

Сравнение российской оценки хлебопекарных свойств пшеницы и определение качества зерна с использованием миксолаба

Елена П. Мелешкина	1	kachestvovniiz@mail.ru	 0000-0003-1339-7150
Наталья С. Жильцова	1	nata007-08@mail.ru	 0000-0002-3436-6049
Светлана Н. Коломиец	1	kolomietcs@mail.ru	 0000-0002-3130-2285
Ольга И. Бундина	1	boi888@mail.ru	 0000-0002-7821-6042

1 ВНИИЗ-филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследований качества российской мягкой пшеницы (67 образцов), выращенной в разных почвенно-климатических условиях и обладающих широким диапазоном показателей качества: количество клейковины варьировало от 5,7 (Южный федеральный округ) до 33,2% (Приволжский федеральный округ), качество клейковины – от 9 (Центральный ФО) до 128 ед. ИДК (ЮФО), число падения – от 66 до 449 с. (Приволжский ФО). Изучение реологических свойств теста осуществляли на приборе миксолаб в классическом режиме «Chopin Wheat+». По показателям профайлера (радиальная диаграмма) установлено, что исследуемое зерно характеризовалось в среднем повышенной водопоглотительной способностью, максимальной вязкостью и ретроградацией крахмала и пониженной амилолитической активностью и устойчивостью теста. Корреляционным анализом установлена тесная связь между показателями качества зерна и хлеба, особенно тесная связь с количеством клейковины. Расчет парной корреляции между показателями профайлера и качества зерна пшеницы выявил умеренную связь водопоглощения с количеством клейковины (0,466) и числом падения (0,384), устойчивости теста с качеством клейковины (-0,438), а также тесную связь вязкости, амилолитической активности и ретроградации крахмала с числом падения (0,659; 0,821 и 0,866 соответственно). Индекс «глютен+» не показал устойчивой связи ни с одним из показателей качества зерна, но имелась слабая связь с числом падения. Регрессионным анализом установлена наиболее тесная криволинейная связь между крутящим моментом и числом падения на участках клейстеризации, желатинизации и ретроградации крахмала.

Ключевые слова: зерно пшеницы, мука, реологические свойства, миксолаб, индексы профайлера, корреляционный, регрессионный анализ

Comparison of Russian assessment of bakery properties of wheat and determination of grain quality using mixolab

Elena P. Meleshkina	1	kachestvovniiz@mail.ru	 0000-0003-1339-7150
Natalya S. Zhiltsova	1	nata007-08@mail.ru	 0000-0002-3436-6049
Svetlana N. Kolomiets	1	kolomietcs@mail.ru	 0000-0002-3130-2285
Olga I. Bundina	1	boi888@mail.ru	 0000-0002-7821-6042

1 VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatoва RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia

Abstract. The results of quality research on the Russian soft wheat (67 samples), grown in different soil and climatic conditions and having a wide range of quality factors: the amount of gluten varied from 5.7 (Southern federal district) to 33.2% (Volga federal district), gluten quality - from 9 (Central Federal District) to 128 units. IDK (Southern Federal District), the falling-number value - from 66 to 449 s. (Volga Federal District). The rheological properties of dough were studied using the mixolab device in a classic «Chopin Wheat+» mode. According to the profiler indicators (radial chart), it was established that the test grain was characterized the average by increased water absorption capacity, maximum starch viscosity and retrogradation, as well as by reduced amylolytic activity and dough resistance. Correlation analysis established a close association of the quality factors of grain, especially of the gluten amount, with the quality factors of bread. The calculation of the pair correlation of the profiler indicators and wheat grain quality factors detected a moderate interrelation of water absorption with the gluten amount (0.466) and falling-number value (0.384), of the dough resistance with the gluten quality (-0.438), as well as a strong interrelation of the starch viscosity, amylolytic activity and retrogradation with the falling-number value (0.659; 0.821 and 0.866, respectively). There was not detected a stable interrelation of the «gluten +» index with any of the grain quality factors, but there was a loose correlation of this index with the falling-number value. Regression analysis established the strongest curvilinear relationship between the torque and the falling-number value in the areas of the starch gelatinization, jellification and retrogradation.

Keywords: wheat grain, flour, rheological properties, mixolab, profiler indices, correlation, regression analysis

Введение

В настоящее время в РФ остро стоит вопрос товарного производства сильной и ценной по качеству пшеницы как сырья для производства качественной хлебопекарной продукции. При этом годность сырья должна определяться уже на этапе производства зерна. Как известно,

прямым методом оценки хлебопекарных свойств зерна является пробная лабораторная выпечка хлеба, все остальные методы – косвенные, более или менее приблизительно оценивающие важные для готового продукта свойства.

При этом чем ближе продукт переработки зерна к готовому продукту, тем более

Для цитирования

Мелешкина Е.П., Жильцова Н.С., Коломиец С.Н., Бундина О.И. Сравнение российской оценки хлебопекарных свойств пшеницы и определение качества зерна с использованием миксолаба // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 70–80. doi:10.20914/2310-1202-2019-3-70-80

For citation

Meleshkina E.P., Zhiltsova N.S., Kolomiets S.N., Bundina O.I. Comparison of Russian assessment of bakery properties of wheat and determination of grain quality using mixolab. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 70–80. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-3-70-80

достоверной можно считать его оценку качества для прогнозирования качества хлеба. Иными словами, определение свойств муки лучше характеризует свойства готового продукта по сравнению с зерном, а определение реологических свойств теста ещё более объективно позволяет прогнозировать качество хлеба, чем определённые свойства муки.

