



УДК 633.11«324»:631.524

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-1-30-37

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА В ПОТОМСТВЕ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ ГИБРИДИЗАЦИИ С АМИЛОПЕКТИНОВЫМ СОРТОМ**RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GRAIN IN PROGENY OF WINTER COMMON WHEAT FROM HYBRIDIZATION WITH AMYLOPECTIN VARIETY****В.П. Нецветаев, М.Ю. Третьяков, Я.О. Козелец, А.П. Ащеулова
V.P. Netsvetaev, M.Yu. Tretyakov, Ya.O. Kozelets, A.P. Ascheulova**

Белгородский Федеральный аграрный научный центр Российской академии наук, Россия, 308001,
г. Белгород, ул. Октябрьская, 58

Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Oktyabrskaya str., 58,
Belgorod, 308001, Russia

E-mail: v.netsvetaev@yandex.ru

Аннотация

Исследовали реологические свойства зерна озимой мягкой пшеницы урожая 2017 года в потомстве от гибридизации с амилопектиновым сортом Софийка. Погодные условия этого года способствовали дифференциации образцов по реологическим свойствам, связанным с углеводным составом семени. На основе анализа на приборе Миксолаб выделены формы, имеющие реологические параметры крахмального комплекса подобные сорту Софийка. Обнаружена существенная положительная связь между урожайностью и водопоглотительной способностью зерна ($r = 0.472 \pm 0.167 \div 0.697 \pm 0.136$). На высокие значения результирующей углеводной части семени (Ретроградацию) влияют повышенные величины Вязкости и Амилазы, что приводит к ухудшению качества хлебопекарной продукции. На Ретроградацию не влияют особенности белковой части зерна. Индекс деформации клейковины (ИДК) отражает ее качество и влияет на реологический индекс Замес ($r = -0.741 \pm 0.127$; $t = 5.842$). Это позволило одновременно контролировать качество зерна селекционных образцов, обусловленное как белковым, так и углеводным комплексами эндосперма.

Abstract

Rheological properties of grain in common winter wheat harvest in 2017 in the progeny from hybridization with amylopectin variety Sofiyka was investigated. Weather conditions this year contributed to the differentiation of samples on the rheological properties associated with carbohydrate composition of the seed. Based on the analysis on the Mixolab device selected shape having the rheological properties of the starch complex of similar class Sofiyka. Found significant positive relationship between yield and water absorption capacity of grain ($r = 0.472 \pm 0.167 \div 0.697 \pm 0.136$). For high values of the resulting carbohydrate, part of the seed (Retrogradation) is influenced by increased values of Viscosity and Amylase, which leads to deterioration in the quality of bakery products. The Retrogradation is not affected by the peculiarities of the protein part of the grain. An index of gluten deformation (IGD) reflects its quality and affects the rheological index Mixing ($r = -0.741 \pm 0.127$; $t = 5.842$). This is allowed to at the same time control the quality of the grain samples, caused by both protein and carbohydrate complexes in the endosperm.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, качество зерна, реологические свойства, Миксолаб, амилопектиновый крахмал.

Keywords: common winter wheat, grain quality, rheological properties, Mixolab, amylopectin starch.

