29,7	2,4/7,2
Мионовская 808	5,8/21,6	8,2/32,0	4,6/14,9

HCP₀₅

0,6

Примечание. Числитель — мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 мг белка, знаменатель — % от общей амилазной активности.

* Доза азота 1,4 г/сосуд, при некорневой подкормке — 0,3 г/сосуд.

белков, имеющих в своём составе ингибиторы амилолитических ферментов. Под действием азотных удобрений в зерновках пшеницы снижается содержание водорастворимых белков, в т.ч. и белков-ингибиторов, в связи с чем меньше ферментных белков связывается ингибиторами в неактивные комплексы и больше остаётся каталитически активных свободных форм α -амилаз.

В отличие от действия азотных удобрений, вносимых до посева пшеницы, поздняя некорневая азотная подкормка вызывает определённые сдвиги в ходе физиолого-биохимических процессов в растениях и зерновках, при которых уровень α -амилазной активности в созревающем зерне существенно понижается, вследствие чего улучшаются хлебопекарные показатели пшеницы.

В результате электрофоретических исследований ферментных белков установлено, что повышение активности α -амилаз в зрелом зерне пшеницы, вызванное внесением азотных удобрений, при относительно сухой погоде в период созревания зерновок (гидротермический коэффициент не более 4) обусловлено α -амилазами «созревания», которые не полностью переходят в связанную форму (рис. 2). Сопоставление электрофореграмм изоферментных спектров зрелого и прорастающего зерна показывает, что высокий уровень α -амилазной



Рис. 2. Электрофореграммы изоферментов α -амилазы пшеницы: 1 — созревающее зерно в фазе молочно-восковой спелости; 2 — зрелое зерно, сформировавшееся при сухой погоде; 3 — зрелое зерно, сформировавшееся при влажной погоде; 4 — зерно трёхсуточных проростков. Стрелкой показано направление движения молекул изоферментов при электрофорезе, справа дана шкала относительной электрофоретической подвижности белковых компонентов

активности в зерновках, сформировавшихся во влажных условиях, в значительной степени связан с фер-

ментными белками, которые идентифицированы в прорастающем зерне. Следовательно, при влажной погоде начинается процесс скрытого прорастания зерна и более интенсивно он проходит в вариантах с высоким уровнем азотного питания.

В связи с тем, что азоту принадлежит ведущая роль в формировании величины и качества урожая пшеницы, разрабатываются быстрые методы диагностики азотного питания на ранних стадиях развития растений по концентрации и интенсивности обмена азотистых веществ в вегетирующих органах. Учитывая, что более 90% общего органического азота растений приходится на долю белков и аминокислот, нами предложен новый способ диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы, основанный на определении в соке листьев концентрации свободных аминокислот.

При ухудшении азотного питания в растениях ослабляются ростовые процессы и, прежде всего, рост клеток растяжением, в результате ингибируется синтез структурных белков и возрастает концентрация растворённых в клеточном соке свободных аминокислот. Улучшение азотного питания стимулирует ростовые процессы и связанный с ними синтез структурных белков, вследствие чего возрастает объём клеток и снижается концентрация веществ в клеточном соке. Таким образом, при улучшении питания растений азотом в растительном соке снижается концентрация свободных аминокислот, а при недостатке азота — повышается.

Нами проводилось измерение в соке листьев концентрации тирозина и цистеина (окрашивание по Лоури). Выяснено, что в качестве индикаторного органа лучше использовать второй верхний лист, взятый с главного побега, в котором уже стабилизировались биохимические процессы, а диагностирование проводить в фазу

образования первого или второго стеблевых узлов.

В опытах с различными сортами мягкой пшеницы было установлено [6], что концентрация аминокислот в соке листьев довольно хорошо коррелирует с дозой внесённого азота ($r = -0,75-0,95$), а также уровнем урожайности ($r = -0,70-0,96$) и содержанием в зерне белков и клейковины ($r = -0,70-0,90$). Для сравнения в качестве контроля в проведенных опытах определялась также концентрация нитратов в соке стеблевых срезов по В.В. Церлинг (стандартный метод).