Для оценки качества зерна и муки по реологическим свойствам теста в настоящее время применяют широкий ряд приборов – это приборы типа альвеограф, фаринограф, валориграф, экстенсограф, миксограф, амилограф и др [1]. Однако все эти приборы определяют реологические свойства теста уже на стадии мучного продукта и не позволяют осуществлять оценку хлебопекарных свойств пшеницы на ранних этапах – этапах работы с зерном.

Вследствие этого актуальным является исследование возможности определения хлебопекарных свойств пшеницы по реологическим свойствам теста приборным методом на этапе поступления зерна на мукомольное предприятие. В последние годы созданы такие приборы, которые позволяют проводить оценку хлебопекарных свойств не только муки, но и зерна. К ним относится миксолаб (фирмы «Chopin», Франция) [2–6]. Вследствие отсутствия отечественных аналогов такого прибора существует актуальная задача оценить возможность его применения для определения хлебопекарных свойств зерна российской пшеницы.

Цель исследования – изучить возможность применения нового прибора миксолаба для оценки хлебопекарных свойств зерна и муки из российской пшеницы и выявить взаимосвязь между зарубежной и отечественной системами оценки качества пшеницы. Для достижения этой цели необходимо поэтапное исследование. Выявляли связи российских показателей качества зерна пшеницы с показателями миксолабограммы и профайлера (круговой диаграммы) миксолаба [7–14].

Материалы и методы

Исследовано качество 67 проб зерна мягкой пшеницы из следующих экономических районов: Центрального (Московская, Орловская области), Центрально-Черноземного (Липецкая, Курская области), Северо-Кавказского (Краснодарский, Ставропольский края), Поволжского (Волгоградская, Пензенская, Саратовская области, Республики Татарстан, Удмуртия, Башкортостан), Уральского (Оренбургская область), Западно-Сибирского (Алтайский край).

Пшеница выращена в различных агроклиматических условиях при климате: умеренно-континентальном (Московская, Орловская, Саратовская области, Ставропольский край), атлантико-континентальном (Липецкая, Курская области), континентальном (Оренбургская область), засушливом, с резко выраженной континентальностью (Волгоградская область), умеренном, переходном к континентальному (Алтайский край), резко-континентальном (Новосибирская область), влажном субтропическом, средиземноморском (Краснодарский край), переходным от морского к умеренно-континентальному (Калининградская область).

Пшеница выращена на почвах: центральных, южных, предкавказских, карбонатных и выщелоченных, обыкновенных черноземных, каштановых, нечерноземных, серых лесных; в зонах лесных, лесостепных, степных, полупустынных, субтропических.

Все пробы зерна исследованы по стандартизированным показателям качества в соответствии с национальным стандартом ГОСТ 9353–2016 «Пшеница. Технические условия». Как видно из таблицы 1, значения показателей охватывали широкий диапазон качества, в том числе по показателям хлебопекарных свойств представлены все возможные и характерные для российского зерна значения. Так, количество клейковины изменялось от 5,7 до 33,2%, качество – от 9 до 128 ед. ИДК, число падения – от 66 до 449 с.

Таблица 1.

Показатели качества зерна мягкой пшеницы урожая 2007–2009 гг.

Table 1.

Quality indicators of grain of soft wheat crops 2007–2009

Федеральный округ Federal District	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK	Число падения, с Falling- number value, s	Натура, г/л Test value, g/l	Стекловидность общая, % Overall vitreosity, %	Содержание зёрен, поврежденных клопом- черепашкой, % The content of grain damaged by corn-bug, %	Класс зерна Statutory grade
1	2	3	4	5	6	7	8
Центральный Central	21,5 10,3–30,3	49 9–88	365 172–448	790 739–823	65 52–78	2,8 0–10,2	3,8 3–5
Южный South	23,3 5,7–31,8	70,5 14–128	267 142–391	781 650–813	64 11–91	9,9 2,6–22,6	3,5 3–5
Приволжский Volga	23,5 11–33,2	50 15–85	325 66–449	784 743–823	69 40–95	3,5 0–6,7	3,4 1–5

1	2	3	4	5	6	7	8
Сибирский Siberian	<u>27,9</u> 24,4–30,5	<u>63</u> 54–73	<u>276</u> 155–370	<u>770</u> 738–786	<u>63</u> 56–76	0	<u>2,7</u> 2–3
Северо- Западный Northwestern	<u>24,0</u> 20,9–25,9	<u>65</u> 56–73	<u>261</u> 216–314	<u>791</u> 765–818	<u>59</u> 38–89	<u>0,5</u> 0,1–0,8	<u>3,3</u> 3–4
Все округа All districts	<u>23,0</u> 5,7–33,2	<u>54</u> 9–128	<u>324</u> 66–449	<u>785</u> 660–823	<u>66</u> 11–95	<u>4,1</u> 0–22,6	<u>3,5</u> 1–5

Среднее значение количества клейковины в зерне пшеницы составило 23%, что соответствует нижней границе 3-го класса – наиболее распространенному значению этого показателя для продовольственной пшеницы, идущей на хлебопекарный помол в России. Большинство проб зерна по показателю количества клейковины относилось к основным классы продовольственной пшеницы России – 3-й (от 22,5 до 27,4%) и 4-й (от 17,5 до 22,4%), несколько

меньше – ко 2-му (от 27,5 до 31,4%) и пшенице 5-го класса с количеством клейковины до 17,5%.

