

НАКОПЛЕНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИНАМИКИ НАЛИВА

О.С. Радовня, В.А. Радовня, Л.П. Шиманский

Полесский институт растениеводства,

Мозырский р-н, п. Криничный, Беларусь

В нашей республике, как и в других странах, возделывающих рожь, значительное ее количество используется на кормовые цели [1]. В связи с этим перед селекционерами стоит задача повысить содержание белка в зерне, что решается через подбор исходного материала, обладающего необходимыми качествами и последующий отбор в гибридных популяциях. В то же время является актуальной разработка простых и эффективных методов отбора высокобелковых образцов.

В литературе имеются данные, что процессы синтеза белка активно продолжаются в фазе налива (фазы молочной и восковой спелости). При равной продуктивности высокобелковыми оказываются именно такие генотипы [2]. На уровень содержания белка в зерне оказывает влияние большое число селекционных признаков: развитие корневой системы, устойчивость к корневым гнилям и болезням листьев, высота растений, число зерновок в колосе и на единицу площади, масса 1000 зерен и др. [3]. В то же время все данные признаки оказывают решающее влияние и на скорость накопления сухого вещества в зерне (динамику налива). Однако до настоящего времени не изучены особенности динамики налива современных сортов озимой ржи.

Цель – изучить зависимость содержания белка в зерне от других хозяйственно-ценных признаков, в том числе и от динамики налива зерна.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыты проводились в 2005-2006 гг. на полях РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Объекты исследований – районированные и перспективные сорта тетраплоидной (7 образцов) и диплоидной (8 образцов) озимой ржи отечественной селекции. В опытах применялась агротехника, рекомендуемая для Центральной зоны республики [1]. На каждом варианте в основные фазы налива зерна отбирались образцы (с 8 пробных площадок по 0,25 м²). Лабораторная оценка зерна велась по общепринятым методикам, сырой белок определялся в лаборатории массовых анализов НПЦ по земледелию методом инфракрасной спектроскопии (калибровка осуществлялась по методу Кьельдаля с использованием коэффициента 5, 7; $r = 0,97$).

Погодные условия в период налива существенно различались, что позволило проследить реакцию диплоидных и тетраплоидных сортов озимой ржи на внешние условия. В 2005 г. фаза молочной спелости наступила 2 июля, а продолжительность периода молочная-полная спелость составила 25 дней (рис. 1). Ввиду засушливых условий в 2006 г. налив зерен происходил ускоренно, молочная спелость наступила 6 июля, а полная – 19 июля, продолжительность периода составила лишь 13 дней.

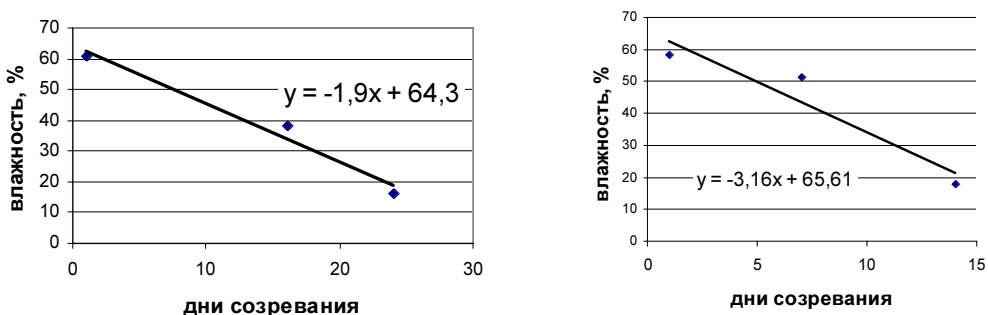


Рис. 1. Динамика влагоотдачи при созревании зерна озимой ржи в 2005 и 2006 гг. (среднее по 15 сортам)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что изучаемые сорта существенно различались по динамике налива (т.е. накопления сухого вещества в зерне) и реагировали на погодные условия в период налива. В каждой группе сортов можно выделить как резко созревающие (Искра и Спадчына, Калинка), так и плавно созревающие (Полновесная, Бирюза и Зарница).