Введение

Качество зерна мягкой пшеницы зависит как от наследственных особенностей белкового, так и углеводного комплексов [Payne et al., 1979, 1984; Sozinov, Poperelya, 1980; Попереля, 1996; Sasaki, 2002; Рыбалка, 2011; Нецветаев и др., 2015]. Реологические свойства шрота, оцениваемые на приборе Миксолаб (Франция) позволяют оценить роль белкового и углеводного факторов в формировании качества [Нецветаев и др., 2015]. Основным индексом, отражающим влияние белковой части зерна на его технологические свойства, является *Замес*. Показатели *Вязкость*, *Амилаза* и *Ретроградация* связаны с особенностями углеводной части зерновки. В частности, изменением вида крахмала (амилозный/амилопектиновый). Следует отметить, что численные величины данных трех индексов зависят от наследственных факторов и факторов среды [Нецветаев и др., 2015; 2016; 2017]. Показатель *ВПС* (водопоглотительная способность) влияет на выход выпечки. Соответственно, чем выше его величина, тем выше выход конечной продукции из одной и той же массы муки. Наследственная вариация по углеводному комплексу зерновки связана у гексаплоидной пшеницы с влиянием трех генов *Wx* (*Wx-A1*, *Wx-B1*, *Wx-D1*), которые впервые у пшеницы были идентифицированы с помощью 2D-PAGE [Nakamura et al., 1993]. Они кодируются тремя гомеологичными *Wx* локусами *Wx-A1*, *Wx-B1*, *Wx-D1*, расположенные на хромосомах *7AS*, *4AL*, *7DS* [Chao et al., 1989; Nakamura et al., 1993]. Качество зерна, обусловленное белковой частью семени связано с пептидами, которые имеют в своем составе остатки цистеина, которые способны формировать белковый комплекс через дисульфидные связи [Shewry et al., 1992]. На эту способность влияют наследственные и средовые факторы [Нецветаев и др., 2010а, 2012, 2016]. Наследственная составляющая белкового комплекса связана с хромосомами 1 и 6 гомеологичных групп генома пшеницы [Payne 1987; Попереля, 1996; Рыбалка, 2011] и хромосомами *4B*, *5A*, *4D* [Netsvetaev et al., 2014].

Целью работы являлось оценить возможность выявления образцов пшеницы с повышенным содержанием амилопектина в зерне и сопряженность реологических показателей качества между собой, используя прибор Миксолаб.

Материалы и методы исследования

Метеорологические условия первой половины 2017 года представлены в таблице 1.

Таблица 1

Table 1

Среднемесячные метеорологические условия 2017 года, п. Гонки (Белгородский ФАНЦ РАН)

The average monthly meteorological conditions of 2017, v. Gonki (Belgorod FARC of RAS)

Месяц	Температура, °С			Осадки, мм		
	2017	Средне многолетняя	±отклонение	2017	Средне многолетние	±отклонение
Январь	-6.2	-8.5	+2.3	46.0	36.0	+10
Февраль	-3.6	-6.4	+2.8	24.1	32.0	-7.9
Март	4.2	-2.5	+6.7	16.5	34.0	-17.5
Апрель	8.1	3.5	+4.6	25.0	41.0	-16.0
Май	13.7	14.6	-0.9	32.2	47.0	-14.8
Июнь	18.6	17.9	+0.7	22.0	63.0	-41.0
Июль	23.0	19.9	+3.1	53.7	69.0	-15.3
Август	24.7	18.7	+6.0	56.0	31.0	+25.0
Сентябрь	17.8	12.9	+4.9	8.5	40.0	-31.5

Образцы озимой мягкой пшеницы, где одним из родителей был амилопектиновый сорт Софийка, высевались рядовой сеялкой СНК-6-10 на делянках площадью 10 м², в 4-х

кратной повторности. Весеннюю подкормку посевов проводили аммиачной селитрой из расчета 2 ц/га (в туках). Уборку провели 27 июля 2017 г. комбайном САМПО 130. Очистку зерна осуществляли с помощью устройства ВИМ-1. Размол образцов зерна до шрота производили на мельнице модели MF 10B. Реологические свойства зерна определяли на приборе Mixolab [Нецветаев и др., 2010b; 2010c]. Количество и качество клейковины устанавливали в соответствии с модификацией Нецветаева и др. [Нецветаев и др., 2006], что позволяет убрать часть средовой изменчивости. Корреляционный анализ проводили с использованием программы Nirsmain.

Результаты исследований и их обсуждение

Ранее показано [Нецветаев и др., 2015], что наиболее эффективно идентифицировать амилопектиновые генотипы пшеницы по качественной реакции йода на крахмал в пыльцевых зёрнах (рис.).