При сопоставлении полученных данных выявлено, что уровень корреляции по аминокислотам существенно выше, чем по нитратам. В одном из опытов (табл. 9) коэффициенты корреляции, выражающие связь концентрации аминокислот в соке листьев с дозой внесённого азота, величиной урожая и содержанием в зерне клейковины, были соответственно равны $-0,94$, $-0,96$, $-0,87$ (отрицательная связь), а аналогичные показатели, рассчитанные по концентрации нитратов в соке стеблевых срезов, — $0,88$, $0,81$, $0,84$ (положительная связь). Неадекватные к дозе азота изменения концентрации нитратов в соке стеблевых срезов наблюдались в вариантах с несбалансированным питанием растений (NP и NK).

Важное направление улучшения технологических показателей и качества зерна пшеницы — создание новых высокопродуктивных сортов с улучшенными мукомольно-хлебопекарными свойствами. При этом весьма актуальной задачей является выяснение белковых маркеров пшеницы, с помощью которых возможен отбор генотипов, способных без снижения продуктивности формировать высококачественное зерно для пищевой переработки.

Нами были изучены мукомольно-хлебопекарные свойства и полипептидный состав белков генотипов ози-

Таблица 9

Содержание азотистых веществ в растениях пшеницы в зависимости от режима азотного питания (сорт Московская 35)*

Вариант	Концентрация аминокислот в соке листьев, ед. оптической плотности	Концентрация нитратов в соке стеблевых срезов, балл
Без удобрения	0,76	0,0
P ₉₀ K ₉₀	0,70	0,0
N ₉₀ K ₉₀	0,56	0,7
N ₉₀ P ₉₀	0,59	2,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,56	2,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + N ₆₀ в фазу кущения	0,54	5,7

* Диагностику проводили в фазу образования второго стеблевого узла.

Таблица 10

Физико-химические и хлебопекарные свойства зерна генотипов озимой мягкой пшеницы при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (в числителе — показатели 2000 г., в знаменателе — 2001 г.)

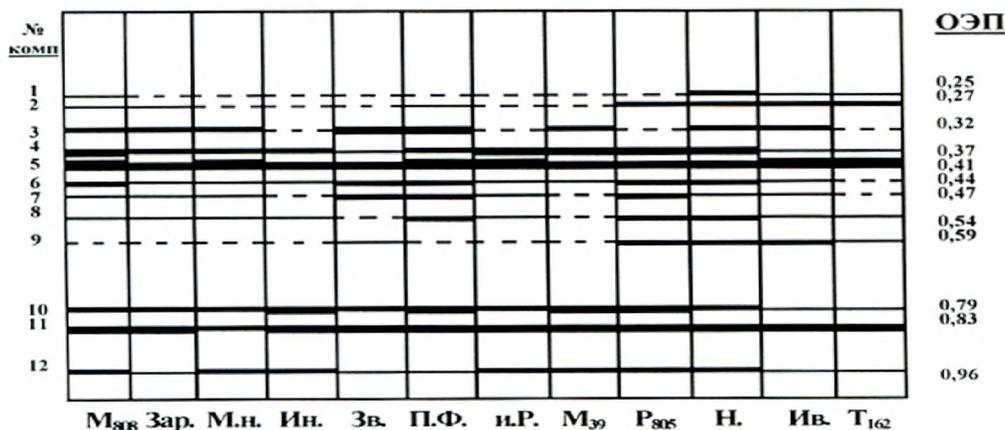
Сорт пшеницы	Урожайность, т/га	Натура, г/л	Стекло-видность, %	Клейковина, %	ИДК ст. ед.	Число падения, с	Объём хлеба из 100 г муки, мл
Заря	4,3/5,4	764/775	51/54	28,7/30,8	75/80	369/261	950/1030
Московская низко-стебельная	4,4/5,8	727/750	48/55	24,6/27,0	70/75	383/280	930/980
Инна	4,9/5,3	747/773	53/53	24,8/26,4	75/80	355/257	910/1000
Памяти Федина	4,4/5,7	728/769	48/53	25,5/28,2	75/85	379/360	880/960
Имени Рапопорта	4,3/5,1	772/780	51/55	25,8/26,6	75/85	365/283	960/1030
Московская 39	4,2/6,1	795/799	55/59	31,4/32,0	75/80	406/374	970/1060
Ранняя 805	4,3/4,3	791/782	50/55	26,0/26,2	70/75	270/210	1050/1110
Нана	3,7/3,8	786/729	49/55	26,3/27,0	50/90	328/155	960/1070
Тимирязевская 162	5,2/4,9	768/774	52/52	25,5/26,4	75/80	290/223	1010/1030
НСР ₀₅	0,44/0,40	5	5	2	5	31	19

