

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ И ИСТОЧНИКИ ЕГО НАКОПЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА И ДОЗ АЗОТА

И.И. Берестов, доктор с.-х. наук, **Р.В. Мельников**, соискатель
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»
(Поступила 24.02.2017)

Рецензент: канд. с.-х. наук В.В. Холодинский

Аннотация. В статье представлены данные по содержанию сырого белка в зерне 15 сортов и образцов яровой мягкой пшеницы, выращенных на фоне разных доз азотного удобрения (100 и 160 кг/га д.в.). Показаны размеры потребления азота на синтез белка зерна, в т.ч. азота, полученного в результате реутилизации из вегетативных органов, и азота, поглощенного из почвы и удобрения в репродуктивный период.

Введение. Содержание белка в зерне пшеницы является важнейшим показателем его качества. В зависимости от условий возделывания оно может варьировать в очень широких пределах (8 – 22 %).

Существуют два пути повышения содержания белка в зерне: агротехнический и селекционный. На дерново-подзолистых почвах республики, характеризующихся низким естественным плодородием, наибольший эффект в формировании зерна с повышенным содержанием белка и клейковины обеспечивает применение азотных удобрений [1]. Оно позволяет оптимизировать азотное питание растений не только в вегетативный (посев – цветение), но и в репродуктивный (цветение – налив зерна – молочная спелость) период, когда происходит интенсивный синтез белка в формирующейся зерновке.

Уровень накопления белка в зерне пшеницы изменяется не только от условий выращивания, но и от сортовых особенностей растений, аттрагирующей способности колоса и способности зерновок к биосинтезу белковых веществ [2 – 4].

Установлено [5, 6], что основной физиологической причиной, от которой зависит содержание белка в зерне, является количество азотистых веществ в растении, приходящееся на единицу массы зерна или показатель обеспеченности зерна азотом (Поз. N). Он находится в прямой зависимости от массы вегетативных органов растения и концентрации азота в них и в обратной зависимости от массы зерна с растения и доли зерна в общей надземной массе (Кхоз).

Основное количество белка в зерне пшеницы синтезируется за счет реутилизации азота из вегетативных органов. Роль различных вегетативных органов при этом неравноценна. Больше всего азота поступает из листьев, меньше – из стеблей и элементов колоса [4, 6, 7].

Немаловажный фактор, оказывающий влияние на уровень накопления белка в зерне, – способность растений к поглощению азота из почвы и удобрений в

постфлоральный (после цветения) период. За счет азота, поглощенного из почвы и удобрений в этот период, растения могут синтезироваться около 1/3 белка зерна.

Доля азота двух источников синтеза белка в зерне пшеницы (реутилизация и поглощение корневой системой в период его формирования и налива) может изменяться в широких пределах [6 – 8].

Целью наших исследований было определение содержания сырого белка в зерне новых районированных и перспективных сортов и сортообразцов яровой мягкой пшеницы, а также доли источников накопления его в зерне в зависимости от сортовых особенностей и уровня азотного питания растений.

Методика и условия проведения исследований. Полевые опыты проводили в 2013–2015 гг. на опытном поле РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая высокоокультуренная. Индекс агрохимической окультуренности почвы – 0,90. Предшественник – рапс.

Исследования проводили с 7 сортами и 8 сортообразцами конкурсного испытания яровой мягкой пшеницы селекции РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»: *Рассвет, Ласка, Любава, Сударыня, Весточка, Ласточка, Чайка, 15/10, 5/10, 11/10, 16/10, 18/10, 24/10, 26/10, 27/10*. Сорта и образцы возделывали на трех уровнях азотного питания: 1 – условно низком (без применения азотного удобрения); 2 – среднем и 3 – высоком. На среднем уровне питания за вегетацию пшеницы вносили 100, на высоком — 160 кг/га азота. Эффективность азотного удобрения (в виде карбамида) изучалась на фоне фосфорного и калийного удобрений (в виде аммонизированного суперфосфата и хлористого калия), которые в дозе $P_{60}K_{120}$ общим фоном вносили осенью под зябь.

