

Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий

¹ Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, г. Саратов, Российская Федерация

² Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

³ Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация

Е. С. Жиганова^{1,2}, М. К. Садыгова², В. Я. Черных³, Н. М. Цетва¹, Н. С. Соловова¹, И. А. Осыка¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Сергеевна Жиганова

E-mail: elena_zhiganova.89@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жиганова, Е. С., Садыгова, М. К., Черных, В. Я., Цетва, Н. М., Соловова, Н. С., Осыка, И. А. (2024). Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 92–103. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.587>

ПОСТУПИЛА: 22.01.2024

ДОРАБОТАНА: 28.07.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Основу для производства макаронных изделий составляет твердая пшеница благодаря своему высокому показателю стекловидности, что отличает ее от мягкой пшеницы. Для комплексной оценки технологических свойств зерна пшеницы, используемой в макаронном производстве, необходимо в первую очередь контролировать показатель твердозерности пшеницы — индекс прочности, который является интегральной характеристикой как мукомольных свойств злаковой культуры, так и технологических свойств получаемой из неё крупки, являющейся основным сырьем для макаронной промышленности.

Цель: Оценка макаронных свойств пшеницы различных ботанических видов на основе анализа физико-химических, включая структурно-механические, характеристик зерна. Этот подход позволяет прогнозировать качество получаемой продукции на этапе подготовки сырья к производству.

Материалы и методы: В исследовании рассматривались сорта яровой твердой пшеницы: Гордеиформе 432, Саратовская золотистая, Луч 25, Памяти Васильчука, Тамара, Краснокутка 13, Елизаветинская, а также сорта яровой мягкой высокостекловидной пшеницы: Саратовская 70 и Александрит за период 2022–2023 гг. Комплексная оценка макаронных свойств проводилась с использованием общепринятых методов оценки зерна, крупы и спагетти. Также использовалась информационно-измерительная система на базе прибора Do-corder E330 для исследования реодинамики процесса дезинтеграции зерна пшеницы и прибор Ametek BROOKFIELD CT3 для измерения предела прочности полуфабрикатов макаронных изделий.

Результаты: Проведенный корреляционный анализ показал, что интегральным показателем макаронных свойств пшеницы ботанического вида *Triticum durum* является индекс твердозерности (индекс прочности). Установлена значимая зависимость ($r^* = 0,72–0,80$) между показателями твердозерности пшеницы и структурно-механическими характеристиками макаронных изделий. Выявлена экспоненциальная зависимость между выходом муки и индексом твердозерности пшеницы: $Вм = 2,757 \times 10^4 \times \exp(-24,65 \times I_s)$. Сорта яровой мягкой пшеницы уступают сортам твердой пшеницы по индексу прочности. Высокими макаронными свойствами обладают сорта с индексом прочности не менее $0,32 \text{ Н} \cdot \text{м}/\%$ и выходом муки не более 10%, включая новые перспективные сорта яровой твердой пшеницы саратовской селекции: Тамара, Луч 25, Памяти Васильчука, Елизаветинская и Саратовская золотистая.

Выводы: Применение индекса прочности в оценке качества зерна для макаронных изделий позволяет усовершенствовать систему контроля качества промежуточных зернопродуктов, обеспечивая более высокие стандарты качества готовых изделий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

твердая пшеница; мягкая высоко стекловидная пшеница; твердозерность; стекловидность зерна; количество белка в зерне; количество клейковины в зерне; зольность зерна и крупки; выход крупки; индекс прочности размола зерна

Comprehensive Assessment of the Technological Properties of New Wheat Varieties from the Saratov Selection for Pasta Production

Elena S. Zhiganova^{1,2}, Madina K. Sadygova², Valeriy Ya. Chernykh³, Natalia M. Cetva¹, Nina S. Solovova¹, Irina A. Osyka¹

¹ Federal Agricultural Research Center of the South-East, Saratov, Russian Federation

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

³ Research Institute of the Bakery Industry, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Elena S. Zhiganova

E-mail: elena_zhiganova.89@mail.ru

FOR CITATIONS:

Zhiganova, E. S., Sadygova, M. K., Chernykh, V. Ya., Cetva, N. M., Solovova, N. S., & Osyka I. A. (2024). Assessment of the structural-mechanical properties of new wheat varieties from the Saratov Selection for Pasta Production. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 92-103. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.587>

RECEIVED: 22.01.2024

REVISED: 28.07.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Durum wheat forms the primary basis for pasta production due to its high vitreous index, distinguishing it from soft wheat. For a comprehensive assessment of the technological properties of wheat grain used in pasta production, it is necessary, first of all, to control the wheat hardness index – the strength index, which is an integral characteristic of both the milling properties of cereals and the technological properties of the semolina obtained from it, which is the main raw material for the pasta industry.

Purpose: To assess the macaroni properties of wheat from various botanical species through the analysis of the physico-chemical, structural, and mechanical characteristics of the grain. This approach facilitates the prediction of product quality at the raw material preparation stage.

Materials and Methods: The study evaluated the following spring durum wheat varieties: Gordeiforme 432, Saratovskaya Zolotistaya, Luch 25, Pamyati Vasilchuka, Tamara, Krasnokutka 13, and Elizavetinskaya, as well as spring soft high-vitreous wheat varieties Saratov 70 and Alexandrite for the period of 2022-2023. The comprehensive assessment of the macaroni properties of these wheat varieties was conducted using standardized methods for grain, semolina, and spaghetti evaluation. Additionally, an information-measuring system based on the Do-corder E330 device was utilized to study the rheodynamics of wheat grain disintegration, and the Ametek BROOKFIELD CT3 device was employed to measure the tensile strength of semi-finished macaroni products.