мой мягкой пшеницы, выращенных на Полевой опытной станции РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева на выравненном агрофоне, который обеспечивал формирование урожая зерна 5-6 т/га (селекционные опыты А.А. Кондратьева).

В этих опытах на качество зерна в основном оказывали влияние особенности генотипов и гидротермические условия во время вегетации растений. Технологические свойства зерна сопоставляли с полипептидным составом водорастворимых и солерастворимых белков зерна, которые

разделяли методом электрофореза в полиакриламидном геле в щелочной буферной системе (рН 8,8) с использованием в качестве диссоциирующих агентов додецилсульфата натрия (SDS) и β-меркаптоэтанола. В ходе электрофореза была выполнена количественная оценка 12 полипептидных компонентов водорастворимых белков и 11 полипептидных компонентов солерастворимых белков (10%-й NaCl). Схемы их электрофореграмм и относительная электрофоретическая подвижность представлены на рисунке 3.

А



Б

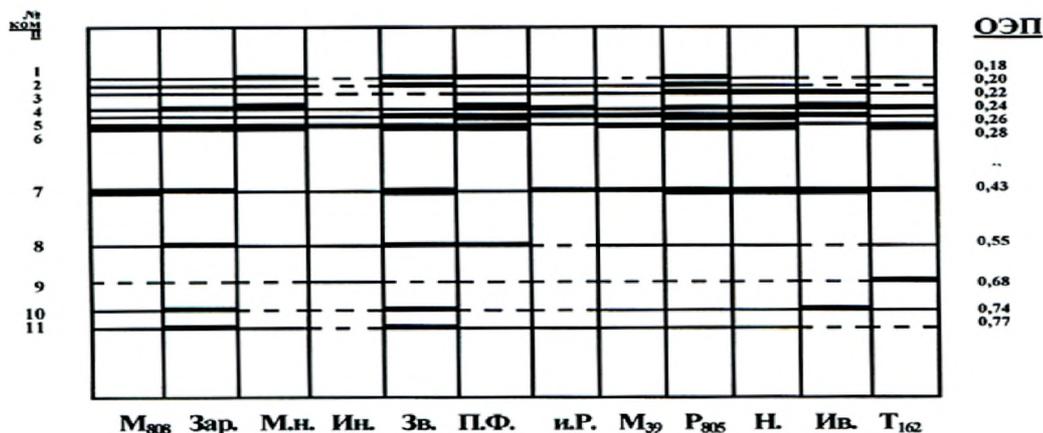


Рис. 3. Электрофореграммы полипептидных компонентов водорастворимых (А) и солерастворимых (Б) белков зерна пшеницы.

Сокращения: М₈₀₈ — Мироновская 808, Зар. — Заря, М.н. — Московская низкостебельная, Ин. — Инна, Зв. — Звезда, П.Ф. — Памяти Федина, и.Р. — имени Рапопорта, М₃₉ — Московская 39, Р₈₀₅ — Ранняя 805, Н. — Нана, Ив. — Ивона, Т₋₁₆₂ — Тимирязевская 162

Сравнение полученных электрофореграмм полипептидных компонентов водо- и солерастворимых белков зерна показывает, что сорта озимой мягкой пшеницы почти не различаются по набору полипептидных компонентов этих белков, однако у них очень сильно варьирует их соотноше-

ние и концентрация в зерне каждого полипептида. В связи с этим каждому генотипу пшеницы соответствует определённый тип электрофореграммы полипептидных компонентов водорастворимых и солерастворимых белков, что позволяет однозначно идентифицировать по результатам

электрофореза изучаемые сорта и со-
ртообразцы.