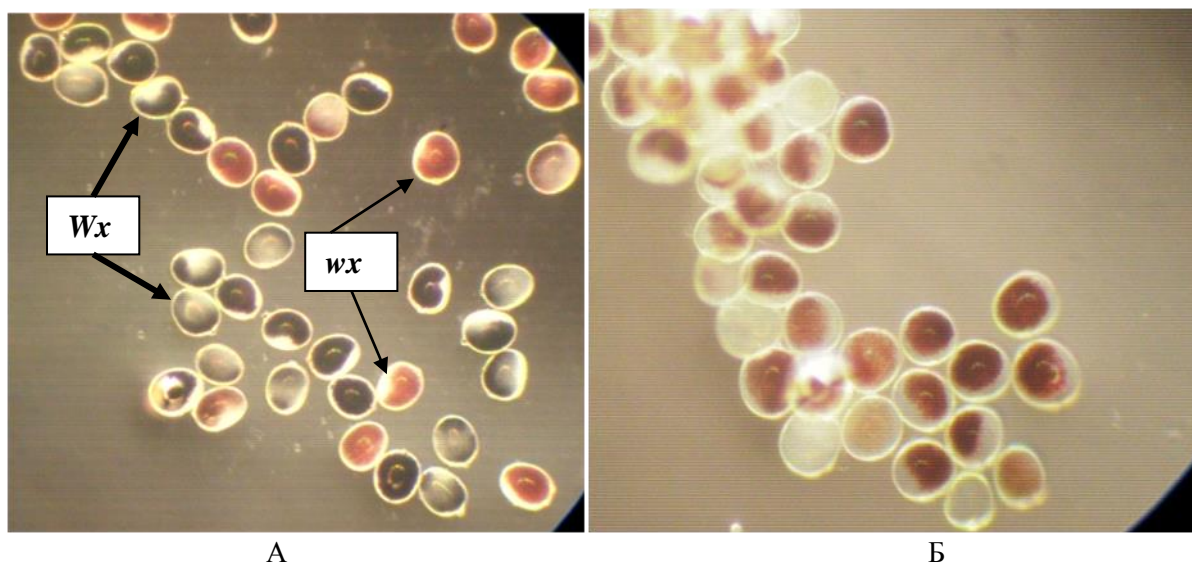


Рис. Расщепление окраски пыльцевых зёрен с растений: А – F₁ 77/12 × ‘Софийка’, Б – сорта ‘Софийка’ по йодной реакции (увеличение 15×20) [Нецветаев и др., 2015]

Fig. Fission staining pollen grains from plants: А – F₁ 77/12 × ‘Sofiyka’, В – ‘Sofiyka’ variety of iodine reaction (enlargements 15×20) [Netsvetaev et al., 2015]

В нашем случае, использовались особенности реологических свойств шрота зерна для идентификации характеристики крахмального комплекса анализируемых образцов озимой пшеницы. Следует отметить, что не всегда погодные условия в период налива и созревания зерна способствуют дифференциации реологических свойств, обусловленных углеводным комплексом, носителей генов, обуславливающих формирование крахмала разного типа.

Условия, сложившиеся в первой половине года (январь-июль), характеризовались превышением средней месячной температуры над среднегодовой на 2.8°C (см. табл. 1). В то же время, количество осадков за этот период было меньше на 14.6 мм в месяц. Июль отличался недостатком влаги. В частности, 25.7 мм июльских осадков выпало после уборки урожая (30.07.2017 г.). Такие условия температуры и обеспечения влагой в период налива и созревания способствуют агрегации белкового комплекса и отсутствию амилазной активности в зерне [Нецветаев и др., 2015]. Избыточная влажность в этот период приводит к «стеканию зерна», прорастанию его на корню и нивелированию различий по индексам *Вязкость*, *Амилаза* и *Ретроградация* между формами, имеющими крахмал амилозного и амилопектинового типа. Таким образом, условия среды 2017 г. в период налива и созревания зерна препятствовали разрушению крахмала под действием ферментов. Подтверждением этому являются контрастные различия между сортами с амилозным (‘Альмера’) и амилопектиновым (‘Софийка’) типом крахмала (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Результаты оценки качества шрота ПСИ-17 и КП-17 у озимой мягкой пшеницы
в Белгородском ФАНЦ РАН
The results of the assessment of the meal quality from Preliminary Test-17 and Control
Nursery-17 in winter common wheat in Belgorod FARC of RAS