Results: The findings included a correlation analysis, revealing that the integral indicator of macaroni properties for *Triticum durum* wheat is the hardness index (strength index). A significant relationship ($r^* = 0.72$ to 0.80) was found between the hardness indicators of wheat and the structural-mechanical properties of pasta. An exponential dependence between flour yield and the wheat hardness index was also established: $V_m = 2.757 \times 10^4 \times \exp(-24.65 \times I_s)$. Spring soft wheat varieties demonstrated lower strength indices compared to durum wheat varieties. Varieties with a strength index of at least $0.32 \text{ Nm/\%}$ and a flour yield not exceeding 10% were shown to have superior pasta-making properties. This group includes promising new spring durum wheat varieties from the Saratov breeding, such as Tamara, Luch 25, Pamyati Vasilchuka, Elizavetinskaya, and Saratovskaya Zolotistaya.

Conclusion: The application of wheat hardness index in grain quality assessments for pasta production can enhance the control system for intermediate grain products, ensuring higher quality standards for finished products.

KEYWORDS

durum wheat; soft high-vitreous wheat; hardness; vitreous grain; amount of protein in the grain; amount of gluten in the grain; ash content of grain and semolina; semolina yield; grain grinding strength index

ВВЕДЕНИЕ

Сорта пшеницы ботанического вида *Triticum durum* являются основным сырьем для производства макаронных изделий по всему миру. В оценке качества данного сырья ключевыми факторами считаются стекловидность, содержание белка и количество каротиноидных пигментов, что подтверждается результатами многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых (Fu et al., 2017; Дуктова и соавт., 2019; Самофалова и соавт., 2022; Гапонов и соавт., 2024; Садыгова и соавт., 2021). При этом количество каротиноидных пигментов является генетически обусловленным сортовым признаком и не зависит от внешних факторов (Digesù et al., 2009). В отличие от этого, показатели содержания белка и стекловидности подвержены значительным колебаниям в зависимости от условий выращивания, сбора урожая и года производства, что требует усиленного контроля для обеспечения стабильного качества продукции.

Технологические свойства зерна, используемого для производства макаронных изделий, напрямую связаны со структурно-механическими характеристиками зерна, которые обусловлены стекловидностью, химическими и морфологическими показателями. Пшеница вида *Triticum durum* характеризуется высокой степенью стекловидности, обусловленной особенностями белковой матрицы и плотностью упаковки зерен крахмала (Fu et al., 2017), что значительно отличает ее от *Triticum aestivum* и способствует лучшим мукомольным свойствам (Johnson et al., 2019; Кравченко и соавт., 2020). Согласно ГОСТ 10987–76, зерно может быть классифицировано как стекловидное, полу стекловидное или мучнистое. Международные стандарты, такие как Канадское руководство по классификации пшеницы, предполагают, что наличие видимого крахмального пятна исключает зерно из категории стекловидных (Fu et al., 2017; Васильчук, 2001; Дуктова и соавт., 2019; Медведев и соавт., 2019).

Несмотря на значимость плотности белковой матрицы для показателя стекловидности, исследования показывают отсутствие устойчивой взаимосвязи между содержанием белка и стекловидностью. В то же время степень стекловидности зависит от уровня агротехнологий, времени посева и сбора урожая (Кирьякова и соавт., 2023; Васильчук, 2001; Johnson et al., 2019; Жиганова и соавт., 2024).

Для более комплексной оценки технологических свойств зерна необходимо учитывать структурно-механические характеристики (Федотов, 2017), такие как показатели твердозерности, которые определяются морфологическими особенностями зерна, плотностью его белковой матрицы, размерами крахмальных зерен, а также соотношением структурных макрокомплексов и содержанием сухих веществ. Показатели твердозерности выступают интегральными характеристиками, которые отражают как мукомольные, так и макаронные или хлебопекарные свойства зерна. (Федотов, 2018) Современные исследования в макаронной промышленности направлены на разработку методов контроля качества зерна, основанных на оценке этих показателей (Hourston et al., 2017).

На практике для оценки потребительских свойств пшеницы применяют стандартизированные показатели качества. Однако их использование не всегда позволяет полноценно охарактеризовать технологические достоинства зерна и предсказать качество продукции, получаемой из него. В России показатель стекловидности является одним из ключевых при оценке структурно-механических свойств пшеницы, связываемым с химическим составом и мукомольными характеристиками. Тем не менее, его информативность ограничена, так как при одинаковой стекловидности различные сорта пшеницы могут обладать различными структурно-механическими и технологическими характеристиками.

Целью настоящего исследования является совершенствование системы контроля качества промежуточных зернопродуктов при производстве макаронных изделий на основе оценки структурно-механических свойств зерна через показатель твердозерности, который комплексно отражает микрогетерогенные особенности эндосперма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования являются сорта яровой пшеницы саратовской селекции «*Triticum durum*»: Гордеиформе 432; Саратовская золотистая; Луч 25; Памяти Васильчука; Тамара; Краснокутка 13; Елизаветинская и «*Triticum aestivum*»: Александрит и Саратовская 70.

Методы

Определение физико-химических характеристик зерна осуществляли по общепринятым методикам: стекловидность по ГОСТ 10987–76 «Зерно. Методы определения стекловидности»; массу 1000 зерен по ГОСТ 10842–89 «Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения массы 1000 семян»; содержание белка и его влажность с использованием инфракрасного анализатора Infratec Foss (Дания); зольность по ГОСТ Р 51411–99 «Зерно и продукты его переработки. Определение зольности (общей золы); показатели твердозерности — индекс прочности и количество энергии дезинтеграции (Черных и соавт., 2015; 2023) с использованием информационно-измерительной системы, включающей прибор «Do-corder E330» и измельчитель зерна (Рисунок 1).