Результаты и обсуждение

Все пробы зерна пшеницы проанализированы на миксолабе в классическом режиме «Chopin Wheat+» [15]. Широкому диапазону качества российского зерна соответствовали значения показателей миксолабограммы (таблица 2).

Таблица 2.

Значения показателей миксолабограммы шрота из зерна пшеницы в режиме «Chopin Wheat+»

Table 2.

The values of the indicators of myxolabogram meal from wheat grains in the mode "Chopin Wheat +"

Точка-участок миксограммы Mixolabogram plot point	Показатель миксолаба Mixolab indicator	Среднее значение Average value	Минимальное значение Minimum value	Максимальное значение Maximum value
С1 – замес при 30° С С1 – kneading at 30 °С	Время, τ_{c1} Time, τ_{c1}	5,04	1,62	9,35
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	1,10	1,05	1,15
	Температура теста, t_{c1} Dough temperature, t_{c1}	30,80	29,30	33,40
С2 – замес при нагреве С2 – kneading under heat	Время, τ_{c2} Time, τ_{c2}	17,20	15,88	18,30
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	0,41	0,15	0,58
	Температура теста, t_{c2} Dough temperature, t_{c2}	58,30	53,90	61,60
С3 – клейстеризация С3 – gelatinization	Время, τ_{c3} Time, τ_{c3}	22,32	21,20	23,27
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	1,82	1,22	2,23
	Температура теста, t_{c3} Dough temperature, t_{c3}	78,60	74,10	83,10
С4 – желатинизация С4 – jellification	Время, τ_{c4} Time, τ_{c4}	30,10	23,68	35,47
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	1,17	0,15	1,76
	Температура теста, t_{c4} Dough temperature, t_{c4}	86,80	75,30	89,60
С5 – ретроградация крахмала С5 – starch retrogradation	Время, τ_{c5} Time, τ_{c5}	45,04	45,02	45,05
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	1,92	0,20	2,89
	Температура теста, t_{c5} Dough temperature, t_{c5}	56,20	54,10	58,10

Анализ полученных показателей профайлера на миксолабе (таблица 3) показал, что российское зерно характеризуется в среднем повышенной водопоглотительной способностью, максимальной вязкостью и ретроградацией крахмала и пониженной амилолитической активностью и устойчивостью теста.

Обобщение данных не позволило выявить какой-либо простой зависимости между показателями качества зерна и данными профайлера миксолаба (таблица 4).

Таблица 3.
Значения показателей профайлера для шрота из зерна пшеницы в режиме «Chopin Wheat +», балл
Table 3.
Values of the profiler for a meal of wheat grains in the mode "Chopin Wheat +", grade

Показатель Indicator	Среднее значение Average value	Минимальное значение Minimum value	Максимальное значение Maximum value
Водопоглощение, ВПС Water absorption	8,3	1	9
Устойчивость теста, С Dough resistance, C	4,7	1	7
Глютен+, G Gluten +, G	4,0	1	8
Максимальная вязкость, v Maximum viscosity, v	5,4	1	9
Амилолитическая активность Amylolytic activity	6,5	3	9
Ретроградация крахмала Starch retrogradation	6,8	2	9

Таблица 4.
Показатели качества зерна пшеницы
Table 4.
Indicators of the quality of wheat grain

Шифр пробы Sample code	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK	Число падения, с Falling-number value, s	Показатели профайлера, балл Profiler indicators, grade					
				ВПС Water absorption	Устойчивость теста Dough resistance	«Глютен+» Gluten +	Максимальная вязкость Maximum viscosity	Амилолитическая активность Amylolytic activity	Ретроградация крахмала Starch retrogradation
48-9	5,4	128	174	8	1	6	1	4	3
35-9	10,3	9	331	8	6	8	5	6	9
34-9	16,7	48	258	9	5	3	3	5	6
23-9	20,8	70	344	8	4	4	6	7	8
37-7	23,0	68	342	9	6	3	6	6	7
33-9	25,1	50	401	9	7	5	5	7	8
43-9	25,3	61	169	9	4	1	2	3	3

На рисунке 1 видно, что диапазон числа падения (66 – 349 с), соответствовавший 4 баллам амилолитической активности профайлера, включал

в себя диапазоны, соответствовавшие 3 (142 – 232 с) и 5 (245 – 307 с) баллам, частично – 6 (от 243 с), 7 (от 271 с) и 8 (от 322 с) баллам.