Динамика формирования массы 1000 зерен полностью отражала погодные условия в период налива (рис. 2). Если в 2005 г. наблюдался плавный налив зерна, масса 1000 зерен увеличилась до 36–47 г в фазе восковой спелости и затем в условиях затяжной влажной погоды уменьшилась до 34–43 г, то в 2006 г. налив зерна носил практически прямолинейный характер. Истекание зерна в фазе восковой спелости по различным диплоидным сортам составило не более 2,2–3,6 г, а тетраплоидные сорта увеличили массу 1000 зерен на 1,2–8,6 г. В исследованиях отмечено, что в зависимости от погодных условий сорта озимой ржи по-разному формируют массу 1000 зерен. Вместе с тем ежегодно наиболее крупное зерно формировали сорта Спадчына (4n), Алькора, Бирюза и Лота (2n).

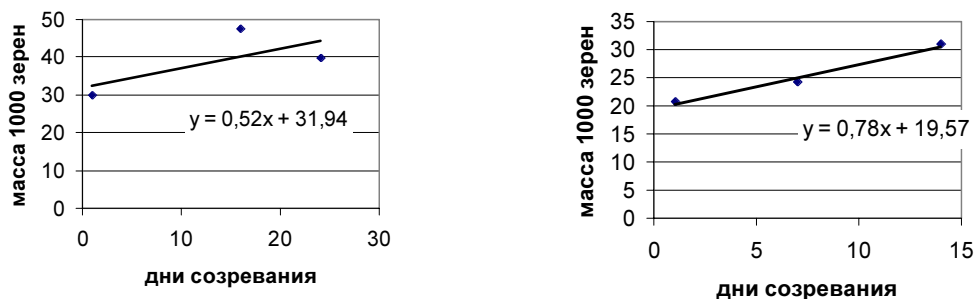


Рис. 2. Динамика формирования массы 1000 зерен в 2005 и 2006 гг. (среднее по 15 сортам)

Содержание сырого белка в сухом веществе ($B_{\text{сух}}$) определялось нами в основные фазы налива зерна: молочную ($B_{\text{сух-м}}$) и восковую ($B_{\text{сух-в}}$). Кроме того, мы

Плодородие почв и применение удобрений

применили расчетные показатели обеспеченности растений азотом: содержание белка в расчете на 1000 зерен (B_{1000}) и содержание белка в расчете на 1 колос ($B_{\text{колос}}$) (табл. 1).

Таблица 1

Динамика накопления белка в зерне сортов озимой ржи

Год		Б _{сух} , % абс. сух. вещества		B ₁₀₀₀ (в. сп.), г	B _{колос} (в. сп.), мг	Скорость накопления белка (Б _{сух}) за период м. сп. – в. сп.		
		м. сп.	в. сп.			% в сутки/ абс. сух. вещества	г в сутки / 1000 зерен	мг в сутки / 1 колос
Тетраплоидные сорта								
2005	среднее	9,0	10,3	2,1	81	0,09	0,10	3,7
	мин.	8,8	10,1	1,97	74	0,07	0,06	2,2
	макс.	9,1	10,6	2,25	86	0,12	0,13	5,1
2006	среднее	11,9	12,1	4,7	181	0,02	0,15	5,8
	мин.	11,4	11,5	4,26	152	-0,06	0,06	2,4
	макс.	12,5	12,6	5,12	216	0,13	0,28	12,5
среднее за 2 года		9,7	10,8	2,8	106	0,07	0,11	4,2
Диплоидные сорта								
2005	среднее	9,8	11,0	2,8	122	0,08	0,11	4,8
	мин.	8,5	10,3	2,6	108	0,06	0,06	2,6
	макс.	10,6	11,7	3,3	144	0,14	0,14	6,1
2006	среднее	12,5	12,7	5,8	236	0,02	0,27	10,7
	мин.	12,5	12,7	5,8	236	0,02	0,27	10,7
	макс.	12,5	12,7	5,8	236	0,02	0,27	10,7
среднее за 2 года		10,4	11,4	3,6	152	0,07	0,14	6,0

м. сп. – молочная спелость

в. сп. – восковая спелость

Следует отметить, что в благоприятном для налива 2005 г. в период молочной-восковой спелости зерна происходило увеличение $B_{\text{сух}}$ на 1,02-2,31%, тогда как в 2006 г. оно осталось практически без изменений.