№ 2017	Комбинация	ВПС 1 %	ВПС 2	Замес	Глютен +	Вязкость	Амилаза	Ретроградация	ИДК, ед.
1	Альмера	61.4	5	6	7	2	7	9	78.3
264	Волж.100×Софий.	62.0	7	6	2	0	5	2	77.6
265	Волж.100×Богд.	63.2	8	3	5	2	2	2	82.3
267	650/00×Софийка	64.2	8	7	6	3	4	5	74.7
268	106/12×Софийка	64.8	8	5	1	1	3	2	81.6
271	«	64.8	8	5	5	1	5	5	86.0
274	Синт.×Софийка	65.7	8	1	6	2	4	4	94.7
275	«	68.9	9	3	4	1	3	3	84.4
277	«	68.7	9	2	4	0	5	2	90.6
285	«	65.7	8	6	4	1	4	4	75.8
297	«	66.2	8	5	3	1	4	4	83.6
298	«	66.4	8	6	2	1	4	2	70.5
305	Бел.19×Софийка	61.5	6	4	3	3	4	5	96.4
311	«	63.3	8	6	2	1	4	4	83.2
313	«	63.5	8	5	2	1	4	3	73.6
315	«	64.0	8	5	3	1	4	2	68.9
317	«	64.8	8	3	2	0	5	2	81.4
319	«	64.8	8	3	3	2	4	5	90.6
321	«	64.0	8	4	3	1	3	3	75.2
330	Волж.100×Софий	61.5	6	5	2	1	5	5	76.6
499	«	68.1	9	2	5	1	4	3	87.3
521	Богд.×Уни1	67.5	9	5	4	1	4	4	78.9
577	Софий.×Волж.100	67.2	9	5	2	0	5	2	80.5
579	Софий.×Богд.	66.1	8	4	4	1	5	5	77.3
595	77/12×Софийка	69.5	9	5	2	5	5	3	68.7
601	«	68.3	9	2	6	3	7	5	93.4
603	«	65.5	8	2	6	3	4	5	96.2
617	50/12×Софийка	61.6	6	6	7	6	5	7	75.9
633	114/12×Софийка	62.0	7	6	5	7	7	8	67.0
645	106/12×Софийка	67.0	8	6	3	0	4	2	73.2
13	Софийка	73.2	9	4	3	0	5	2	67.5-
	Среднее	65,07	7.87	4.43	3.77	1.75	4.43	3.90	80.8

Примечание: индексы реологических свойств выражаются в баллах.

Как видно, в потомстве форм от гибридизации сортов мягкой пшеницы, имеющих обычный крахмал, с амилопектиновым сортом выщепляются семьи близкие по реологическим показателям углеводной части семени к 'Софийке' (№264/17, 277/17, 317/17, 577/17, 645/17). Следовательно, эти образцы близки по генотипу, связанному с углеводным составом, к родительскому сорту 'Софийка'. В то же время, ряд форм занимают



промежуточное положение по данным индексам между родительскими образцами (см. табл. 2), что может свидетельствовать о гетерогенности этих образцов по генам Вакси.

Индексы реологических показателей на приборе Миксолаб выражаются в целых цифрах (см. табл. 2). С целью оценить соответствие их абсолютным значениям, определяли коэффициент корреляции между показателями ВПС1 и ВПС2. На основе данных таблицы 2 коэффициент корреляции эти показателей (r) равен 0.867 ± 0.094 ; $t = 9.194^{***}$ ($P < 0.0001$; $n = 30$). Следовательно, величины ВПС1 и ВПС2 высоко значимы между собой. Учитывая важность ВПС в технологических процессах получения хлебопекарной продукции, оценили сопряженность этого показателя с другими реологическими индексами. Результаты демонстрирует таблица 3.

Таблица 3
Table 3

Корреляция между показателями водопоглощения шрота и его реологическими свойствами у озимой мягкой пшеницы в 2017 г., $n = 30$ (r/t)
Correlation between the water absorption rates of the meal and its rheological properties in winter common wheat in 2017, $n = 30$ (r/t)

Показатели	Замес	Глютен ⁺	Вязкость	Амилаза	Ретроградация
ВПС 1	$-0.409 \pm 0.172 / 2.376^*$	$-0.070 \pm 0.189 / 0.371$	$-0.246 \pm 0.183 / 1.344$	$-0.110 \pm 0.188 / 0.587$	$-0.453 \pm 0.168 / 2.691^*$
ВПС 2	$-0.393 \pm 0.174 / 2.261^*$	$-0.200 \pm 0.185 / 1.082$	$-0.299 \pm 0.180 / 1.659$	$-0.309 \pm 0.180 / 1.722$	$-0.619 \pm 0.148 / 4.174^{***}$

Примечание (здесь и далее): *, **, *** – различия существенны, соответственно, при $p > 0.95$; 0.99; 0.999.