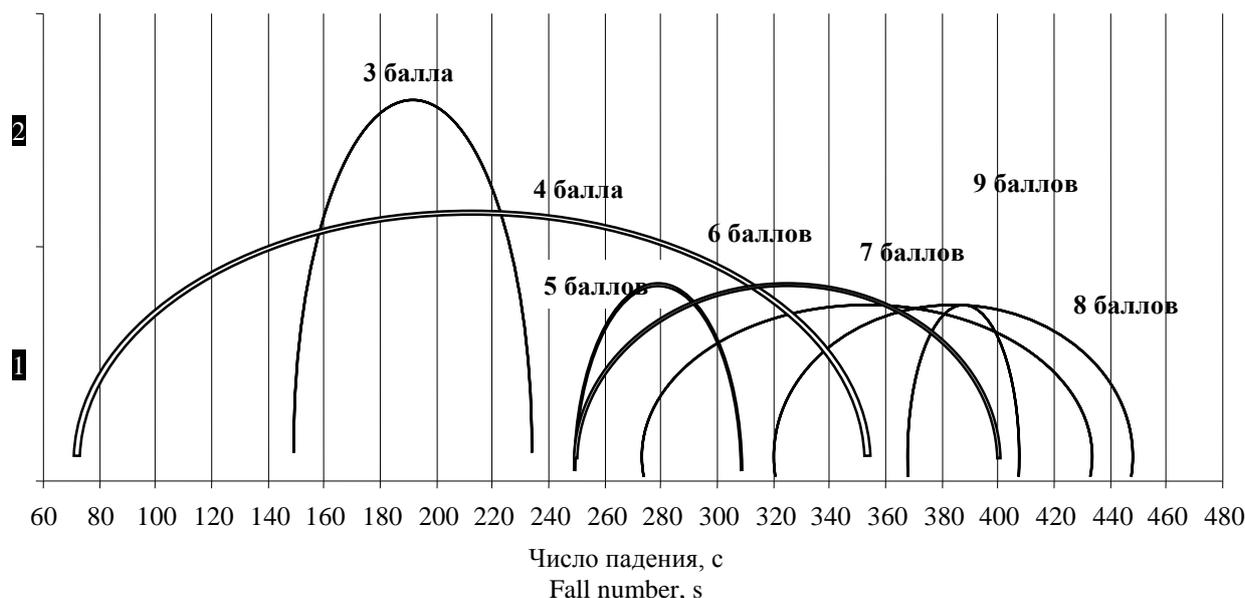


Рисунок 1. Распределение значений числа падения и баллов профайлера по показателю амилолитической активности

Figure 1. Distribution of fall numbers and profiler points in terms of amylolytic activity

Из зерна пшеницы после односортового лабораторного помола 70%-ного выхода выпечен хлеб в соответствии со стандартным методом пробной лабораторной выпечки (ГОСТ 27669–88).

Корреляционным анализом установлена тесная связь между показателями качества зерна и хлеба, которая имеется даже на уровне линейной зависимости. Особенно тесная связь показателей качества хлеба отмечена с количеством клейковины – основным показателем, определяющим класс российского зерна (таблица 5).

Вследствие этого на первом этапе математической обработки проведены исследования по установлению прямой связи между показателями хлебопекарных свойств зерна, с одной стороны, и миксолабограммы и профайлера, с другой. На втором этапе математической обработки выявляли связь между комплексом показателей, а также парную нелинейную связь между показателями качества зерна, с одной стороны, и миксолабограммы и профайлера, с другой.

Расчет парной линейной связи между показателями качества зерна и данными миксолабограммы пшеницы в классическом режиме выявил (таблица 6):

- на участке 1 – слабую связь между временем и количеством клейковины и числом

падения; между крутящим моментом и качеством клейковины;

- на участке 2 – слабую связь между временем и числом падения, между крутящим моментом и качеством клейковины и числом падения, между температурой теста и числом падения;

- на участке 3 – слабую связь между крутящим моментом и качеством клейковины и значимую связь между крутящим моментом и числом падения;

- на участке 4 – тесную связь времени и крутящего момента и среднюю связь температуры теста с числом падения;

- на участке 5 – слабую связь крутящего момента с качеством клейковины и тесную парную связь крутящего момента и температуры теста с числом падения.

Таким образом, отмечена определенная связь крутящего момента с качеством клейковины на всех участках, кроме 4-го, и с числом падения – на всех участках, кроме 1-го; связь между временем и числом падения на 3 участках (С1, С2, С4) из 5; связь между температурой теста и числом падения на 3 участках (С2, С4, С5) из 5. Связь количества клейковины с показателями миксолаба практически отсутствовала, кроме слабой связи на 1-м участке со временем.

Таблица 5.

Корреляционная матрица показателей качества зерна пшеницы и хлеба (критическое значение коэффициента корреляции 0,266 при уровне значимости $\alpha = 0,05$)

Table 5.

Correlation matrix of wheat and bread grain quality indicators (critical value of the correlation coefficient 0.266 at significance level $\alpha = 0.05$)

Показатели качества Quality indicators	Класс зерна Statutory grade	Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Число падения, с Falling-number value, s
Объемный выход, см ³ /100 г муки Volumetric yield, cm ³ /100 g of flour	-0,760*	0,659*	0,841*	-0,130
Формоустойчивость Form stability	-0,310*	0,236	0,287*	0,271*
Удельный объем хлеба, г/см ³ The specific volume of bread, g/cm ³	-0,700*	0,626*	0,814*	-0,116
Общая деформация, усл. ед. приб. General deformation, conv. units of device	-0,601*	0,511*	0,737*	-0,197
Относительная упругость Relative elasticity	-0,799*	0,561*	0,873*	0,058
Отношение пластичности к упругости The ratio of plasticity to elasticity	-0,545*	0,522*	0,693*	-0,233
Пористость, % Sponginess, %	-0,670*	0,531*	0,834*	-0,078
Оценка внешнего вида хлеба, балл Assessment of the appearance of bread, grade	-0,592*	0,370*	0,767*	-0,150
Оценка мякиша, балл Crumb assessment, grade	-0,559*	0,403*	0,769*	-0,125

* Значение коэффициента корреляции выше критического

* Correlation coefficient value above critical

Расчет парной корреляции между показателями профайлера и качества зерна пшеницы выявил умеренную связь водопоглощения с количеством клейковины и числом падения, устойчивости теста – с качеством клейковины, а также тесную связь вязкости, амилोलитической

активности и ретроградации крахмала с числом падения. Индекс «глютен+» не показал устойчивой связи ни с одним из показателей качества зерна, но имелась слабая связь с числом падения (таблица 7).

