



УДК 575.167:633.11(321)

## РОЛЬ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И СРЕДЫ В ФОРМИРОВАНИИ АГРЕГИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ<sup>1</sup>

**М.К. Ахтариева<sup>1</sup>,  
Л.С. Бондаренко<sup>2,3</sup>,  
О.В. Акиншина<sup>2,3</sup>,  
В.П. Нецветаев<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Тюменская ГСХА, Россия, 625003,  
г. Тюмень, ул. Республики, 7

<sup>2</sup> Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии, Россия, 308001, г. Белгород, ул. Октябрьская, 58

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: marina-che@mail.ru;  
netsvetaev@bsu.edu.ru

Исследован 41 сорт яровой мягкой пшеницы на агрегирующую способность белкового комплекса муки с помощью дисульфидных связей в условиях Тюмени. Показано, что белки муки из зерна урожая 2011 года обладали более низкими значениями числа –S–S– связей по сравнению с этими образцами урожая 2012 года. В то же время, в 2011 году, который по температурным условиям вегетационного периода был близок средним многолетним, наблюдалась значительная дифференциация между сортами по этому показателю. Наименьшими значениями числа дисульфидных связей (1.8–17.0 усл. ед.) обладали сорта ОмГАУ 90, Памяти Леонтьева, Омская 38. Среди данного набора сортов в 2011 году наибольшие показатели по данному признаку (51.0–56.5 усл. ед.) имели сорта Ильинская, Ирень, Маргарита, Сертори и Новосибирская 15. В 2012 году, температура вегетационного периода была выше средней многолетней на 2.3°, что способствовало более интенсивному образованию дисульфидных связей белкового комплекса. Это привело к значительному увеличению числа –S–S– связей в муке исследованных сортов и нивелировке наследственных различий по данному показателю.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, дисульфидные связи, условия вегетации, сорта.

### Введение

Белок зерна – один из основных факторов обуславливающих хлебопекарные свойства пшеницы. Качество белкового комплекса эндосперма мягких пшениц – это его способность образовывать клейковину с повышенной эластичностью. Клейковина формируется путем агрегации отдельных молекул белка при помощи различных связей: водородных, дисульфидных, ионных (электростатических) и других. Водородные связи слабые и при нагревании разрываются, поэтому играют незначительную роль в формировании хлебопекарных свойств муки. Это справедливо для физических связей, участвующих в агрегации полипептидов. В то же время, химическая связь, в виде –S–S– связи, отличается высокой стабильностью и не разрывается под температурным воздействием. Дисульфидные связи обусловлены наличием цистеина в белковых молекулах эндосперма. Следует отметить, что просто увеличение числа цистеиновых остатков на молекулу пептида не гарантирует соответствующего улучшения физических свойств клейковины. Это связано с тем, что сульфгидрильная группа –SH, которая в результате окисления с другими сульфгидрильными группами может образовывать как интрамолекулярные, так и интермолекулярные ковалентные связи –S–S– (рис.).

Соответственно, в формировании макромолекулярных высокополимерных белковых агрегатах участвуют только межмолекулярные дисульфидные мостики. В связи с этим, просто определение числа цистеина в белке может ничего не дать. Подтверждением этому могут быть результаты исследования качества трансгенной пшеницы на основе сорта «Bobwhite», несущей белки большим числом остатков цистеина, по сравнению с обычной пшеницей. В данном случае, наличие ржано-пшеничной транслокации 1RS.1BL даже ухудшало физические свойства клейковины по сравнению с обычной пшеницей [2]. Это связано с тем, что плечо 1RS обуславливает синтез ржанных белков эндосперма снижающих хлебопекарные качества зерна. В основе этого эффекта лежит неспособность секалинов ржи образовывать с пшеничными белками нерастворимые высокополимерные белковые комплексы, которые формируют клейковину с высокими физическими показателями качества [2].

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке ФУП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, Соглашение №14.А18.21.0200.