Как видно, на величину ВПС влияет как белковая часть зерна (*Замес*), так и результирующая углеводной части семени (*Ретроградация*). Результаты данной таблицы можно интерпретировать следующим образом. Улучшение технологических качеств по замесу приводит к снижению водопоглотительной способности. С другой стороны, снижение ретроградации, т.е. улучшение качества, способствует увеличению ВПС. В то же время необходимо отметить, что крайние значения показателя *Ретроградации* неблагоприятны для формирования высококачественной выпечки.

Учитывая гетерогенность, представленного материала по реологическим свойствам, было крайне важно оценить насколько они, и некоторые другие количественные признаки, сопряжены с зерновой продуктивностью. Результаты демонстрирует таблица 4.

Таблица 4
Table 4

Оценка сопряженности реологических показателей шрота зерна озимой мягкой пшеницы с урожайностью (2017 г., п. Гонки, Белгородский ФАНЦ РАН) ($n = 30$)
Estimation of connected of rheological indexes of meal in winter common wheat with the productivity (2017, $n = 30$, v. Gonki, Belgorod FARC of RAS)

Показатели	Урожайность		
	r	t	p
Ретроградация	-0.017 ± 0.188	0.092	<0.80
Замес	-0.338 ± 0.178	1.899	<0.95
Глютен ⁺	0.352 ± 0.177	1.990	<0.95
Вязкость	-0.009 ± 0.189	0.050	<0.80
Амилаза	0.012 ± 0.189	0.063	<0.80
ВПС2	0.472 ± 0.167	2.797*	>0.95
ВПС1	0.697 ± 0.136	5.138***	>0.999
ИДК	0.225 ± 0.184	1.222	<0.80
Высота растения	-0.115 ± 0.188	0.612	<0.80

В целом, наиболее сильно и положительно была сопряжена с урожайностью водопоглотительная способность зерна, показавшая высокие уровни вероятности взаимосвязи этих показателей (см. табл. 3). Таким образом, доля влияния ВПС в формирование урожайности может определять до 22.3–48.6% изменчивости по этому признаку в популяции, где одним из родителей была ‘Софийка’. Реологические индексы, обусловленные особенностями углеводной части зерна, не были ассоциированы с урожайностью. Следовательно, можно ожидать, что введение генов Вакси не будет служить препятствием при создании новых высокопродуктивных сортов озимой пшеницы. В то же время, показатели, отражающие белковую часть зерна *Замес* и *Глютен*⁺, показали тенденцию по влиянию на формирование урожайности (см. табл. 3), но различия не были существенны. Возможно, это связано с количеством белка, который положительно влияет на *Замес*, но отрицательно связан с урожайностью [Хохлов, 1987].

Учитывая вариацию по отдельным элементам реологических показателей в исследуемом материале, целесообразно было оценить их взаимосвязь между собой. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5
Table 5

Корреляция между показателями качества шрота у образцов озимой мягкой пшеницы, расщепляющихся по генам Вакси в 2017 г., $n = 30$ (r/t)
The correlation between the meal quality parameters of winter wheat samples for genes fissile Wx/wx in 2017, $n = 30$ (r/t)

Показатели	Замес	Глютен ⁺	Вязкость	Амилаза
Глютен	-0.217±0.184 / 1.176			
Вязкость	0.120±0.188 / 0.641	0.472±0.167 / 2.834**		
Амилаза	0.141±0.187 / 0.752	0.305±0.180 / 1.695	0.368±0.176 / 2.096*	
Ретроградация	0.192±0.185 / 1.033	0.643±0.145 / 4.44***	0.639±0.145 / 4.397***	0.598±0.152 / 3.95***
ИДК	-0.741±0.127 / 5.842***	0.275±0.182 / 1.515	-0.141±0.187 / 0.754	-0.094±0.188 / 0.501