Таблица 6.

Корреляционная матрица показателей качества зерна пшеницы и данных миксолабограммы (критическое значение коэффициента корреляции 0,241 при уровне значимости $\alpha = 0,05$)

Table 6.

Correlation matrix of wheat grain quality indicators and mixolabogram data (critical value of the correlation coefficient 0.241 with significance level $\alpha = 0.05$)

Точка – участок миксолабограммы Mixolabogram plot point	Показатели миксолаба Mixolab indicator	Показатели качества зерна Grain quality indicators			
		Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK	Число падения, с Falling-number value, s	Класс зерна Statutory grade
C1 – замес при 30 °С C1 – kneading at 30 °С	Время, мин Time, τ	0,401	0,088	0,315	-0,372
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	0,147	0,258	0,201	-0,139
	Температура теста, °С Dough temperature, °С	0,191	-0,005	0,068	-0,158
C2 – замес при нагреве C2 – kneading under heat	Время, мин Time, τ	0,052	0,231	-0,482	-0,058
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	0,118	-0,372	0,549	-0,076
	Температура теста, °С Dough temperature, °С	0,150	0,111	-0,359	-0,237
C3 – клейстеризация C3 – gelatinization	Время, мин Time, τ	-0,231	-0,141	0,149	0,200
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	-0,010	-0,365	0,684	-0,037
	Температура теста, °С Dough temperature, °С	-0,141	-0,245	0,235	-0,003
C4 – желатинизация C4 – jellification	Время, мин Time, τ	0,005	0,220	-0,694	0,087
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	0,014	-0,254	0,862	-0,121
	Температура теста, °С Dough temperature, °С	0,045	0,045	-0,065	0,554
C5 – ретроградация крахмала C5 – starch retrogradation	Время, мин Time, τ	0,056	0,002	-0,019	-0,045
	Крутящий момент, Н · м Torque, N · m	-0,062	-0,346	0,857	-0,049
	Температура теста, °С Dough temperature, °С	-0,010	-0,092	0,648	0,094

* Значение коэффициента корреляции выше критического

* Correlation coefficient value above critical

Расчет множественной корреляции между показателями качества зерна пшеницы и миксолабограммы с помощью регрессионного анализа позволил установить отсутствие связи между показателями качества зерна, с одной стороны, и комплексом показателей миксолаба,

с другой стороны, кроме связи времени и крутящего момента на участке желатинизации и крутящего момента и температуры теста на участке ретроградации с показателем числа падения (таблица 8).

Таблица 7.

Корреляционная матрица показателей качества зерна пшеницы и профайлера зерна (критическое значение коэффициента корреляции равно 0,241 при уровне значимости $\alpha = 0,05$), балл

Table 7.

Correlation matrix of wheat grain quality indicators and grain profiler (the critical value of the correlation coefficient is 0.241 with a significance level of $\alpha = 0.05$), grade

Показатели Indicators	Показатели качества зерна Grain quality indicators			
	Количество клейковины, % Gluten quantity, %	Качество клейковины, ед. ИДК Gluten quality, units IDK	Число падения, с Falling-number value, s	Класс зерна Statutory grade
Водопоглощение, ВПС Water absorption	0,466*	0,274*	0,384*	-0,357*
Устойчивость теста, С Dough resistance, С	-0,100	-0,438*	0,190	0,093
Глютен +, G Gluten +, G	-0,174	-0,134	0,356*	0,115
Максимальная вязкость, v Maximum viscosity, v	-0,026	-0,253	0,659*	-0,066
Амилолитическая активность, АА Amylolytic activity, АА	-0,000	-0,228	0,821*	-0,106
Ретроградация крахмала, Re Starch retrogradation, Re	0,008	-0,274*	0,866*	-0,096

* Значение коэффициента корреляции выше критического
Correlation coefficient value above critical

Таблица 8.

Множественная корреляция числа падения пшеницы с показателями миксолабограммы

Table 8.

Multiple correlation of the fall number of wheat with indicators of mixo-labogram

Уравнение регрессии Regression equation	R-квадрат R-quadrat	Коэффициент множественной корреляции R Multiple correlation coefficient R	Критерий Фишера F F-test F	Значимость коэффициента Фишера F The significance of the Fisher's ratio F
$ЧП = 343,23 - 7,21 \tau_{C4} + 168,67 \tau_{C4}$	0,766	0,875	104,600	6,8 E-21
$ЧП = -1078,33 + 106,53 \tau_{C5} + 21,32 \tau_{C5}$	0,764	0,874	103,703	8,4 E-21

Расчет регрессионных уравнений между отдельными показателями миксолабограммы и комплексом показателей качества зерна показал, что множественная корреляция на участке С1 – замеса при постоянной температуре 30 °С – имела место между временем, с одной стороны, и количеством клейковины и числом падения, с другой, а также между крутящим моментом, с одной стороны, и качеством клейковины и числом падения, с другой. На 3 других участках (С3, С4, С5) множественная корреляция отмечена только для крутящего момента с качеством клейковины и числом падения (на участке С2 при замесе при нагреве от 30 °С также с массовой долей клейковины) (таблица 9).

С помощью регрессионного анализа весь массив данных проанализирован на наличие парной криволинейной связи между показателями

миксолабограммы и качества зерна. Уравнения такой связи при значении коэффициента корреляции выше критического приведены в таблице 10.