Закладка опыта проводилась по методике двухфакторного опыта. Учетная площадь делянки – 10 м², повторность – четырехкратная. Посев проводили сеlexкционной сеялкой Джон Дир с нормой высева 5 млн всхожих зерен на 1 га. Обработку почвы и уход за посевом осуществляли в соответствии с требованиями отраслевого регламента по возделыванию яровой пшеницы [9].

Уборку урожая проводили во второй декаде августа комбайном Сампо 130. Урожайность зерна учитывали путем взвешивания со всей учетной площади делянки, а урожайность соломы – по пробному снопу, отобранному в каждой делянке на площади 0,5 м². В конце колошения – начале цветения определяли сухую надземную массу растений.

В зерне, соломе и надземной массе определяли содержание азота по методу Кьельдаля. Сырой белок в зерне пшеницы рассчитывали с применением коэффициента 5,7. Параметры физиологических показателей пшеницы (реутилизация азота, поглощение азота из почвы и удобрения после цветения) определяли по методике, описанной в литературе [7, 8].

Результаты исследований и их обсуждение. Как видно из таблицы 1, применение азотного удобрения существенно увеличивало накопление белка в зерне всех изучаемых сортов и сортообразцов яровой пшеницы. Вместе с

тем, следует отметить, что повышение содержания белка зерна было неадекватно возрастающей дозе азота и носило затухающий характер, т.е. прослеживался эффект насыщения. Так, внесение 100 кг/га азота увеличивало белковость зерна в среднем по всем сортам на 3,5 %, а повышение дозы азота до 160 кг/га – на 4,2 %, что снижало оплату единицы азота белковостью зерна на 33,6 %.

Сортные особенности изучаемых сортов и образцов пшеницы слабо влияли на накопление белка в зерне. Различия между ними по этому показателю чаще всего были незначительными. Можно отметить лишь несколько более низкое содержание белка в зерне (в среднем по сорту 12,5 %) у сортов *Ласка* и *Сударыня*.

По мере усиления уровня азотного питания растений потребление азота на синтез белка зерна у всех сортов и образцов пшеницы существенно возрастало (при применении 100 кг/га азота в среднем на 39,0 кг/га или на 70,9 %, 160 кг/га – на 54,1 кг/га или на 98,4 %) (таблица 2). Сорта *Сударыня*, *Чайка*, образцы 5/10, 16/10, 26/10 по величине потребления азота на синтез белка зерна несколько превосходили, а сорта *Ласточка*, *Любава* и образцы 11/10, 18/10 уступали другим возделываемым сортам и образцам.

Таблица 1 – Содержание сырого белка в зерне яровой пшеницы в зависимости от сорта и норм азотного удобрения, % (среднее за 2013 – 2015 гг.)

Сорт, образец (фактор А)	Сырой белок в абс. сухом веществе				Прибавка от азота	
	Доза азота, кг/га (фактор В)			Среднее по сорту	Доза азота, кг/га	
	0	100	160		100	160
Рассвет	10,5	14,1	14,6	13,1	3,6	4,1
Ласка	9,9	13,3	14,2	12,5	3,4	4,3
Любава	10,5	14,3	14,9	13,2	3,8	4,4
Сударыня	9,9	13,5	14,1	12,5	3,6	4,2
Весточка	10,2	14,0	15,1	13,1	3,8	4,9
Ласточка	10,4	14,0	14,4	12,9	3,6	4,0
Чайка	10,4	14,4	14,8	13,2	4,0	4,4
15/10	10,4	14,1	14,9	13,1	3,7	4,5
5/10	10,5	14,0	15,0	13,2	3,5	4,5
11/10	10,6	14,2	14,5	13,1	3,6	3,9
16/10	11,2	14,1	14,8	13,4	2,9	3,6
18/10	10,6	14,2	14,9	13,2	3,6	4,3
24/10	10,6	13,8	15,1	13,2	3,2	4,5
26/10	10,6	14,2	15,0	13,3	3,6	4,4
27/10	10,6	13,7	14,6	13,0	3,1	4,0
Среднее	10,5	14,0	14,7		3,5	4,2

НСР₀₅ по фактору А – 0,54; В – 0,24; частным средним – 0,94%.