Процедура исследования

Для получения крупки зерно, предварительно очищали от примесей и определяли влажность. Отволаживание проводили при влажности 15–17 % в течение 17–18 часов. Семолину получали односортовым помолом на лабораторной мельнице Бранбендер Квадрумат Юниор (Германия) и просеивали на ситах. Режимы и параметры измельчения для всех сортов оставались неизменными. Просеивание измельченного зерна проводили вручную в течение 2–3 минут на трех ситах: 0,87 мм; 0,40 мм и 0,09 мм. Выход крупки рассчитывали в процентах по отношению к начальной массе зерна.

Выработку спагетти производили из макаронного теста с влажностью 35 % на прессе ПСЛ-13 (Россия). Макароны сушили в сушильном шкафу ТС-200 СПУ при температуре 40 °С и относительной влажности воздуха 80 % в течение 24 часов. Далее макаронные изделия охлаждали до комнатной температуры и проводили стабилизацию при стандартных условиях хранения (Васильчук, 2001, с. 70).

Силу излома полуфабриката макаронных изделий проводили на приборе Ametek BROOKFIELD CT3. Методика основана на определении предельного усилия нагружения ($F_{пр}$) и предела прочности при изгибе на инденторе (σ_n) «Пластина», прикладываемом с определенной скоростью движения 0,5 мм/с вниз до его касания середины макаронного

Рисунок 1

Информационно-измерительная система для определения показателей реодинамики процесса дезинтеграции зерна пшеницы на базе прибора «Do-corder E330», включающего измельчитель

Figure 1

Information-measuring system for determining the rheodynamic parameters of the wheat grain disintegration process based on the “Do-corder E330” device, including a grinder



изделия с усилием 6,8 г, помещенного на две опоры стола с расстоянием l , мм, которое обусловлено диаметром d_m макаронных изделий ($l = 10d_m + 30$). Диаметр макаронных изделий 5 мм.

Анализ данных

Корреляционный анализ полученных данных был проведен с использованием Microsoft Excel 2010 с помощью коэффициента корреляции между двумя множествами данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование зерна по показателям качества

Наибольшую стекловидность имеют сорта Елизаветинская 85–98 %, Тамара 85–98 %, Памяти Васильчука 86–97 %, Луч 25 81–88 %, соответствующий требованиям производств показатель по стекловидности за 2 года исследования показал сорт яровой мягкой пшеницы Александрит 84–86 % (Таблица 1).

Таблица 1
Показатели качества зерна яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы и выход крупки за 2022–2023 гг.
Table 1
Quality indicators of grain from hard spring and high-vitreous soft spring wheat and semolina yield for 2022–2023

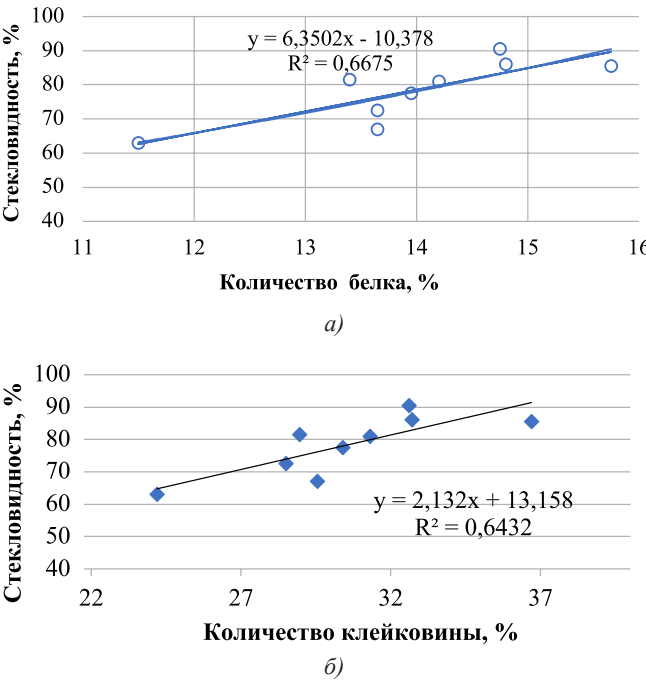
Название	Показатели				
	Выход крупки, %	Зольность крупки, %	Стекловидность, %	Белок, %	Масса 1000 зерен, г
Яр. тв. пш сорт Гордеиформе 432	48	0,69	73	13,7	46
Яр. тв. пш сорт Саратовская золотистая	52	0,73	78	14,0	48
Яр. тв. пш сорт Луч 25	54	0,71	81	14,2	53
Яр. тв. пш сорт Памяти Васильчука	50	0,74	86	14,8	49
Яр. тв. пш сорт Тамара	46	0,68	82	13,4	51
Яр. тв. пш сорт Краснокутка 13	46	0,70	67	13,7	48
Яр. тв. пш сорт Елизаветинская	47	0,66	91	14,8	48
Яр. мяг. пш сорт Саратовская 70	49	0,52	63	11,5	40
Яр. мяг. пш сорт Александрит	42	0,51	86	15,8	39

Наименьший показатель содержания белка за два года исследования показал сорт яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 70–11,5%. Все сорта яровой твердой пшеницы показали высокий уровень белка в зерне. Наибольший показатель у сортов Елизаветинская и Памяти Васильчука — 14,8% (Таблица 1). Оптимальный показатель у сорта яровой мягкой пшеницы Александрит — 15,8%.