Как видно, между замесом (*Замес*) и индексом деформации клейковины (*ИДК*) проявляется существенная отрицательная связь. В то же время, реологические свойства, связанные с углеводной частью зерна, не влияли на *Замес*, как ведущего показателя качества муки (шрота). Индекс *Глютен*⁺ положительно влиял на *Вязкость* и, соответственно, на результирующую углеводного комплекса – *Ретроградацию*. *Ретроградация* отражает степень кристаллизации крахмала и обуславливает интенсивность черствения хлеба. Индекс деформации клейковины (*ИДК*) не был связан с этим показателем ($r = 0.042 \pm 0.189$, $t = 0.221$). Судя по таблице 5, индексы *Вязкости* и *Амилазы* оказывали положительное влияние на *Ретроградацию*. Следовательно, высокие значения показателей, влияющих на *Ретроградацию*, увеличивают степень кристаллизации крахмала, ухудшая его качество.

Выводы

Сложившиеся условия среды 2017 года позволили раздифференцировать потомство, от гибридизации с амилопектиновым родителем озимой мягкой пшеницы, по реологическим свойствам, связанным с углеводным и белковым комплексами зерна. Выделены формы (№264/17, 277/17, 317/17, 577/17, 645/17) близкие по реологическим показателям углеводной части семени к амилопектиновому сорту ‘Софийке’. Некоторые



из них (№264/17, 577/17, 645/17) превосходят этот сорт по качеству, связанному белковой частью семени.

Обнаружена существенная положительная связь между урожайностью и водопоглотительной способностью зерна (ВПС) ($r = 0.472 \pm 0.167 = 0.697 \pm 0.136$). На водопоглотительную способность зерна влияют особенности как белковой, так углеводной части семени.

На высокие значения *Ретроградации* влияют повышенные величины *Вязкости* и *Амилазы*, что приводит к ухудшению качества хлебопекарной продукции. На *Ретроградацию* не влияют особенности белковой части зерна.

Пониженные значения индекса деформации клейковины обуславливают более качественные показатели *Замеса* ($r = -0.741 \pm 0.127$; $t = 5.842^{***}$).

Список литературы References

1. Нецветаев В.П., Акиншина О.В., Бондаренко Л.С. 2014. Использование гомозиготной популяции для генетического анализа бета-амилазы и оценки её агрегирующей способности у озимой мягкой пшеницы. *Генетика*, 50 (11): 1305–1309.

Netsvetaev V.P., Akinshina O.V., Bondarenko L.S. 2014. Use of the Common Winter Wheat Homozygous Population for Genetic Analysis of Beta-amylase and Evaluation of Its Aggregation Ability. *Russian Journal of Genetics*, 50 (11): 1156–1160.

2. Нецветаев В.П., Бондаренко Л.С., Акиншина О.В. и др. 2012. Новый подход к оценке качества зерна мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*, (9): 24–26.

Netsvetaev V.P., Bondarenko L.S., Akinshina O.V. et al. 2012. A New Approach to the Evaluation of the Quality in Common Wheat Grain. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, (9): 24–26. (in Russian)

3. Нецветаев В.П., Лютенко О.В., Пашченко и др. 2010а. Оценка качества зерна мягкой пшеницы SDS-седиментацией. *Сельскохозяйственная биология*, (3): 63–70.

Netsvetaev V.P., Lutenko O.V., Pashchenko L.S. et al. 2010a. Evaluation of the quality of common wheat grains by SDS sedimentation. *Agricultural Biology*, (3): 63–70. (in Russian)

4. Нецветаев В.П., Моторина И.П., Петренко А.В. 2006. Модификация метода определения качества клейковины пшеницы на приборе ИДК-1. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 23/4(3): 141–144.

Netsvetaev V.P., Motorina I.P., Petrenko A.V. 2006. Modification of the method for determining the quality of wheat gluten on an IDK-1 device. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*, 23/4 (3): 141–144. (in Russian)

5. Нецветаев В.П., Нерубенко О.Е., Бондаренко Л.С. и др. 2017. Гетерогенность сорта пшеницы как основа улучшения его в процессе первичного семеноводства. *Достижения науки и техники АПК*, 31 (6): 43–46.