Для синтеза белка зерна растения использовали азот, поступавший как в результате реутилизации из вегетативных органов, так и поглощения из почвы и удобрения после цветения (таблица 3). Применение азотного удобрения положительно влияло на эти процессы. При среднем уровне азотного питания

Таблица 2 – Потребление азота на синтез белка зерна яровой пшеницы в зависимости от сорта и норм азота, кг/га (среднее за 2013 – 2015 гг.)

Сорт, образец (фактор А)	Потреблено азота на синтез белка зерна				Прибавка от азота	
	Доза азота, кг/га (фактор В)			Среднее по сорту	Доза азота, кг/га	
	0	100	160		100	160
Рассвет	50,1	89,7	104,8	81,5	39,6	54,7
Ласка	51,8	86,3	104,1	80,7	34,5	52,3
Любава	54,3	86,5	98,3	79,7	32,2	44,0
Сударыня	58,4	105,7	116,9	93,7	47,3	58,5
Весточка	53,4	97,4	113,5	88,1	44,0	60,1
Ласточка	48,6	85,7	99,6	78,0	37,1	51,0
Чайка	58,4	98,8	115,8	91,0	40,4	57,4
15/10	54,7	90,6	105,9	83,7	35,9	51,2
5/10	58,6	98,8	118,3	91,9	40,2	59,7
11/10	48,8	84,9	100,6	78,1	36,1	51,8
16/10	61,3	102,2	121,8	95,1	40,9	60,5
18/10	52,0	84,4	99,3	78,6	32,4	47,3
24/10	59,8	95,2	109,3	88,1	35,4	49,5
26/10	59,0	102,2	116,4	92,5	43,2	57,4
27/10	56,2	102,1	112,1	90,1	45,9	55,9
Среднее	55,0	94,0	109,1		39,0	54,1

НСР₀₅ по фактору А – 6,14; В – 2,76; частным средним – 10,64 кг/га.

Таблица 3 – Источники накопления азота белка в зерне изучаемых сортов и образцов яровой пшеницы при разных уровнях применения азотного удобрения, кг/га (среднее за 2013 – 2015 гг.)

Сорт, образец	Реутилизация из вегетативных органов				Поглощение из почвы и удобрения после цветения			
	Доза азота, кг/га			Среднее по сорту	Доза азота, кг/га			Среднее по сорту
	0	100	160		0	100	160	
Рассвет	19,1	47,3	66,0	44,1	31,0	42,4	38,8	37,4
Ласка	23,1	66,3	48,5	46,0	28,7	20,0	55,5	34,7
Любава	42,3	59,3	54,6	52,1	12,0	27,3	43,7	27,7
Сударыня	40,1	57,3	62,5	53,3	18,4	48,4	54,4	40,4
Весточка	26,6	64,7	62,1	51,1	26,8	32,8	51,4	37,0
Ласточка	25,2	43,8	54,2	41,1	23,5	41,9	45,4	36,9
Чайка	32,2	51,4	66,6	50,1	26,1	47,4	49,2	40,9
15/10	22,3	61,0	59,9	47,7	32,4	29,6	46,0	36,0
5/10	26,2	63,6	69,2	53,0	32,4	35,2	49,1	38,9
11/10	32,4	61,0	66,8	53,4	16,4	23,9	33,7	24,7
16/10	31,2	61,7	66,8	53,2	30,1	40,6	55,0	41,9
18/10	18,5	42,3	68,1	43,0	33,5	42,1	31,2	35,6
24/10	22,2	63,3	61,8	49,1	37,7	31,9	47,5	39,0
26/10	35,7	74,4	67,3	59,1	23,3	27,8	49,1	33,4
27/10	27,7	81,2	76,3	61,7	28,5	20,9	35,9	28,4
Среднее	28,3	59,9	63,4		26,7	34,1	45,7	

НСР₀₅ по фактору В 6,0 и 5,72, частным средним – 23,3 и 22,2 кг/га. По фактору А различия несущественны.

(N₁₀₀) реутилизация азота из вегетативных органов в зерно в среднем возрастала на 31,6 кг/га, поглощение азота после цветения – на 7,4 кг/га, при высоком уровне питания (N₁₆₀) увеличение составляло соответственно 35,1 и 19,0 кг/га.