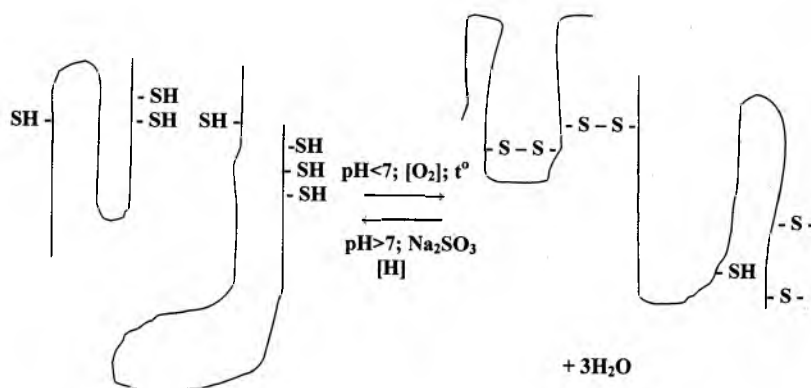


Рис. Схема образования интра- и интермолекулярных дисульфидных связей при формировании белкового комплекса эндосперма и факторы способствующие направлению реакции (по [1])

Лабораторией селекции и семеноводства пшеницы ГНУ Белгородского НИИСХ Россельхозакадемии на основе методов седиментации разработана методика определения числа дисульфидных связей белкового комплекса в муке [4]. Она прошла апробацию в течение ряда лет на сортах озимой мягкой пшеницы в условиях Белгородской области [1, 2, 4, 5].

Целью исследования являлась оценка агрегирующей способности белков муки за счет образования дисульфидных связей у разных сортов яровой мягкой пшеницы Сибири, урожая 2011 и 2012 годов, выращенного на территории Тюмени.

### Материал и методы исследований

В качестве растительного материала использовалось зерно 41 сорта яровой мягкой пшеницы, районированной в Западносибирском регионе РФ. Зерно урожая 2011 и 2012 годов этих сортов, выращенное в Тюмени, размалывалось на вальцовой мельнице Квадрумат-юниор с 30–35%-ным выходом муки. Полученная мука использовалась для определения количества дисульфидных связей белкового комплекса в соответствии с методикой, изложенной В.П. Нецветаевым и др. [4–5]. Отличия заключались в том, что полученные величины после двухэтапной седиментации не пересчитывались на процент белка или сухую клейковину. Полученные значения отражают реальные связи т. к. коэффициент корреляции между такими значениями и величинами, отнесенными на процент сухой клейковины, равен  $0.9847 \pm 0.0214$  ( $N=68$ ;  $t=45.96$ ). Коэффициент детерминации между данными показателями соответственно составляет 96.97%. Следовательно, для массового анализа достаточно исследовать у образцов величины SDS1 и SDS2, чтобы сделать заключение об их качестве [4]. Для статистической обработки полученных данных использовали программу StatNov, 1991.

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты оценки числа дисульфидных связей белкового комплекса в муке пшеницы яровых сортов, выращенных в Тюмене в течение 2011 и 2012 годов представлены в таблице 1.

Таблица 1  
Количество дисульфидных связей белкового комплекса муки по сортам яровой мягкой пшеницы в разные годы (Тюмень)

№ п/п	Название сорта	Количество дисульфидных связей в муке, усл. ед.		НСР <sub>0.95</sub>
		2011	2012	
1	2	3	4	5
1	Памяти Леонтьева	4.0	75.5	20.5
2	Красноуфимская 100	28.5	77.1	
3	Тюменская 30	23.8	69.8	
4	Новосибирская 18	21.0	75.1	
5	Чернява 13	19.5	69.3	
6	Сибирская 17	22.3	64.8	
7	Челяба степная	34.8	76.3	
8	Омская 38	17.0	71.0	



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	
9	Сударушка	25.0	66.1	(20.5)	
10	Ирень	52.3	72.3		
11	Тюменская 31	49.3	71.8		
12	Ильинская	51.0	75.5		
13	Радуга	22.5	67.1		
14	Икар	44.0	71.8		
15	ШТРУ-062272	41.5	70.8		
16	Сергори	53.3	78.3		
17	Новосибирская 15	56.5	76.8		
18	Новосибирская 29	47.8	76.8		
19	Новосибирская 31	48.8	77.5		
20	Мелодия	21.3	70.6		
21	Серебристая	20.0	69.0		
22	Свирель	24.0	72.5		
23	Авиада	24.0	69.8		
24	Геракл	24.8	61.0		
25	Маргарита	52.3	50.5		
26	Тюменская 29	46.8	75.3		
27	ОмГАУ 90	1.8	75.5		
28	ШТРУ-051911	32.5	79.8		
29	Тюменская 25	45.8	65.5		
30	ЛП-588-1-06	30.5	75.6		
31	Черноземноуральская	22.0	72.3		
32	Омская 36	23.3	75.5		
33	Тюменская 28	27.0	76.5		
34	Тюменская 27	28.5	68.3		
35	Боганская 51	31.5	70.5		
36	Тепсей	31.3	79.8		
37	СКЭНТ 3	40.0	74.5		
38	Кампанин	31.8	62.6		
39	Диоблон	42.5	69.3		
40	Люгеспенс 70	36.3	68.3		
41	Казахстанская 10	26.5	75.0		
НСР <sub>0.95</sub>		7.3	7.6		X
Доля вклада по двум годам, %: сорта – 10.4; года – 79.1; ошибка – 10.5					