Установлена тесная криволинейная связь между крутящим моментом и числом падения на участках 3, 4 и 5 (клейстеризации, желатинизации и ретроградации крахмала соответственно). Причем на участках 4 и 5 (желатинизации и ретроградации крахмала) вид связи был очень близок к линейной. На участках 2 и 3 миксолабограммы эта связь была или слабой, или средней. С показателем количества клейковины крутящий момент имел связь слабую на участке 2, 3, 4 и не имел связи на участках 1 и 5. С показателем качества клейковины крутящий момент не имел тесной криволинейной связи, связь была или слабой – на участке 1, 4 и 5, или средней – на участке 2 и 3.

Таблица 9.

Множественная корреляция между показателями миксолобограммы и качества зерна

Table 9.

Multiple correlation between indicators of mixolabogram and grain quality

Точка – участок миксолобограммы Mixolabogram plot point	Переменная величина Variable	Постоянные величины: количество клейковины M, качество клейковины Q, число падения F Constants: gluten quantity M, gluten quality Q, falling-number M	Уравнение регрессии Regression equation	R-квадрат R-quadrat	Коэффициент корреляции R Correlation coefficient	Критерий Фишера F F-test	Значимость коэффициента Фишера F The significance of the Fisher's ratio F
C1 – замес при 30 °С C1 – kneading at 30 °С	τ_{C1}	M, F	$\tau_{C1} = 1,772 + 0,083 M + 0,004 F$	0,220	0,469	9,019	0,0004
	T_{C1}	Q, F	$T_{C1} = 1,056 + 0,0004 Q + 8E-05F$	0,132	0,363	4,866	0,011
C2 – замес при нагреве C2 – kneading under heat	T_{C2}	M, Q, F	$T_{C2} = 0,297 + 0,004 M - 0,002 Q + 0,0004 F$	0,458	0,677	17,751	1,8 E-08
C3 – клейстеризация C3 – gelatinization	T_{C3}	Q, F	$T_{C3} = 1,502 - 0,002 Q + 0,001 F$	0,548	0,740	38,802	9,2 E-12
C5 – ретроградация крахмала C5 – starch retrogradation	T_{C5}	Q, F	$T_{C5} = 0,449 - 0,006 Q + 0,006 F$	0,788	0,888	119,03	2,7 E-22

Таблица 10.

Парная криволинейная связь между показателями миксолобограммы и качества зерна

Table 10.

Paired curvilinear relationship between indicators of mixolabogram and grain quality

Точка – участок миксолобограммы Mixolabogram plot point	Переменная величина Variable	Постоянные величины: M, Q, F* Constants: M, Q, F*	Уравнение регрессии Regression equation	R-квадрат R-quadrat	Коэффициент частного отношения R Special relation ratio R
1	2	3	4	5	6
C1 – замес при 30 °С C1 – kneading at 30 °С	τ_{C1}	M	$\tau_{C1} = -0,008 M^2 + 0,404 M - 0,032$	0,214	0,463
		Q	$\tau_{C1} = -0,001 Q^2 + 0,090 Q + 2,770$	0,195	0,442
		F	$\tau_{C1} = 3E-07F^3 - 0,0002 F^2 + 0,046 F + 1,482$	0,179	0,423
	T_{C1}	Q	$T_{C1} = 3E-06Q^2 + 2E-05Q + 1,093$	0,076	0,276
	T_{C1}	F	$T_{C1} = 3E-09F^3 - 3E-06F^2 + 0,001 F + 0,989$	0,084	0,290
C2 – замес при нагреве C2 – kneading under heat	τ_{C2}	Q	$\tau_{C2} = 2E-05Q^2 + 0,003 Q + 16,942$	0,070	0,265
		F	$\tau_{C2} = 7E-06F^2 - 0,007 F + 18,573$	0,247	0,497
	T_{C2}	M	$T_{C2} = -0,001 M^2 + 0,021 M + 0,199$	0,095	0,308
		Q	$T_{C2} = -3E-05Q^2 + 0,002 M + 0,413$	0,255	0,505
		F	$T_{C2} = -2E-06F^2 + 0,001 F + 0,145$	0,332	0,576
t_{C2}	F	$t_{C2} = 2E-05F^2 - 0,018 F + 62,02$	0,137	0,370	
C3 – клейстеризация C3 – gelatinization	τ_{C3}	M	$\tau_{C1} = -0,002 M^2 + 0,078 M + 21,828$	0,106	0,326
	T_{C3}	M	$T_{C3} = -0,001 M^2 + 0,051 M + 1,349$	0,100	0,316
	T_{C3}	Q	$T_{C3} = -6E-05Q^2 + 0,003 Q + 1,841$	0,209	0,457
	T_{C3}	F	$T_{C3} = -6E-06F^2 + 0,005 F + 0,903$	0,541	0,736
	t_{C3}	M	$t_{C3} = -0,011 M^2 + 0,414 M + 75,266$	0,082	0,286
	t_{C3}	F	$t_{C3} = -3E-05F^2 + 0,022 F + 74,625$	0,070	0,265