Ввиду быстрого созревания в 2006 г. скорость накопления $B_{\text{сух}}$ значительно колебалась по сортам, тогда как в 2005 г. она была практически равной (0,07-0,09% в сутки). Исключением являлся новый сорт Алькора, который характеризовался наименьшим содержанием белка в фазе молочной спелости, а затем быстрым его накоплением, что говорит о высоком потенциале сорта эффективно использовать азот во второй половине вегетации, реутилизировать его и накапливать в зерне.

В отличие от показателя $B_{\text{сух}}$, показатели содержания белка в расчете на 1000 зерен (B_{1000}) и содержание белка в расчете на 1 колос ($B_{\text{колос}}$) в большей степени характеризуют обеспеченность растений азотом и их способностью активно его потреблять и накапливать в центрах ассимиляции. Анализ всех трех показателей позволяет судить об эффективности использования азота в растении: использовался ли он для формирования числа элементов продуктивности, шел в запас или использовался растением малоэффективно.

Например, сорт озимой ржи Игуменская в 2005 г., обладая наибольшим $B_{\text{сух}}$ (10,5%), содержал наименьшее его количество в расчете на 1 колос и на 1000 зерен. Другой сорт Спадчына при том же $B_{\text{сух}}$ содержал наибольшее количество белка в элементах продуктивности, что говорит о большей эффективности потребления азота и протекания процессов метаболизма. Аналогичная картина по данным сортам складывалась и в 2006 г.

Среди диплоидных сортов по эффективности потребления азота и накоплению белка бесспорное преимущество имел гибрид Лобел 203, а также сорта Зубровка, Талисман и Юбилейная.

Для определения связи белковости с морфологией колоса и динамикой налива зерна озимой ржи нами проведен корреляционный анализ (табл. 2). В исследуемые годы погодные условия оказали определенное влияние на изучаемые признаки, что сказалось на полученных коэффициентах корреляции. Вместе с тем можно отметить следующие закономерности.

Во влажную погоду во время налива (2005 г.) длинноколосые диплоидные сорта с вероятностью 25% содержали повышенное $B_{\text{сух-в}}$, а у длинноколосых тетраплоидных сортов в 81% случаев отмечалось максимальное B_{1000} .

Количество зерен в колосе в оба года в средней степени положительно коррелировало с B_{1000} . Это означает, что современные сорта ржи при большом количестве центров аттракции (накопления ассимилянтов) способны накапливать в зерне высокое количество белка.

Как в 2005, так и в 2006 г., наиболее тесная корреляция на уровне $r = 0,73-0,93$ отмечалась между B_{1000} с их массой в фазе восковой спелости. В более ранние или поздние фазы налива данные связи значительно ослабевали до уровня $r = 0,37-0,79$. Тесные корреляции массы 1000 зерен с содержанием белка в сухом веществе ($r = 0,59-0,69$) отмечались только в 2006 г.

С уборочной влажностью зерна $B_{\text{сух-в}}$ коррелировало в средней и сильной степени ($r = 0,50-0,89$). Отмечено, что в годы, благоприятные для налива зерна, наибольшей белковостью зерна характеризовались позднезрелые сорта.

Выявлено, что среди диплоидных сортов наиболее белковыми оказались те, которые характеризовались быстрой скоростью влагоотдачи в период молочной спелости ($r = 0,93$ в 2005 г. и $r = 0,43$ в 2006 г.). В этой фазе B_{1000} в оба года стабильно в средней степени ($r = 0,45-0,58$) коррелировало со скоростью влагоотдачи в период восковой спелости. У тетраплоидных сортов скорость влагоотдачи в период восковой спелости коррелировала в средней и сильной степени с B_{1000} ($r = 0,60-0,85$), тогда как с $B_{\text{сух-в}}$ в 2006 г. отмечалась тесная связь.