По показателю массы 1000 семян наилучший результат за 2 года показали сорта Луч 25 (53 г.), Тамара (51 г.), Памяти Васильчука (49 г.). Сорта мягкой яровой пшеницы имели низкий показатель массы 39–40 г. (Таблица 1) Нами были построены графики, отражающие взаимосвязь между стекловидностью зерна и показателями содержания белка и клейковины (Рисунок 2).

Согласно Рисунку 2, наблюдается значимая корреляционная взаимосвязь у показателя стекловидности и содержания белка в зерне 0,67 (2а), а также стекловидности и содержания клейковины 0,64 (2б). Так в 2022 году новые перспективные сорта твердой пшеницы имели стекловидность 65–83% и содержание белка было 12,6–13,9%, а в 2023 году стекловидность 88–98% и белка соответственно 14,2–15,8%. У пшеницы ботанического вида «Triticum aestivum» стекловидность и количество белка за 2 года исследования существенно не изменились.

Рисунок 2
Взаимосвязь между стекловидностью зерна и с другими показателями качества зерна яровой твердой и яровой мягкой высокостекловидной пшеницы
Figure 2
Relationship between grain glassiness and other quality indicators of hard spring and high-vitreous soft spring wheat



Исследование зерна на процент выхода крупки

Расчет выхода крупки на мельнице Брабендер Ква-
друмат Юниор показал следующие результаты. Наибольший, средний за два года процент выхода у сорта яровой твердой пшеницы Луч 25–54%, связано это с наибольшей натурой зерна. Но сорт Тамара при относительно большой массе зерна, и при этом высокой стекловидности, показал наименьший выход крупки — 46%. Маленький выход крупки и у сорта яровой твердой пшеницы с большой стекловидностью Елизаветинская — 47% (Таблица 1). Отличительным показателем при просеивании крупки твердой от мягкой пшеницы было количество мучки. Проход с сита 0,09 мм у твердой пшеницы был в пределах 1,6–2,5%, когда для мягкой пшеницы 4,5–5,5%.

По расчетам выхода крупки мягкой высокостекловидной и твердой пшеницы имеет положительную корреляцию с содержанием белка в зерне $r^* = 0,32$. Хотя по корреляции, рассчитанной только для сортов твердой пшеницы, данный показатель имеет положительную значительную корреляцию с массой 1000 зерен в пределах $r^* = 0,37...0,52$.

Исследование зерна на твердозерность

В Таблице 2 приведены показатели твердозерности пшеницы: максимальный крутящий момент

Таблица 2

Показатели твердозерности яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы за 2022–2023 гг.

Table 2

Indicators of hardness in hard spring and high-vitreous soft spring wheat for 2022–2023

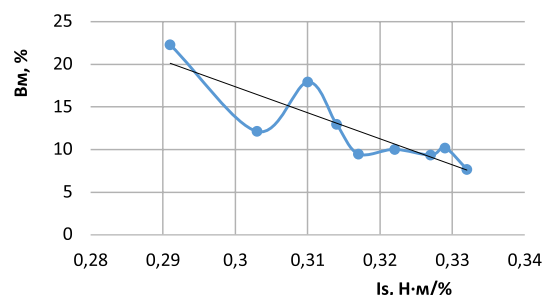
Название	W_z , %	B_m , %	$E_{уд}$, Дж/г	$M_{кр.мах}$, Н · м	$\tau_{и}$, с	I_s , Н · м/%
Яр. тв. пш сорт Гордеиформе 432	11,95	12,13	26,86	26,68	20,61	0,30
Яр. тв. пш сорт Саратовская золотистая	12,05	10,18	28,90	28,90	20,67	0,33
Яр. тв. пш сорт Луч 25	12,05	9,50	28,39	27,92	20,84	0,32
Яр. тв. пш сорт Памяти Васильчука	12,25	9,35	28,54	28,66	20,44	0,33
Яр. тв. пш сорт Тамара	11,75	7,70	29,27	29,27	20,90	0,33
Яр. тв. пш сорт Краснокутка 13	12,05	12,95	27,96	27,62	20,91	0,31
Яр. тв. пш сорт Елизаветинская	11,80	10,03	28,23	28,42	20,65	0,32
Яр. мяг. пш сорт Саратовская 70	11,60	22,29	28,76	25,69	22,35	0,30
Яр. мяг. пш сорт Александрит	12,50	17,92	28,07	27,10	20,67	0,31

Рисунок 3

Взаимосвязь между выходом муки (B_m , %) и показателем твердозерности пшеницы — индексом прочности (I_s , Н · м/%)

Figure 3

Relationship between flour yield (F_y , %) and the hardness indicator of wheat — strength index (I_s , Н · м/%)



($M_{кр.мах}$, Н · м); продолжительность измельчения ($\tau_{и}$, с); количество удельной механической энергии дезинтеграции ($E_{уд}$, Дж/г) и индекс прочности (I_s , Н · м/%), установленные с помощью информационно-измерительной системы, приведенной на Рисунке 1.