1	2	3	4	5	6
C4 – желатинизация C4 – jellification	τ_{C4}	F	$\tau_{C4} = -0,020 F + 36,482$	0,482	0,694
			$\tau_{C4} = -3E-07F^2 - 0,003 F + 34,328$	0,493	0,702
	T_{C4}	M	$T_{C4} = -0,002 M^2 + 0,081 M + 0,399$	0,060	0,245
	T_{C4}	Q	$T_{C4} = -8E-05Q^2 + 0,005 M + 1,198$	0,108	0,329
	T_{C4}	F	$T_{C4} = -8E-06F^2 + 0,008 F - 0,612$	0,777	0,881
			$T_{C4} = 0,004 F - 0,025$	0,743	0,862
t_{C4}	M	$t_{C4} = -0,012 M^2 + 0,533 M + 81,482$	0,072	0,268	
t_{C4}	F	$t_{C4} = 0,014 F + 82,315$	0,306	0,553	
		$t_{C4} = -0,0001 F^2 + 0,080 F + 73,749$	0,514	0,717	
C5 – ретроградация крахмала C5 – starch retrogradation	T_{C5}	Q	$T_{C5} = -5E-05Q^2 - 0,004 Q + 2,312$	0,142	0,377
		F	$T_{C5} = -0,010 Q + 2,459$	0,138	0,371
	t_{C5}	F	$t_{C5} = 0,006 F + 0,022$	0,734	0,857
		F	$t_{C5} = 0,007 F + 54,051$	0,417	0,646
		F	$t_{C5} = -1E-05F^2 + 0,014 F + 53,065$	0,434	0,659

* M – количество клейковины, Q – качество клейковины, F – число падения

* M – gluten quantity, Q – gluten quality, F – falling-number value

Показатель «время» имел тесную связь только с числом падения и только на участке 4. На участке 1 время имело среднюю по значимости связь со всеми 3 показателями качества зерна, на участке 2 – слабую связь с качеством клейковины и среднюю связь с числом падения, на участке 3 – слабую связь с массовой долей клейковины.

Показатель «температура теста» не имел тесной связи ни с одним из отдельных показателей качества зерна; слабая связь отмечена с числом падения на участках 2 и 3, с количеством клейковины – на участках 3 и 4, средняя связь – с числом падения на участках 4 и 5, причем по виду близкая к линейной (таблица 10).

Заключение

По показателям миксолабограммы зерна пшеницы в классическом режиме: показатели миксолаба в классическом режиме имели линейную связь из всех показателей хлебопекарных свойств зерна практически только с числом падения; только показатель крутящего момента имел линейную связь с качеством клейковины; связь показателей миксолабограммы с количеством клейковины практически отсутствовала.

По показателям профайлера зерна пшеницы: водопоглощение (ВПС) имело умеренную связь с количеством клейковины и числом падения зерна, слабую – с качеством клейковины; устойчивость теста имела умеренную связь с качеством клейковины в зерне; максимальная вязкость, амилитическая активность и ретроградация крахмала имели тесную связь с числом падения зерна, «глютен+» имел слабую прямую связь только с числом падения.

Из всех показателей миксолабограммы наиболее тесная криволинейная связь с показателями качества зерна отмечена для крутящего момента.

Из всех показателей качества зерна наиболее тесная криволинейная связь с показателями миксолабограммы в классическом режиме отмечена для числа падения.

Проведенный корреляционный и регрессионный анализ показал, что оценка реологических свойств теста с применением миксолаба характеризует, главным образом, углеводно-амилазный комплекс веществ зерна, т.е. показатели миксолаба зависят от состояния и свойств крахмала и активности амилитических ферментов зерна.

Литература

- 1 Мелешкина Е.П. О новых подходах к качеству пшеничной муки // Контроль качества продукции. 2016. № 11. С. 13–18.
- 2 Мелешкина Е.П., Витол И.С., Туляков Д.Г. Современные способы оценки муки // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2017. № 7–8 (171). С. 22–25.
- 3 Туляков Д.Г., Мелешкина Е.П., Витол И.С. Биохимические и реологические показатели в оценке хлебопекарных свойств разных видов муки // Хлебопродукты. 2017. № 6. С. 30–34.
- 4 Зиновьева Н.С. Использование прибора «Миксолаб» для определения реологических свойств пшеничного теста // Материалы II Международной студенческой научной конференции. 2018. С. 281–283.
- 5 Абуова А.Б., Байбарақ А. Современные технологии для определения физико-механических свойств растительного сырья // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 453–458.
- 6 Кулеватова Т.Б., Андреева Л.В., Свистунов Ю.С. О качестве зерна озимой пшеницы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 5. С. 44–47.
- 7 Кулеватова Т.Б., Андреева Л.В., Прянишников А.И., Злобина Л.Н. и др. К методике тестирования качества озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 6. С. 25–28.

8 Dubat A. Le mixolab Profiler: un outil complet pour le controle qualite des bles et des farines // Industries des Cereales. 2009. № 161. P. 11–26.

9 Мударисов Ф.А., Садыгова М.К., Костин В.И. Оценка влияния агротехнических приёмов возделывания озимой пшеницы на качество муки на основании реологического профиля теста // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 50–56.

10 Antanas S., Alexa E., Negrea M., Guran E. et al. Studies regarding rheological properties of triticale, wheat and rye flours // J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 2013. V. 17. № 1. P.345–349.

11 Черных И.В., Лебедев А.В. Совершенствование контроля качества муки с использованием современных информационно-измерительных систем (СОКТРЕЙД) // Хлебопродукты. 2012. № 6. С. 41–43.

12 Huen J., Börsmann J., Matullat I., Böhm L. et al. Pilot scale investigation of the relationship between baked good properties and wheat flour analytical values // European Food Research and Technology. 2018. V. 244. № 3. P. 481–490.