Сведения о технологических по-
казателях зерна озимой мягкой пше-
ницы даны в таблице 10, в которой
представлены физико-химические и
хлебопекарные показатели различ-
ных генотипов пшеницы. Для боль-
шинства изученных генотипов пше-
ницы показатель натуре, характе-
ризующий выполненность зерна, был
выше базисной нормы, что соответ-
ствует требованиям ГОСТ к сильной
пшенице. Показатель стекловидности
зерна у большинства сортов состав-
лял 48-59%, что отвечает требова-
ниям, предъявляемым к пшенице с
улучшенным качеством зерна. По на-
коплению клейковины и показателю
объемного выхода хлеба выделялись
сорта Московская 39, Заря, Нана,
Ранняя 805, Тимирязевская 162.

В связи с тем, что в 2001 г. на за-
вершающем этапе созревания зерна
была влажная погода, сформирова-
лись зерновки с повышенной актив-
ностью гидролитических фермен-
тов, вследствие чего наблюдалось
существенное понижение показателя

число падения и увеличение ИДК.
Вместе с тем показатель число па-
дения у некоторых сортов оставался
на высоком уровне (Московская 39,
Памяти Федина, Московская низко-
стебельная, имени Рапопорта), что
свидетельствует о возможно высокой
устойчивости этих генотипов к ини-
циации процессов прорастания зерна
в предуборочный период.

Путём сопоставления количествен-
ной выраженности на электрофоре-
граммах полипептидных компонентов
водорастворимых и солерастворимых
белков зерна у различных генотипов
пшеницы с показателями, характе-
ризующими технологические свойства
зерна, определены коэффициенты
корреляции. На основе статистической
оценки отобраны наиболее значащие
коэффициенты корреляции, которые
существенны при уровне вероятности
0,95 в каждом из проведенных опытов
(табл. 11).

Как видно из таблицы 11, компо-
нент 1 водорастворимых белков зерна
имеет связь с повышенной продуктив-
ностью растений пшеницы и хороши-
ми технологическими свойствами зер-

Таблица 11

**Коэффициенты корреляции между содержанием в зерне полипептидных компонентов
водо- и солерастворимых белков и технологическими свойствами зерна пшеницы**

Показатель	Номера электрофоретических компонентов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Водорастворимые белки</i>										
Урожайность	-0,66									-0,77
Стекловидность зерна								-0,69		
Число падения	-0,60							-0,69		
Объём хлеба									0,72	
<i>Солерастворимые белки</i>										
Урожайность			-0,62				-0,67			
Стекловидность зерна				-0,67						
Содержание клейковины										0,82
Качество клейковины (ИДК)			-0,64							
Число падения								-0,61		
Объём хлеба						0,89				0,67
Нижний порог достоверности $r \geq 0,58$										

на, которые определяются по числу падения. Компонент 8 водорастворимых белков количественно сопряжён с показателем стекловидности зерна и числом падения. Компонент 4 солерастворимых белков коррелирует со стекловидностью зерна, а компонент 9 — с числом падения. Компонент 10 солерастворимых белков имеет связь с содержанием клейковины и объёмом хлеба.

Указанные белковые компоненты по положительной или отрицательной связи могут быть использованы в качестве молекулярных маркёров при отборе генотипов пшеницы с улучшенными технологическими свойствами зерна.

Полипептидный компонент 9 водорастворимых белков зерна имеет отрицательную связь с урожайностью пшеницы и положительную связь с объёмом хлеба. При увеличении концентрации в зерне этого компонента снижается урожайность генотипа пшеницы, а при понижении его концентрации в зерне — уменьшается объём хлеба, что приводит к ухудшению хлебопекарных свойств зерна. Поэтому данный полипептидный компонент не может быть использован в качестве генетического маркёра технологических свойств зерна мягкой пшеницы.