Следует отметить, что обычный метод седиментации (Зелени или Пумпянского–Созинова) [6], используемый для оценки качества муки, характеризует общую агрегационную способность белкового комплекса зерновки. Учитывая, влияние на агрегацию белков слабых, в частности, физических связей, которые не оказывают существенного влияния на качество, он не применим для характеристики числа –S–S– между пептидами муки. Подтверждением этому являются данные В.П. Нецветаева и др. [4, 5]. Так, корреляция между показателем седиментации по Пумпянскому–Созинову и числом дисульфидных связей в 2008 г. составляла лишь 0.22 (n=74).

Как видно, в 2011 году уровень числа дисульфидных связей между пептидами муки в целом был значительно ниже по сравнению с 2012 годом, но показал значительную дифференциацию между сортами. С другой стороны, несмотря на более высокие значения числа –S–S– связей белкового комплекса изученных образцов, различия между сортами по этому показателю в 2012 году нивелировались. Таким образом, обобщая данные по этим годам, проведена оценка влияния наследственности и средового фактора на проявление данного показателя за эти вегетационные периоды (см. табл. 1). В целом, ведущая роль в формировании изменчивости по агрегационной способности белкового комплекса зерна, связанная с –S–S– связями, за эти годы была обусловлена средовым фактором, который составил 79.1%. Учитывая это, оценили метеорологические компоненты теплового периода этих лет урожая. Погодные условия, характеризующие вегетационные периоды 2011 и 2012 годов представлены в таблице 2.

Анализируя особенности метеорологических условий вегетации 2011 года, можно отметить, что в этот период вегетации температурные показатели были близки к средним многолетним. Количество осадков выпадало сравнительно равномерно по летним месяцам и несколько превысило за лето (на 36.1 мм) средне многолетние величины. 2012 год отличался повышенными температурами летнего периода. В целом превышение средних температур этого периода вегетации над средними многолетними температурами составило 2.3°. Осадки выпа-



дали неравномерно по месяцам. Наибольшее их количество пришлось на первый месяц вегетации. Следующие месяцы немного отличались от средних многолетних показателей. В результате за вегетационный период выпало на 56.8 мм осадков выше нормы.

Таблица 2

**Погодные условия вегетационного периода 2011 и 2012 гг. в Тюмени [7]**

Месяцы	Средние много- летние	2011	± к ср. много- летним	2012	± к ср. много- летним
температура, °С					
Июнь	16.6	18.2	+1.6	19.6	+3.0
Июль	18.9	17.4	-1.5	21.1	+2.2
Август	15.5	14.5	-1.0	17.2	+1.7
Среднее	17.0	16.7	-0.3	19.3	+2.3
осадки, мм					
Июнь	58	85.5	+27.5	128.7	+70.7
Июль	69	55	-14	45.7	-9.3
Август	57	79.6	+22.6	52.4	-4.6
Сумма	184	220.1	+36.1	226.8	+56.8

Таким образом, 2011 год по температурным условиям был близок средним многолетним для Тюмени. Судя по данным, представленным в таблице 1, такие условия способствовали наибольшей дифференциации изученных сортов по степени агрегации белкового комплекса зерновки с помощью дисульфидных связей. Это совпадает с данными, полученными на озимой мягкой пшеницы в условиях Белгородской области [2]. Более того, было показано, что в год наибольшей дифференциации по этому показателю наименьшей агрегацией за счет дисульфидных связей обладали формы с ржаными транслокациями 1BL.1RS и 1AL.1RS. В нашем случае, наименьшее число –S–S– связей было у сортов Памяти Леонтьева (4.0), ОмГАУ 90 (1.8) и Омская 38 (17.0) (см. табл. 1). Характерно, что сорт Омская 38 несет ржаную транслокацию 1BL.1RS [8]. В связи с этим, можно ожидать, что сорта Памяти Леонтьева и ОмГАУ 90 также являются носителями ржаной транслокации, ответственной за синтез запасных белков ржи в геноме пшеницы.

Характерно, что в 2012 году эти три сорта по числу дисульфидных связей не уступали сортам, показавшим высокие значения по данному показателю в предшествующий год. Это совпадает с результатами, полученными ранее на озимой пшенице [2] и не противоречит данным, представленным на рисунке, где температура является одним из факторов, способствующих формированию дисульфидных связей.