13 Chakraborty S.K., Tiwari A., Mishra A., Singh A. Rheological properties of refined wheat – millet flour based dough under thermo-mechanical stress // Journal of Food Science and Technology. 2015. V. 52. № 5. P. 3044–3050.

14 Huen J., Börsmann J., Matullat I., Böhm L. et al. Wheat flour quality evaluation from the baker's perspective: comparative assessment of 18 analytical methods // European Food Research and Technology. 2018. V. 244. № 3. P. 535–545.

15 ГОСТ ISO 17718–2015. Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры. М.: Стандартинформ, 2015. 31 с.

References

1 Meleshkina E.P. About new approaches to the quality of wheat flour. Product Quality Control. 2016. no. 11. pp. 13–18. (in Russian).

2 Meleshkina E.P., Vitol I.S., Tulyakov D.G. Modern methods for evaluating flour. Confectionery and bakery. 2017. no. 7–8 (171). pp. 22–25. (in Russian).

3 Tulyakov D.G., Meleshkina E.P., Vitol I.S. Biochemical and rheological indicators in the evaluation of the baking properties of different types of flour. Bread products. 2017. no.6. pp. 30–34. (in Russian).

4 Zinoviev N.S. Using the Mixolab instrument to determine the rheological properties of wheat dough. Materials of the II International Student Scientific Conference. 2018. pp. 281–283. (in Russian).

5 Abuova AB, Baibarak A. Modern technologies for determining the physicochemical properties of plant materials. Innovations in environmental management and environmental protection: materials of the 1st National Scientific and Practical Conference with international participation. 2019. pp. 453–458. (in Russian).

6 Kulevatova T.B., Andreeva L.V., Svistunov Yu.S. On the quality of grain of winter wheat // Storage and processing of agricultural raw materials. 2013. no. 5. pp. 44–47. (in Russian).

7 Kulevatova T.B., Andreeva L.V., Pryanishnikov A.I., Zlobina L.N. et al. To the methodology for testing the quality of winter wheat. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2016. vol. 30. no. 6. pp. 25–28. (in Russian).

8 Dubat A. Le mixolab Profiler: un outil complet pour le controle qualite des bles et des farines. Industries des Cereales. 2009. no. 161. pp. 11–26.

9 Мударисов Ф.А., Садыгова М.К., Костин В.И. Evaluation of the influence of agrotechnical methods of winter wheat cultivation on the quality of flour based on the rheological profile of the test. Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University. 2018. no. 2. pp. 50–56. (in Russian).

10 Antanas S., Alexa E., Negrea M., Guran E. et al. Studies regarding the rheologic properties of triticale, wheat and rye flours. J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 2013.vol. 17. no. 1. pp. 345–349.

11 Chernykh I.V., Lebedev A.V. Improving the quality control of flour using modern information-measuring systems (SOK-TRADE). Bread products. 2012. no. 6. pp. 41–43. (in Russian).

12 Huen J., Börsmann J., Matullat I., Böhm L. et al. Pilot scale investigation of the relationship between baked good properties and wheat flour analytical values. European Food Research and Technology. 2018. vol. 244. no. 3. pp. 481–490.

13 Chakraborty S.K., Tiwari A., Mishra A., Singh A. Rheological properties of refined wheat – millet flour based dough under thermo-mechanical stress. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. no. 5. pp. 3044–3050.

14 Huen J., Börsmann J., Matullat I., Böhm L. et al. Wheat flour quality evaluation from the baker's perspective: comparative assessment of 18 analytical methods. European Food Research and Technology. 2018. vol. 244. no. 3. pp. 535–545.

15 GOST ISO 17718–2015. Grain and flour from soft wheat. Determination of rheological properties of the test depending on the conditions of kneading and temperature increase. Moscow, Standartinform, 2015. 31 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Елена П. Мелешкина д.т.н., директор, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, kachestvovniiz@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

Наталья С. Жильцова вед. инженер, аспирант, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, nata007-08@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3436-6049>

Information about authors

Elena P. Meleshkina Dr. Sci. (Engin), director, VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatoва RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, kachestvovniiz@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

Natalya S. Zhiltsova lead engineer, graduate student, VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatoва RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, nata007-08@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3436-6049>

Светлана Н. Коломиец к.с.-х.н., старший науч. сотр, ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, kolomiets@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3130-2285>

Ольга И. Бундина к.э.н., ведущий науч. сотр., ВНИИЗ – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, 127434, Россия, boi888@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7821-6042>

Svetlana N. Kolomiets Cand. Sci. (Agric.), senior researcher, VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, kolomiets@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3130-2285>

Olga I. Bundina Cand. Sci. (Econ.), senior researcher, VNIIZ – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatova RAS, 11 Dmitrovskoe highway, Moscow, 127434, Russia, boi888@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7821-6042>

Вклад авторов

Елена П. Мелешкина предложила методику проведения эксперимента, консультация в ходе исследования

Наталья С. Жильцова провела эксперимент

Светлана Н. Коломиец написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ольга И. Бундина выполнила расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Elena P. Meleshkina proposed a scheme of the experiment, consultation during the study

Natalya S. Zhiltsova conducted an experiment

Svetlana N. Kolomiets wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Olga I. Bundina performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/07/2019

После редакции 02/08/2019

Принята в печать 12/08/2019

Received 25/07/2019

Accepted in revised 02/08/2019

Accepted 12/08/2019