Влажность зерна в период молочной спелости в какой-то мере характеризует скороспелость сортов, но в отличие от уборочной влажности этот показатель в благоприятный для налива год по обеим формам ржи тесно коррелировал с B_{1000} ($r = 0,81-0,84$), тогда как с белковостью зерна оказался несвязанным. Таким образом, сорта, поздно вступающие в фазу налива (и соответственно, обладающие более продолжительным ювенильным развитием) содержат больше белка в расчете на 1000 зерен.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции (r) содержания белка в фазе восковой спелости (B_{сух-в}) с другими показателями, характеризующими условия налива

Плоидность	Показатель	Длина колоса	Количество зерен	Масса 1000 зерен			Уборочная влажность	Масса зерна с 1 колоса, *	Содержание белка на 1000 зерен, мг	Содержание белка на 1 колос, мг	Скорость влагоотдачи		Влажность в ф. м. сп.		Скорость налива зерен	
				м. сп.	в. сп.	п. сп.					м. в. сп.	в. п. сп.	м. в. сп.	в. п. сп.		
2005 год																
В среднем	B _{сух-в} , % абс. сух. вещества	-0,68	0,38	0,05	-0,33	-0,27	-0,04	0,08	0,66	0,59	0,73	-0,84	-0,31	-0,49	0,22	
	B ₁₀₀₀ , мг	-0,65	0,77	-0,50	-0,92	-0,79	0,15	-0,32	1,00	0,97	0,61	-0,86	-0,55	-0,73	0,55	
2п	B _{сух-в} , % абс. сух. вещества	-0,54	-0,41	0,59	0,26	0,41	-0,33	0,24	0,47	0,26	0,93	-0,90	-0,01	-0,49	0,23	
	B ₁₀₀₀ , мг	-0,38	-0,01	-0,26	-0,73	-0,49	0,04	-0,60	1,00	0,91	0,19	-0,58	-0,84	-0,62	0,52	
4п	B _{сух-в} , % абс. сух. вещества	0,05	0,01	-0,17	0,49	0,27	0,89	0,18	-0,11	-0,09	0,12	-0,36	-0,05	0,65	-0,27	
	B ₁₀₀₀ , мг	0,94	0,49	-0,76	-0,92	0,69	-0,15	0,64	1,00	0,96	0,97	-0,85	0,81	0,10	0,96	

Окончание таблицы 2

Плоидность	Показатель	Длина колоса	Количество зерен	Масса 1000 зерен			Уборочная влажность	Масса зерна с 1 колоса, г *	Содержание белка на 1000 зерен, мг	Содержание белка на 1 колос, мг	Скорость влагоотдачи		Скорость налива зерен	
				М. сл.	В. сл.	П. сл.					М.-в. сл.	В.-п. сл.	М.-в. сл.	В.-п. сл.
2006 год														
В среднем	Б _{сух-в} , % абс. сух. вещества	-0,20	0,45	-0,41	-0,41	-0,42	0,04	-0,18	0,71	0,73	0,35	-0,34	-0,16	-0,10
	Б ₁₀₀₀ , мг	-0,35	0,41	-0,61	-0,93	-0,65	-0,41	-0,59	1,00	0,96	0,19	-0,17	-0,26	-0,49
2п	Б _{сух-в} , % абс. сух. вещества	-0,06	0,37	-0,08	-0,56	-0,23	0,00	-0,46	0,78	0,77	0,43	0,08	0,40	-0,54
	Б ₁₀₀₀ , мг	0,01	0,43	-0,37	-0,95	-0,69	-0,43	-0,85	1,00	0,98	0,54	0,45	0,57	-0,78
4п	Б _{сух-в} , % абс. сух. вещества	0,46	0,60	-0,79	0,69	-0,26	0,50	0,76	-0,36	0,27	0,42	-0,70	-0,35	0,78
	Б ₁₀₀₀ , мг	0,26	0,27	0,37	-0,92	0,35	-0,34	-0,20	1,00	0,71	-0,47	0,60	0,16	-0,83
														0,71

Ежегодно наибольшим $B_{\text{сух-в}}$ и B_{1000} обладали диплоидные сорта с быстрым накоплением массы зерна в период молочной – восковой спелости ($r = 0,49-0,78$). Для тетраплоидных сортов это справедливо только для $B_{\text{сух-в}}$ ($r = 0,65-0,78$).

Представленные корреляции в отдельные годы отражают лишь сортовые особенности по динамике накопления белка. Использование в корреляционном анализе двухлетних данных позволяет выявить биологические особенности тетраплоидной и диплоидной ржи в целом (табл. 3).