### Выводы

1. Показатель числа дисульфидных связей белкового комплекса муки яровой мягкой пшеницы является наиболее информативным в годы, близкие по погодным условиям вегетационного периода к средним многолетним для Тюменской области.
2. В годы с температурами в период вегетации выше среднемноголетних наследственные различия по числу дисульфидных связей у яровой пшеницы нивелируются.
3. По числу дисульфидных связей между пептидами муки и данных по погодным условиям летнего периода можно идентифицировать год урожая исследуемого образца.
4. На основе более низкой реакции на условия среды возможно выделять формы с повышенным качеством, обусловленным наследственностью.

### Список литературы

5. Новый подход к оценке качества зерна мягкой пшеницы // В.П. Нецветаев, Л.С. Бондаренко, О.В. Акиншина, Т.А. Рыжкова // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №9. – С. 24–26.

1. Новые подходы к оценке качества зерна озимой мягкой пшеницы / В.П. Нецветаев, О.В. Лютенко., Л.С. Пащенко, И.И. Попкова // Белгородский Агромир. – 2010. – №1(54). – С. 27–29.

2. Рыбалка А.И., Казарда Д.Д., Созинов А.А. R-глиадины – проламины ржи, синтезирующиеся в эндосперме пшеницы // Сельскохозяйственная биология. – 1985. – №2. – С. 34–42.

3. Методы седиментации и оценка качества клейковины мягкой пшеницы / В.П. Нецветаев, О.В. Лютенко, Л.С. Пащенко, И.И. Попкова // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». – Белгород, 2009. – №11(66). Вып. 9/1. – С. 56–64.

4. Оценка качества зерна мягкой пшеницы SDS-седиментацией / В.П. Нецветаев, О.В. Лютенко, Л.С. Пащенко, И.И. Попкова // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – №3. – С. 63–70.

6. Созинов А.А. Определение показателя седиментации (набухаемости) муки в уксусной кислоте / А.А. Созинов, Н.И. Блохин, И.И. Василенко и др. // Методические рекомендации по оценке качества зерна. – М., 1977. – С. 118–120.



7. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Тюменской области в 2012 году и прогноз развития вредных объектов в 2013 году. ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр». Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Тюменской области. – Тюмень, 2012 г. – 140 с.

8. Особенности сортов яровой мягкой пшеницы западной Сибири, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL / Н.В. Трубачева, Л.П. Россеева, И.А. Белан и др. // Генетика. – 2011. – Т. 47. – №1. – С. 18–24.

## THE ROLE OF HEREDITY AND ENVIRONMENT IN AGGREGATING ABILITY FORMATION OF SOFT WHEAT GRAIN PROTEIN COMPLEX

**M.K. Akhtarieva**<sup>1</sup>,  
**L.S. Bondarenko**<sup>2,3</sup>,  
**O.V. Akinshina**<sup>2,3</sup>,  
**V.P. Netsvetaev**<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State Academia of Agriculture, 7 Republic St, Tyumen, 625003, Russia  
E-mail: marina-che@mail.ru

<sup>2</sup>Belgorod State Research Institute of Agriculture RAA, 58 Oktjabr'skaja St, Belgorod, 308001, Russia  
E-mail: netsvetaev@bsu.edu.ru

<sup>3</sup>Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

41 varieties of soft spring wheat have been studied concerning the aggregating ability of bread-stuffs protein complex using the disulfide bonds in conditions of Tyumen. The bread-stuffs proteins from the grain of 2011 harvest had lower rates of -S-S-bonds number compared to these samples of 2012 harvest. At the same time, in 2011, which was close to the average temperature of many years by temperature conditions of the vegetation period, there was a significant differentiation between the varieties on this index. The varieties OmGAU 90, Pamyati Leontieva, Omskaya 38 had the lowest rates of disulfide bonds number (1.8-17.0 of standard units). Among this set of varieties Elyinskaya, Irene, Margaret, Sertori and Novosibirskaya 15 had the highest rates of this index (51.0–56.5 of standard units) in 2011. In 2012, the temperature of the vegetation period was 2.3° higher than the average temperature of many years, which contributed to a more intensive formation of the disulfide bonds in the protein complex. This has led to a significant increase in the -S-S-bonds number in the bread-stuffs of the varieties under study and smoothed the inherited differences on this index.

Key words: soft spring wheat, disulfide bonds, growing conditions, varieties.