Компонент 3 солерастворимых белков отрицательно коррелирует как с урожайностью пшеницы, так и показателем ИДК и поэтому не может использоваться в качестве белкового маркёра технологических свойств зерна. Если его концентрация в зерне возрастает, то снижается урожайность пшеницы, а если уменьшается, то возрастает показатель ИДК, что приводит к ухудшению качества клейковины.

Аналогичная ситуация наблюдается и с компонентом 7 солерастворимых белков, который отрицательно коррелирует с урожайностью пшеницы и положительно — с объёмом

хлеба. Поэтому при увеличении концентрации этого компонента в зерне снижается урожайность данного генотипа, а при уменьшении в зерне его концентрации понижается объём хлеба, что приводит к ухудшению хлебопекарных свойств зерна.

Выводы

1. При увеличении доз азота урожайность мягкой пшеницы повышается до определённого уровня, который определяется режимом фосфорно-калийного питания растений, в дальнейшем при возрастании дозы азота на 30-40 кг/га урожайность пшеницы не изменяется, но происходит усиление накопления в зерновках запасных белков.

2. В результате оптимизации азотного питания урожайность яровой мягкой пшеницы при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве повышается в среднем на 40~50%, содержание белков — на 3-3,6%, накопление клейковины — на 7-7,3%, при этом улучшается седиментационная характеристика муки и существенно увеличивается объём хлеба.

3. У озимой мягкой пшеницы при благоприятном гидротермическом режиме во время вегетации растений в результате улучшения азотного питания растений концентрация белковых веществ в зерне повышается на 2-5% и может достигать уровня 15-17%, что отвечает требованиям, предъявляемым к сильной пшенице.

4. Растения мягкой пшеницы используют на синтез азотистых веществ зерна 20-30% азота некорневой подкормки, проведенной через неделю после цветения, с участием которого образуется в среднем около 10% накапливающихся в зерне белков.

5. В результате проведения поздней некорневой азотной подкормки в зерновках пшеницы возрастает накопление глиадиновых белков и уменьшается концентрация спирторастворимого глютеина, снижается активность а-амилаз, вследствие чего повышается упругость клейковины и увеличивает-

ся объём хлеба, улучшаются свойства муки и теста.

6. При выращивании мягкой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, содержащей 2-3% гумуса, для получения высоких урожаев зерна (4-5 т/га) с уровнем накопления клейковины более 28% необходимо внесение фосфорно-калийных удобрений в расчёте на указанный уровень урожайности и доз азота не менее 150-160 кг/га с последующим проведением поздней некорневой азотной подкормки.

7. Снижение упругости клейковины, а также ухудшение свойств муки и теста под влиянием азотных удобрений происходит вследствие повышения в зерновках активности гидролитических ферментов и увеличения содержания спирторастворимого глютенина. При благоприятном гидротермическом режиме во время налива зерна возрастание активности амилолитических ферментов, вызванное допосевным внесением азотных удобрений, связано с амилазами «созревания», которые не полностью переходят в связанную форму, а при влажной погоде может инициироваться синтез амилаз «прорастания».

8. Для прогнозирования величины урожая и технологических свойств зерна разработан способ быстрой диагностики азотного питания растений пшеницы, основанный на определении в соке листьев концентрации свободных аминокислот. В условиях недостатка азота концентрация аминокислот увеличивается, а при улучшении азотного питания уменьшается.

9. В результате анализа большого набора показателей, характеризующих урожайность и технологические свойства зерна озимой мягкой пшеницы, выявлены генотипы, обладающие высокой продуктивностью (Московская 39, Московская низкостебельная, Инна, Тимирязевская 162), отличающиеся высоким содержанием клейковины в зерне и объёмным выходом хлеба (Московская 39, Тимирязевская 162, Заря, Нана).

10. Сорты озимой мягкой пшеницы близки по общему набору полипептидных компонентов водо- и солерастворимых белков, но существенно различаются по их концентрации в зерне. Поэтому каждому генотипу пшеницы соответствует определённый тип электрограммы полипептидных компонентов этих белков, что позволяет однозначно идентифицировать изучаемые сорта и сортообразцы пшеницы.