Netsvetaev V.P., Nerubenko O.E., Bondarenko L.S. et al. 2017. Heterogeneity of the Wheat Variety as the Basis for Its Improvement in the Primary Seed. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 31 (6): 43–46. (in Russian)

6. Нецветаев В.П., Рыжкова Т.А., Бондаренко Л.С., и др. 2016. Наследственная и средовая вариация качества зерна озимой мягкой пшеницы в условиях Белгородской области. *Зерновое хозяйство России*, (4): 11–14.

Netsvetaev V. P., Ryzhkova T.A., Bondarenko L. S. et al. 2016. Genetic and environmental variation of grain quality in winter common wheat under the conditions of Belgorod region. *Grain Economy of Russia*, (4): 11–14. (in Russian)

7. Нецветаев В.П., Рыжкова Т.А., Третьяков М.Ю. 2015. Качество мягкой пшеницы: генетика и селекция. Белгород, 158.

Netsvetaev V.P., Ryzhkova T.A., Tretyakov M.Yu. 2015. Kachestvo mnyagkoj pshenicuy: genetika i selekcija [The quality of common wheat: genetics and breeding]. Belgorod, 158. (in Russian)

8. Нецветаев В.П., Третьяков М.Ю., Лютенко О.В. и др. 2010b. Сравнительная оценка реологических свойств муки и шрота мягкой пшеницы на приборе Mixolab. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 13 (21): 56–62.

Netsvetaev V.P., Tretyakov M.Yu., Lytenko O.V. et al. 2010b. Comparative evaluation of the rheological properties of common wheat flour and meal on a Mixolab device. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*, 13 (21): 56–62. (in Russian)

9. Нецветаев В.П., Третьяков М.Ю., Лютенко О.В. и др. 2010с. Оценка качества муки озимой мягкой пшеницы в процессе селекции. *Достижения науки и техники АПК*, (11): 49–52.

Netsvetaev V.P., Tretyakov M.Yu., Lytenko O.V. et al. 2010с. Evaluation of the quality of winter common wheat flour in the process of breeding. *Achievements of science and technology in Agro-Industrial Complex*, (11): 49–52. (in Russian)

10. Попереля Ф.О. 1996. Три основні генетичні системи якості зерна озимої м'якої пшениці. *В кн.: Реалізація потенційних можливостей сортів та гібридів Селекційно-генетичного інституту в умовах України*. Одеса: 117–132.

Poperelya F.O. 1996. Three main genetic systems of quality in common wheat. *In: Realization of potential possibilities of varieties and hybrids of the Plant-Breeding and Genetic Institute in the conditions of Ukraine (Materials of Scientific Papers)*. Odessa: 117–132. (in Ukrainian)

11. Рыбалка, А.И. 2011. Якість пшениці та її поліпшення. К., 496.

Rybalka A.I. 2011. *Jakist' pshenici ta ii polipshennja* [The quality of wheat and its improvement]. Kiev, 496. (in Ukrainian)

12. Хохлов А.Н. 1987. О причинах отрицательной зависимости между величиной урожая и белковостью зерна пшеницы. *Биологические науки*, (5): 5–16.

Khokhlov A.N. 1987. On the causes of the negative relationship between the magnitude of the yield and the protein content of wheat grain. *Biological Sciences*, (5): 5–16. (in Russian)

13. Chao S., Sharp P.J., Worland A.J. et al. 1989. RFLP-based genetic maps of wheat homoeologous group 7 chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics*, 78 (4): 495–504.

14. Nakamura T., Yamamori M., Hirano H. et al. 1993. Identification of three Wx proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biochemical Genetics*, 31(1–2): 75–86.

15. Payne P. 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Biology*, (38): 141–153.

16. Payne P., Corfield K., Blackman J. 1979. Identification of high-molecular-weight glutenin subunits whose presence correlates with bread-making quality in wheats of related pedigree. *Theoretical and Applied Genetics*, (55): 153–159.

17. Payne P., Holt L., Jackson E., Law C. 1984. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, (304): 359–371.

18. Sasaki, T. 2002. Rheological properties of mixed gels using waxy and non-waxy wheat starch. *Starch/Stärke*, 54 (9): 410–414.

19. Shewry P., Halford N., Tatham A. 1992. High-molecular-weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, (15): 105–120.

20. Sozinov A., Popereya F. 1980. Genetic classification of prolamins and its use for plant breeding. *Annales de Technologie Agricole*, (29): 229–245.