На основе анализа взаимосвязи между индексом прочности зерна и выходом муки (таблица 2) установлена обратная связь между твердозерностью анализируемых сортов пшеницы и выходом муки. Визуализация данной взаимосвязи, приведенная на Рисунке 3 показывает, что чем выше твердозерность пшеницы, тем меньше выход муки. Это связано с тем, что частицы муки из твердозерной

Таблица 3
Корреляционная взаимосвязь между показателями свойств зерна яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы и показателями твердозерности

Table 3
Correlation relationship between the grain properties of hard spring and high-vitreous soft spring wheat and hardness indicators

	Натура	Масса 1000 зерен	Стекловидность	Белок	Сырая клейковина	Влажность	Выход муки
Удельная работа	0,12	0,23	0,15	-0,21	-0,12	-0,25	-0,12
Макс. момент	-0,67	0,73	0,64	0,43	0,38	0,13	-0,87
Длит. дроблен.	0,78	-0,45	-0,69	-0,84	-0,74	-0,62	0,74

пшеницы получают более крупными и их меньше проходит через сито. При этом корреляционная взаимосвязь между этими показателями соответствует 0,87.

Согласно Рисунку 3, сорта пшеницы с индексом прочности не менее 0,32 Н · м/% с выходом муки не более 10% обладают хорошими макаронными свойствами.

Функциональная связь между этими показателями имеет следующий вид:

$$B_{\text{м}} = 2,757 \cdot 10^4 \cdot \exp(-24,65 \cdot I_s).$$

Из Таблицы 3 видно, что максимальный крутящий момент имеет прямую положительную взаимосвязь с показателями стекловидности и массой 1000 зерен $r^* = 0,64$ и $0,73$, и обратную — с выходом муки $r^* = -0,87$ и натурой зерна $r^* = -0,67$. Тем самым подтверждая, что с увеличением стекловидности увеличивается усилие для размола и уменьшается выход муки, что характерно для зерна твердой пшеницы. При этом время или длительность измельчения имеет значимую взаимосвязь со всеми показателями технологических свойств зерна: обратная значимая взаимосвязь наблюдалась у стекловидности и количества белка $r^* = -0,69 \dots -0,84$, а также влажности зерна; прямая взаимосвязь — с показателями выхода муки и натурой зерна $r^* = 0,74$ и $0,78$.

Исследование сухих макаронных изделий на излом

Прочность полуфабриката на излом относится к товарно-технологическим свойствам макаронных изделий. В Таблице 4 показаны структурно-ме-

ханические характеристики (показатели текстуры), изготовленных макаронных полуфабрикатов из исследуемых образцов яровой твердой и мягкой пшеницы саратовской селекции.

Проведенные исследования показали, что предельное усилие нагружения макаронных изделий из новых сортов яровой твердой пшеницы выше

Таблица 4
Показатели текстуры спагетти из яровой твердой и яровой мягкой высокостекловидной пшеницы

Table 4
Texture indicators of spaghetti made from hard spring and high-vitreous soft spring wheat

Наименование	Предельное усилие нагружения, гс	Предельная деформация, мм	Предел прочности, МПа
Яр.тв.пш сорт Гордеи-форме 432	67,00	2,74	1,05
Яр.тв.пш сорт Саратовская золотистая	72,75	2,71	1,14
Яр.тв.пш сорт Луч 25	81,75	3,04	1,28
Яр.тв.пш сорт Памяти Васильчука	95,15	3,49	1,49
Яр.тв.пш сорт Тамара	91,10	3,19	1,43
Яр.тв.пш сорт Краснокутка 13	71,75	2,73	1,13
Яр.тв.пш сорт Елизаветинская	92,15	3,21	1,45
Яр.мяг.пш сорт Саратовская 70	62,00	2,45	0,97
Яр.мяг.пш сорт Александрит	64,50	2,50	1,01

сорта стандарта региона Краснокутска 13: Памяти Васильчука на 24,5 %, Елизаветинская на 22 %, Тамара на 21,5 % (Таблица 4). В сравнении с образцами спагетти из сортов яровой мягкой высоко-стекловидной пшеницы эти сорта показали увеличенные результаты: Памяти Васильчука на 32–35 %, Елизаветинская на 30–33 %, Тамара на 29–32 %. Соответственно и рабочий цикл твердости имел отличительные высокие значения у данных сортов яровой твердой пшеницы от стандарта на 25–37 %, а от сортов мягкой высокостекловидной пшеницы до 52,5 % (Таблица 4).

Установленные показатели (Таблица 5) отражают высокую корреляционную взаимосвязь между исходным показателем твердозерности пшеницы — величиной максимального крутящего момента на приводе измельчителя при дезинтеграции зерна и показателями текстуры макаронных изделий спагетти, изготовленных из перспективных новых сортов яровой твердой и мягкой пшеницы.

Таблица 5

Корреляционная взаимосвязь между показателями твердозерности пшеницы и показателями текстуры макаронных изделий спагетти из яровой твердой и мягкой пшеницы

Table 5

Correlation between wheat hardness indicators and texture indicators of spaghetti made from hard spring and soft spring wheat

Показатели твердозерности пшеницы	Показатели текстуры макаронных изделий		
	Предель- ное усилие нагруже- ния	Дефор- мация при изломе	Предел прочности
Удельная работа	0,38	0,24	0,38
Макс. Момент	0,80	0,72	0,80
Длит. дроблен.	-0,47	-0,52	-0,47

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование показало, что структурно-механические свойства новых сортов яровой твердой пшеницы саратовской селекции удовлетворяют высоким требованиям для производства макаронных изделий. Основным отличительным признаком этих сортов является высокая стекловидность зерна, которая, согласно ГОСТ 9353–2016,

для зерна I класса должна составлять не менее 85 % (Дуктова и соавт., 2019). Полученные данные демонстрируют, что сорта яровой твердой пшеницы показывают показатели стекловидности до 98 %, что значительно превышает минимальные стандарты, что подчеркивает их пригодность для использования в производстве паста-продуктов. Особого внимания заслуживает сорт яровой мягкой пшеницы Александрит, который также показал оптимальные результаты по этому показателю.