Таблиц 3

Коэффициенты корреляции содержания белка в фазе восковой спелости ($B_{\text{сух-в}}$) с другими признаками (r)

Признак	4n сорта	2n сорта
Содержание белка в сухом веществе в фазе молочной спелости ($B_{\text{сух-м}}$)	0,94	0,89
Масса 1000 зерен в восковой спелости (M_{1000})	-0,88	-0,71
Масса 1000 зерен в молочной спелости ($M_{1000-м}$)	-0,71	-0,48
Скорость налива зерна (U)	-0,28	-0,48

Таким образом, заметно, что $B_{\text{сух-в}}$ в зерне тетраплоидных сортов в большей мере, чем у диплоидных сортов, зависит от $B_{\text{сух-м}}$ и формирования низкой M_{1000} . В то же время у диплоидной ржи скорость налива зерна в средней степени коррелирует с $B_{\text{сух-в}}$, в то время как у тетраплоидных сортов лишь в малой степени. Таким образом, признак налива зерна имеет среднюю линейную зависимость с признаком белковости зерна.

Регрессионный анализ показал, что простые линейные уравнения других признаков (начального содержания белка в фазе молочной спелости и массы 1000 зерен в фазе восковой спелости) также не в полной мере отражают зависимости накопления белка в ходе налива зерна: коэффициенты детерминации R составляют не более 0,51-0,88 (формула 1-2, 7-8). Совместное использование в регрессионном анализе переменной M_{1000} в дополнение к $B_{\text{сух-м}}$ не приводит к увеличению коэффициента детерминации (формула 3, 9).

Уравнения множественной регрессии содержания белка в сухом веществе в фазе восковой спелости ($B_{\text{сух-в}}$) с другими признаками*:

Тетраплоидная рожь

$$B_{\text{сух-в}} = 0,59B_{\text{сух-м}} + 5,0 \quad R^2 = 0,88 \quad (1)$$

$$B_{\text{сух-в}} = -0,122M_{1000} + 15,50 \quad R^2 = 0,79 \quad (2)$$

$$B_{\text{сух-в}} = 0,007M_{1000} + 0,62B_{\text{сух-м}} + 4,43 \quad R^2 = 0,88 \quad (3)$$

$$B_{\text{сух-в}} = -0,014M_{1000} + 0,41U + 15,55 \quad R^2 = 0,91 \quad (4)$$

$$B_{\text{сух-в}} = -0,012M_{1000} + 0,38U + 0,61B_{\text{сух-м}} + 4,81 \quad R^2 = 0,91 \quad (5)$$

$$B_{\text{сух-в}} = 0,64B_{\text{сух-м}} + 0,36U + 4,02 \quad R = 0,91 \quad (6)$$

Диплоидная рожь

$$B_{\text{сух-в}} = 0,63B_{\text{сух-м}} + 4,74 \quad R^2 = 0,80 \quad (7)$$

$$B_{\text{сух-в}} = -0,107M_{1000} + 14,83 \quad R^2 = 0,51 \quad (8)$$

$$B_{\text{сух-в}} = 0,004M_{1000} + 0,65B_{\text{м}} + 4,47 \quad R^2 = 0,80 \quad (9)$$

$$B_{\text{сух-в}} = -0,094M_{1000} - 0,88U + 15,35 \quad R^2 = 0,83 \quad (10)$$

$$B_{\text{сух-в}} = 0,005M_{1000} - 0,50U + 0,61 B_{\text{сух-м}} + 5,44 \quad R^2 = 0,83 \quad (11)$$

$$B_{\text{сух-в}} = 0,58B_{\text{сух-м}} - 0,54U + 5,8 \quad R = 0,83 \quad (12)$$

Примечание * – названия переменных представлены в табл. 3.

Вместе с тем, использование в расчетах показателей M_{1000} и U (т.е. совершенно без учета первоначального содержания белка) позволяет получить уравнения регрессии с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,91$ у тетраплоидных сортов, и $R^2 = 0,83$ у диплоидных сортов (формула 4, 10). Дополнительное введение в расчеты переменной $B_{\text{сух-м}}$ снова не приводит к увеличению R^2 (формула 5, 11).