11. Концентрация в зерне определённых полипептидных компонентов водо- и солерастворимых белков коррелирует с технологическими свойствами зерна, в связи с чем эти компоненты белков могут быть использованы для отбора генотипов пшеницы с повышенной продуктивностью и улучшенными физико-химическими и хлебопекарными показателями зерна.

Автор выражает благодарность аспирантам и сотрудникам, принимавшим участие в проведении полевых, вегетационных и лабораторных исследований: Т.Ф. Ушаковой, Н.В. Заславской, Н.Л. Коурину, Б.В. Войессе, О.М. Гавриковой.

Библиографический список

1. Бебякин В.М., Старичкова Н.И., Дорогобед А.А. Качество зерна пшеницы в зависимости от сорта и условий его произрастания // *Зерновое хозяйство*, 2003. № 3. С. 22-24.
2. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирования качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985.
4. Егоров Г.А. Оценка технологического потенциала зерна пшеницы // *Вестник семеноводства в СНГ*, 1997. № 4. С. 5-8.

5. *Иваненко А.С.* Оценка качества зерна пшеницы при селекции // Селекция и семеноводство, 1978. № 24. С. 11-13.
6. *Мелешкина Е.П.* Развитие системы оценки качества пшеницы для повышения хлебопекарных свойств муки: Автореф. док. дис. техн. наук. М., 2006.
7. *Минеев В.Г., Павлов А.Н.* Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы. М.: Колос, 1981.
8. *Мосолов И.В.* Физиологические основы применения минеральных удобрений. М.: Колос, 1968.
9. *Новиков Н.Н.* Белки зерна пшеницы и формирование качества урожая: Автореф. дис. док. биолог. наук. М., 1995.
10. *Новиков Н.Н., Войсса Б.В.* Формирование качества зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от сорта, условий выращивания и уровня азотного питания // Известия ТСХА, 1994. Вып. 4. С. 14-29.
11. *Павлов А.Н.* Повышение содержания белка в зерне. М.: Наука, 1985.
12. *Панников В.Д., Минеев В.Г.* Ночва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987.
13. *Плешков Б.П.* Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1985.
14. *Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш.* Технологические свойства районированных сортов яровой мягкой пшеницы и связь их с урожайностью и метеорологическими условиями вегетационного периода // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур в Западной Сибири. Новосибирск, 1991. С. 58-71.
15. *Созинов А.А.* Проблемы улучшения качества зерна пшеницы // Селекция и семеноводство, 1978. №1. С. 9-13.
16. *Церлинг В.В.* Методические указания по растительной диагностике зерновых культур. М.: Колос, 1980.
17. *Laemmli U.K.* Nature (L.) 1970. Vol. 227. P. 680-685.
18. *Holmes F.S.* Optimising yields and quality in wheat and barley. J. Nat. Inst. Agr. Botany, 1982. V. 16. № 1. P. 1-6.
19. *Strong W.M.* Effect of late application of nitrogen on the yield and protein content of wheat. «Australian J. exp. Agric. Anim. Husb», 1982. V. 222, № 114-115. P. 54-61.

Рецензент, — д. б. н. М.Н. Кондратьев

SUMMARY

Experiments on both winter and spring soft wheat, conducted on sod-podzol middle loamy soils, show clearly that grain of high quality can be obtained by both introduction of high nitrogen doses, not less than 150-160 kg, per hectare, and late extra nitrogenous nutrition. Under the influence of nitrogen fertilizers, introduced before seeding, hydrolytic ferments activity rises, which results in both gluten attenuation and worsening of flour and dough qualities. Nitrogenous top dressing of wheat, in grain forming phase, improves given technological indices. In the course of electrophoretic investigation into polypeptide composition of both water-soluble and salt-soluble grain proteins, the relation between definite polypeptide components of these proteins and both wheat productivity and technological grain qualities has been revealed.

Key words: wheat, technological (production) grain qualities, gluten proteins, nitrogen nutrition optimization, amylase (diastase) activity, polypeptide composition of proteins.

Новиков Николай Николаевич — д. б. н., РГАУ - МСХА имени К. А. Тимирязева. Тел.: 976-16-23.