Результаты анализа содержания белка подтвердили соответствие всех исследованных сортов требованиям ГОСТ 9353–2016 для I класса зерна (не менее 13,5 %). Это подтверждает, что исследуемые сорта способны обеспечить достаточное количество клейковины, необходимое для формирования прочных и качественных макаронных изделий. Исследования также подтвердили выводы Медведева (2019) о том, что высокобелковые сорта с содержанием белка выше 15 % не применяются в производстве из-за формирования резиноподобной структуры готовых изделий. Оптимальными являются сорта с содержанием белка в диапазоне 13–15 %, что согласуется с показателями рассмотренных сортов.

Корреляционный анализ выявил положительные взаимосвязи между показателями стекловидности и содержанием белка ($r = 0,67$), а также стекловидности и содержанием клейковины ($r = 0,64$), что подтверждает гипотезу о том, что стекловидность зерна тесно связана с качественными показателями зерна и наследуется вместе с ними. Эти данные соответствуют результатам, представленным в исследованиях польских ученых (Kaliniewicz et al., 2023) в которых показатель стекловидности пшеницы и содержания в них белка имеют положительную корреляцию. Это говорит о том, что более стекловидные зерна пшеницы, как правило, содержат больше белка, что может повлиять на качество (Fu et al., 2018). Данный вывод подтверждается нашими ранними исследованиями (Жиганова и соавт., 2024), где была показана стабильная положительная корреляция усилия нагружения излома спагетти со стекловидностью (до $r^* = 0,77$) и белком (до $r^* = 0,55$). Медведев и соавт. (2020) выявили корреляционную связь между стекловидностью, выходом крупки и прочностью изделий на срез. В нашем исследовании, однако, такая корреляция не была обнаружена, что можно объяснить отличительными агроклиматическими условиями Саратовской области.

Выход крупки и его зависимость от содержания белка также была подтверждена в нашем исследовании, что согласуется с результатами, полученными белорусскими учеными (Дуктова и соавт., 2019). Это связано с особенностями строения белковой матрицы зерен высокой стекловидности, при которой раскол происходит на границе крахмального ядра, минимизируя превращение зерна в крупку. Данный факт подтверждают и выводы зарубежных ученых о значении структуры белковой матрицы в процессе помола (Hourston et al., 2017).

В исследованиях Медведева с соавт. (2019) было обосновано применение показателя твердозерности для исследования зерна на макаронные цели. Доказано, что твердозерность является информативным показателем для прогнозирования технологических свойств зерна независимо от метода измельчения зерна. В нашем исследовании установлена экспоненциальная зависимость между выходом муки и индексом твердозерности пшеницы. Эта взаимосвязь ведет к повышению экономической эффективности процесса производства крупки и качества макаронных изделий за счет стабилизации гранулометрического состава муки. Сорта пшеницы, обладающие индексом прочности не менее $0,32 \text{ Н} \cdot \text{м}/\%$ и выходом крупки не более 10%, продемонстрировали высокую пригодность для производства макаронных изделий, включая сорта Тамара, Луч 25, Памяти Васильчука, Елизаветинская и Саратовская золотистая. Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность новых сортов саратовской селекции для применения в макаронном производстве. Учитывая современный технологичный процесс помола, специфичные корректировки в зависимости от сорта и вида пшеницы могут значительно повысить экономическую эффективность производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные физико-химические исследования, включая анализ структурно-механических характеристик различных ботанических видов и сортов пшеницы, показали, что показатель твердозерности (индекс прочности) выступает интегральным показателем, определяющим макаронные свойства пшеницы вида *Triticum durum*. Установлена значительная корреляция между показателями твердозерности и качественными характеристиками зерна, такими как содержание белка, стекловидность, масса 1000 зерен и содержание клейковины, а также выход крупки и прочность макаронных полуфабрикатов. Полученные данные подтверждают, что использование этого показателя позволяет эффективно прогнозировать качество конечной продукции уже на начальном этапе формирования помольных партий зерна в макаронном производстве. Применение данного подхода способно усовершенствовать систему контроля качества промежуточных зернопродуктов, обеспечивая высокую надежность и точность оценок. Это повысит экономической эффект процесса производства крупки и качества макаронных изделий за счет того, что твердозерность зерна определяет гранулометрический состав крупки при помоле.

Ограничениями данного исследования являются полученные данные за два года урожая, что может влиять на корректность результатов, учитывая межгодовые колебания качественных показателей зерна. Кроме того, большой объем зерна, необходимый для проведения опыта, также является сдерживающим фактором, так как этот метод не может быть применен на ранних этапах селекционного процесса, где объем доступного зерна ограничен.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение ассортимента изучаемых сортов саратовской селекции и увеличение временного диапазона наблюдений. Это позволит создать более полную шкалу определения твердозерности сортов, улучшить методику оценки их структурно-механических свойств и повысить качество контроля при производстве макаронной продукции.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Елена Сергеевна Жиганова — концептуализация, проведение исследований, формальный анализ, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

Мадина Карипуловна Садыгова — концептуализация, научное руководство, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

Валерий Яковлевич Черных — проведение исследований, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

Наталия Михайловна Цетва — ресурсы, проведение исследований.

Нина Сергеевна Соловова — ресурсы, проведение исследований.

Ирина Александровна Осыка — проведение исследований.

AUTHOR'S CONTRIBUTIONS

Elena S. Zhiganova — conceptualization, investigation, formal analysis, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

Madina K. Sadygova — conceptualization, supervision, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

Valery Ya. Chernykh — investigation, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

Natalia M. Cetva — resources, investigation.