Наблюдались определенные изменения в структуре источников азота, потребляемых для синтеза белка зерна (таблица 4). По мере усиления уровня азотного питания растений в общем потреблении азота на синтез белка отмечено относительное (в %) возрастание доли реутилизации азота из вегетативных органов в зерно и пропорциональное снижение доли поступления азота из почвы и удобрения после цветения. В варианте с внесением 100 кг/га азота отмеченные изменения в среднем составили 11,1 % и были статистически значимы. Доля реутилизации азота в общем потреблении азота на синтез белка зерна при этом составляла 64,2 %, а поступление азота из почвы и удобрения в период налива зерна – 35,8 %.

Таблица 4 – Доля источников накопления азота в общем потреблении азота на синтез белка зерна изучаемых сортов и образцов яровой пшеницы, % (среднее за 2013 – 2015 гг.)

Сорт, образец (фактор А)	Реутилизация из вегетативных органов				Поглощение из почвы и удобрения после цветения			
	Доза азота, кг/га (фактор В)			Среднее по сорту	Доза азота, кг/га			Среднее по сорту
	0	100	160		0	100	160	
Рассвет	36,6	52,5	65,3	51,5	63,4	47,5	34,7	48,5
Ласка	45,2	78,0	47,2	56,8	54,8	21,9	52,8	43,2
Любава	78,4	67,1	56,5	67,3	21,6	32,9	43,4	32,6
Сударыня	70,3	55,5	53,2	59,7	29,7	44,5	46,8	40,3
Весточка	52,1	67,5	55,6	58,4	47,9	32,5	44,4	41,6
Ласточка	57,4	53,2	55,4	55,3	42,6	46,8	44,6	44,7
Чайка	52,5	53,9	57,6	54,7	47,5	46,1	42,4	45,3
15/10	39,9	67,2	58,9	55,3	60,1	32,8	41,1	44,7
5/10	49,3	64,7	60,9	58,3	50,7	35,2	39,1	41,7
11/10	66,1	71,8	66,0	68,0	33,9	28,2	33,9	32,0
16/10	50,5	59,8	52,8	54,4	49,5	40,2	47,2	45,6
18/10	37,0	51,2	68,3	52,2	63,0	48,7	31,7	47,8
24/10	41,7	66,3	56,5	54,8	58,3	33,7	43,5	45,2
26/10	66,9	72,9	60,1	66,6	33,1	27,1	39,9	33,4
27/10	52,5	81,1	69,9	67,8	47,5	18,9	30,1	32,2
Среднее	53,1	64,2	59,0		46,9	35,8	41,0	

НСР₀₅ по фактору А – 13,92; В – 6,22; частных средних – 24,1 %.

В зависимости от сортовых особенностей растений средняя доля реутилизации азота изменялась в пределах 51,5 – 68,0 %, а поглощения азота из почвы после цветения – 32,0 – 48,5 % от общего потребления азота.

Среди возделываемых сортов и образцов несколько более высокой долей азота, поступавшего из вегетативных органов (66,6 – 68,0 %) характеризовались сорт *Любава* и сортообразцы *11/10*, *26/10*, *27/10*, а более высокой долей азота, поглощенного в период налива зерна (47,8–48,5 %), – сортообразец *18/10* и сорт *Рассвет*.

Регрессионный анализ показал, что генотипические различия яровой пшеницы по количеству и источникам накопления азота, использованного на син-

тез белка зерна, не оказывали значительного влияния на содержание белка в зерне. Связь между отмеченными признаками была слабая ($r = 0,17 \dots 0,19$) и не-существенная (таблица 5).

Таблица 5 – Зависимость содержания сырого белка в зерне пшеницы (Y, %) от источников накопления азота (X, кг/га) (среднее за 2013 – 2015 гг.)