Следует отметить, что при использовании в расчетах множественной регрессии значение признака $B_{\text{сух-м}}$ остается практически прежним (коэффициент при переменной колеблется в пределах 0,59-0,63), однако значительно снижается значение признака массы 1000 зерен. Следовательно, более значимыми условиями повышенного накопления $B_{\text{сух-в}}$ является начальное содержание белка в фазе молочной спелости и скорость налива зерна (формула 6, 12).

Приведенные расчеты показывают, насколько существенным является признак скорости налива зерна. Использование его в расчетах даже без определения белковости позволяет судить о способности сорта накапливать повышенное содержание белка в зерне. В то же время оказывается, что вопреки широко распространенному мнению, масса 1000 зерен оказывает значительно меньшее влияние на белковость зерна. Таким образом, на содержание белка в зерне влияют не столько генетические способности сорта формировать мелкое зерно, сколько внутренние и внешние условия налива зерна, обеспечивающие поступление азота в зерно.

Диплоидная и тетраплоидная рожь являются фактически разными ботаническими видами, в связи с этим современные $2n$ и $4n$ сорта обладают различными механизмами повышенного содержания белка в зерне. Если быстрая скорость налива зерна у диплоидных сортов приводит к снижению уровня содержания белка (вероятно лимитирующим фактором является величина поступления азота в зерно в период налива), то у тетраплоидных сортов, напротив, способствует его накоплению, или вернее сказать повышенному его содержанию (здесь главным фактором является скорее величина содержания азота на единицу сухого вещества в зерновке – при неблагоприятных условиях налива масса 1000 зерен значительно снижается и повышается удельный вес азота).

Таким образом, если у диплоидных сортов накопление белка в зерне носит абсолютный характер и связано с процессами метаболизма азота в период налива зерна, то у тетраплоидных сортов повышенное содержание белка имеет относительный характер и в большей мере связано с процессами накопления сухого вещества в зерне.

Считаем, что выявленные зависимости следует использовать при разработке моделей сортов и проводить оценку исходного материала по показателю динамики накопления сухого вещества.

ВЫВОДЫ

1. Среди высокопродуктивных районированных и перспективных сортов озимой ржи наблюдаются существенные различия по динамике налива зерна. В годы, благоприятные для налива зерна, в период молочная – восковая спелость зерна происходит увеличение содержания сырого белка на 1,02-2,31%, в годы, неблагоприятные для налива, лишь у некоторых сортов отмечается увеличение его содержания (Лота, Зарница, Нива). Наблюдаются значительные сортовые различия по содержанию белка в сухом веществе, а также в расчете на 1000 зерен и в расчете на 1 колос.

2. Выявлен ряд зависимостей в отдельные периоды налива зерна между показателями содержания белка (в сухом веществе, в расчете на 1000 зерен и 1 колос) с морфологическими характеристиками (длина колоса, количество зерен, масса 1000 зерен), а также со скоростью влагоотдачи и налива зерна. В группе тетраплоидных сортов наибольшим содержанием белка в сухом веществе зерна отличаются те, которые формируют мелкое зерно и обладают быстрой скоростью налива. Высокобелковые диплоидные сорта, напротив, при формировании малой массы 1000 зерен обладают медленной скоростью налива. Выявленные зависимости следует учитывать при разработке моделей сортов (агрохимически эффективных и высокобелковых) и можно использовать при проведении отборов по фенотипическим признакам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбан, Э.П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания / Э.П. Урбан. – Минск: Беларуская навука, 2009. – 269 с.
2. Павлов, А.Н. Повышение содержания белка в зерне / А.Н. Павлов. – М.: Наука, 1984. – 114 с.
3. Кобылянский, В.Д. Рожь. Генетические основы селекции / В.Д.Кобылянский. – М., 1982. – 272 с.

PROTEIN ACCUMULATION IN GRAIN OF WINTER RYE DEPENDING ON SWELLING DYNAMICS

O.S. Radovnya, V.A. Radovnya, L.P. Shimanskij

Summary

7 variety of 4n and 8 variety of 2n winter rye in period of grain swelling are studied. Dependences of accumulation of protein in grain are presented to this period. Essential value of a sign of speed of dry matter accumulation in grain on protein content is revealed.

Поступила 1 октября 2010 г.