Nina S. Solovova — resources, investigation.

Irina Al. Osyka - investigation.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алтайулы, С., Ермекбаев, С. Б., Шарикбаева, Г. Ж. (2019). Влияние стекловидности и натуры зерна на выход макаронной муки. *Пища. Экология. Качество: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции* (с. 61–62). Барнаул: Алтайский государственный университет.
- Altauly, S., Ermekbayev, S. B., Sherikbayeva, G. Zh. (2019). The influence of vitreousness and grain nature on the yield of pasta flour. *Food. Ecology. Quality: Collection of materials of the XVI International Scientific and Practical Conference* (p. 61–62). Barnaul: Altai State University.
- Васильчук, Н. С. (2001). *Селекция яровой твердой пшеницы*. Новая газета.
- Vasilchuk, N. S. (2001). *Breeding of spring durum wheat*. Novaya Gazeta. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Попова, В. М., Шутарева, Г. И., Еременко, Л. В., Паршикова, Т. М., & Цетва, Н. М. (2017). Основные достижения и направления селекции яровой твердой пшеницы в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». *Зерновое хозяйство России*, 4(52), 17–21.
- Gaponov, S. N., Popova, V. M., Shutareva, G. I., Eremenko, L. V., Parshikova, T. M., Tsetva, N. M. (2017). The main achievements and trends of spring durum wheat breeding in FSBSI 'RIA of South-East'. *Grain Economy of Russia*, 4(52), 17–21. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2019). 35 лет научной деятельности лаборатории селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы: результаты и перспективы. *Аграрный вестник Юго-Востока*, 3(23), 4–6.
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2019). 35 years of scientific activity in the laboratory of breeding and seed production of spring durum wheat: Results and prospects. *Agrarian Bulletin of the Southeast*, 3(23), 4–6. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2020). Новый сорт яровой твердой пшеницы памяти Васильчука. *Аграрный вестник Юго-Востока*, 2(25), 4–5.
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2020). New spring durum wheat variety in memory of Vasilchuk. *Agrarian Bulletin of the Southeast*, 2(25), 4–5. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2024). Экологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) саратовской селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 185(1), 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190>
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2024). Ecological adaptability of Saratov-bred spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*, 185(1), 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190> (In Russ.)
- Гурьева, К. Б., & Белецкий, С. Л. (2020). Динамика значения показателя твердозерности при длительном хранении зерна пшеницы. *Инновационные технологии*

- производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд, 14, 60–69.
- Guryeva, K. B., & Beletsky, S. L. (2020). Dynamics of vitreousness value during long-term storage of wheat grain. *Innovative Technologies for Production and Storage of Material Values for State Needs*, 14, 60–69. (In Russ.)
- Дуктова, Н. А., Минина, Е. М. (2019). Технологические свойства зерна отечественных сортов яровой твердой пшеницы. *Земледелие и растениеводство*, (2), 14–18.
- Duktova, N. A., Minina, E. M. (2019). Technological properties of domestic spring durum wheat varieties grain. *Crop Farming and Plant Growing*, (2), 14–18. (In Russ.)
- Дуктова, Н. А., & Минина, Е. М. (2019). Физико-химические свойства зерна отечественных сортов яровой твердой пшеницы. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, 2, 123–128.
- Duktova, N. A., & Minina, E. M. (2019). Physicochemical properties of grain from domestic varieties of spring durum wheat. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2, 123–128. (In Russ.)
- Жиганова, Е. С., Гапонов, С. Н., Садыгова, М. К., Соловова, Н. С., Жиганов, Д. А. (2024). Исследование оптимального соотношения мягкой и твердой пшеницы в рецептуре макаронных изделий. *Хлебопродукты*, 4, 42–48. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48>
- Zhiganova, E. S., Gaponov, S. N., Sadygova, M. K., Solovova, N. S., Zhiganov, D. A. (2024). Study of the optimal ratio of soft and durum wheat in pasta recipes. *Grain Products*, 4, 42–48. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48> (In Russ.)
- Кандроков, Р. Х., Береулов, М. Ш., Игонин, В. Н., & Наумович, Р. В. (2020). Мукомольные свойства зерна сортов и перспективных сортообразцов твердой озимой и яровой пшеницы. *Российская сельскохозяйственная наука*, 1, 66–71. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-66-71>
- Kandrokov, R. Kh., Begeulov, M. Sh., Igonin, V. N., & Naumovich, R. V. (2020). Milling properties of grain from varieties and promising lines of winter and spring durum wheat. *Russian Agricultural Science*, 1, 66–71. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-66-71> (In Russ.)
- Кирьякова, М. Н., Юсов, В. С., & Евдокимов, М. Г. (2023). Стекловидность зерна и оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*, 2(67), 44–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50>
- Kiryakova, M. N., Yusov, V. S., & Yevdokimov, M. G. (2023). Vitreousness of grain and evaluation of adaptive ability of promising spring durum wheat lines in the conditions of the Omsk region. *Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*, 2(67), 44–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50> (In Russ.)
- Кравченко, Н. С., Самофалова, Н. Е., Олдырева, И. М., & Макарова, Т. С. (2020). Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по качеству зерна и макаронным свойствам. *Зерновое хозяйство России*, 3, 26–31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31>
- Kravchenko, N. S., Samofalova, N. E., Oldyreva, I. M., & Makarova, T. S. (2020). Characteristics of winter durum wheat varieties by grain quality and pasta properties. *Grain Farming of Russia*, 3, 26–31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31> (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., & Бочкарева, И. А. (2015). Влияние твердозерности зерна на его макаронные свойства. *Международный научно-исследовательский журнал*, 11–2(42), 68–74. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.149>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., & Bochkareva, I. A. (2015). The effect of grain vitreousness on its pasta properties. *International Research Journal*, 11–2(42), 68–74. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.149> (In Russ.)
- Медведев, П. В., & Федотов, В. А. (2019). Твердозерность пшеницы как фактор регулирования потребительских свойств макаронных изделий. В Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: *Материалы Всероссийской научно-методической конференции* (с. 2181–2189). Оренбург: Оренбургский государственный университет.
- Medvedev, P. V., & Fedotov, V. A. (2019). The hardness of wheat as a factor in regulating the consumer properties of pasta. In *The university complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference* (pp. 2181–2189). Orenburg: Orenburg State University. (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., Владимиров, Н. П. (2019). Влияние генотипических факторов зерна пшеницы на структурно-механические свойства продуктов его размолла. *Международный научно-исследовательский журнал*, 12–1(90), 104–108. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.021>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., Vladimirov, N. P. (2019). The influence of genotypic factors of wheat grain on the structural and mechanical properties of its grinding products. *International Scientific Research Journal*, 12–1(90), 104–108. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.021> (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., & Лукьянова, Е. С. (2020). Сравнительная оценка показателей структурно-механических свойств зерна пшеницы. *Новые технологии*, 3, 63–70. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10307>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., & Lukyanova, E. S. (2020). Comparative evaluation of the structural-mechanical properties of wheat grain. *New Technologies*, 3, 63–70. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10307> (In Russ.)
- Ремесло, В. Н. (1971). *Методы оценки технологических качеств зерна*. Москва.
- Remeslo, V. N. (1971). *Methods for evaluating the technological qualities of grain*. Moscow. (In Russ.)
- Садыгова, М. К., Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Филина, Д. К. (2021). Технологический потенциал зерна яровой твердой пшеницы Саратовской селекции. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 759–767. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767>