Источник накопления азота	Уравнение регрессии	r	R ²
Модификационные различия, обусловленные азотным удобрением			
Реутилизация из вегетативных органов	$y = 0,0926X + 8,382$	0,87*	0,76
Поглощение после цветения	$y = 0,1082X + 9,2147$	0,63*	0,40
Суммарное накопление азота	$y = 0,0754X + 6,5722$	0,95*	0,90
Генотипические различия			
Реутилизация из вегетативных органов	$y = 0,0085X + 12,637$	0,19	0,04
Поглощение после цветения	$y = -0,0002X + 13,072$	0,00	0,00
Суммарное накопление азота	$y = 0,0069X + 12,476$	0,17	0,03

Примечание: * значимо на уровне 0,001.

Содержание белка в зерне на 89,6 % зависело от условий азотного питания растений. При повышении количества азота, использованного на синтез белка зерна, на 1 кг белковость зерна возрастала на 0,075 %.

Оба источника накопления азота в зерне положительно влияли на содержание белка в нем. При этом азот, поступивший на синтез белка зерна в результате реутилизации из вегетативных органов растений, несколько сильнее повышал белковость зерна, чем азот, поглощенный из почвы и удобрения в период после цветения. Корреляционная связь между содержанием белка в зерне и первым источником азота была сильная ($r = 0,87$), со вторым – средняя ($r = 0,63$).

Выводы

1. Содержание сырого белка в зерне яровой мягкой пшеницы в основном обусловлено уровнем азотного питания растения. Генотипические различия изучаемых сортов и сортообразцов слабо влияют на накопление белка в зерне.

2. В общем потреблении азота на синтез белка зерна пшеницы доля азота, полученного в процессе реутилизации из вегетативных органов, в среднем составляет 53,1 – 64,2 %, а доля азота, поглощенного из почвы и удобрения после цветения, – 35,8 – 46,9 %.

3. При применении азотного удобрения доля реутилизации азота из вегетативных органов в общем потреблении азота на синтез белка зерна возрастает, а доля азота, поглощенного из почвы и удобрения после цветения, пропорционально снижается.

Литература

1. Лана, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лана, В.Н. Босак. – Минск, 2002. – 184 с.

2. Минеев, В.Г. Агрохимические основы повышения качества зерна пшеницы / В.Г. Минеев, А.Н. Павлов. – М.: Колос, 1981. – 288 с.
3. Климашевский, Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений / Э.Л. Климашевский. – М. ВО: Агропромиздат, 1991. – 416 с.
4. Гамзикова, О.И. Генетика агрохимических признаков пшеницы / О.И. Гамзикова. – Новосибирск: Наука, 1994. – 220 с.
5. Павлов, А.Н. Физиологические причины, определяющие уровень накопления белка в зерне различных генотипов пшеницы / А.Н. Павлов // Физиология растений. – 1982. – т. 29. – Вып. 4. – С. 767-779.
6. Павлов, А.Н. Физиологические изменения в растении яровой пшеницы под влиянием условий выращивания, приводящие к различиям в содержании белка в зерне / А.Н. Павлов // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – №1. – С. 24.
7. Пасынкова, Е.Н. Агрохимические приемы регулирования урожайности и качества зерна пшеницы: автореф. дис. ... докт. биол. наук; 06.01.04 / Е.Н. Пасынкова; ГНУ ВНИИА Россельхозакадемии. – М, 2014. – 49 с.
8. Павлов, А.Н. Методические рекомендации по определению физиологических показателей для отбора высокобелковых генотипов пшеницы и других злаковых культур / А.Н. Павлов, С.С. Сеницын. – М.: ВАСХНИЛ, 1986. – 11 с.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сборник отраслевых регламентов / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск, 2012. – С. 63-78.

PROTEIN CONTENT IN SPRING SOFT WHEAT GRAIN AND SOURCES OF ITS ACCUMULATION DEPENDING ON CULTIVARS AND NITROGEN RATES

I.I. Berestov, R.V. Melnikov

The data on crude protein content in the grain of 15 spring soft wheat cultivars and varieties grown with the use of different nitrogen rates (100 and 160 kg/ha of active substance) are presented in the article. The effect of nitrogen amount (including nitrogen obtained as a result of reutilization of vegetative organs, nitrogen from soil, and nitrogen of the fertilizers used in the reproductive period) on grain protein synthesis is shown.