- Sadygova, M. K., Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Filina, D. K. (2021). Technological potential of grain of Saratov selection spring durum wheat. *Techniques and Technologies of Food Productions*, 51(4), 759–767. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767> (In Russ.)
- Самофалова, Н. Е., Иличкина, Н. П., Безуглая, Т. С., Кравченко, Н. С., Иванисова, А. С., Кабанова, Н. В., & Дубинина, О. А. (2022). Сопряженность признаков качества зерна, крупки и макарон у пшеницы твердой озимой. *Зерновое хозяйство России*, 4, 62–69. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69>
- Samofalova, N. E., Ilichkina, N. P., Bezuglaya, T. S., Kravchenko, N. S., Ivanisova, A. S., Kabanova, N. V., & Dubinina, O. A. (2022). Correlation of grain, groat, and pasta quality traits in winter durum wheat. *Grain Farming of Russia*, 4, 62–69. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69> (In Russ.)
- Федотов, В. А. (2017). К вопросу оценки качества пшеницы по структурно-механическим свойствам зерна. *Международный научно-исследовательский журнал*, 8(62), 80–82. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.028>
- Fedotov, V. A. (2017). On the issue of wheat quality assessment based on the structural and mechanical properties of grain. *International Scientific Research Journal*, 8(62), 80–82. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.028> (In Russ.)
- Федотов, В. А. (2018). Твердозерность зерна как фактор регулирования потребительских свойств макаронных изделий. Студенческие научные общества — экономике регионов: Сборник материалов Международной молодежной научной конференции (с. 445–452). Оренбург: Оренбургский государственный университет.
- Fedotov, V. A. (2018). Grain hardness as a factor in regulating the consumer properties of pasta. *To Student scientific societies — economics of regions: A collection of materials of the International Youth Scientific Conference* (pp. 445–452). Orenburg: Orenburg State University. (In Russ.)
- Черных, В. Я. (2015). Принципы управления качеством макаронных изделий. *Хлебопечение России*, 6, 37–41.
- Chernykh, V. Ya. (2015). Principles of quality management of pasta products. *Bread Baking of Russia*, 6, 37–41. (In Russ.)
- Черных, В. Я., Карпушина, Е. В., Быкова, Н. Ю., & Максимов, А. С. (2020). Информационно-измерительная система на базе прибора «Полиреотест ПРТ-2» для контроля твердозерности пшеницы. *Хлебопродукты*, 8, 57–61. [doi:10.32462/0235-2508-2020-29-8-57-61](https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-8-57-61)
- Chernykh, V. Ya., Karpushina, E. V., Bykova, N. Yu., & Maksimov, A. S. (2020). Information and measurement system based on the “Polireotest PRT-2” device for controlling wheat vitreousness. *Grain Products*, 8, 57–61. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-8-57-61> (In Russ.)
- Черных, В. Я., Максимов, А. С., & Балуюн, Х. А. (2023). Классификация технологических свойств пшеницы по показателям твердозерности. *Хлебопродукты*, 6, 54–60. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-6-54-60>
- Chernykh, V. Ya., Maksimov, A. S., & Baluyan, Kh. A. (2023). Classification of technological properties of wheat based on vitreousness indicators. *Grain Products*, 6, 54–60. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-202332-6-54-60> (In Russ.)
- Digesù, A. M., Platani, C., Cattivelli, L., Mangini, G., & Blanco, A. (2009). Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science*, 50, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.05.002>
- Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., & Nam, S. (2017). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.005>
- Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*. 79, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.003>
- Hourston, J. E., Ignatz, M., Reith, M., Leubner-Metzger, G., & Steinbrecher, T. (2017). Biomechanical properties of wheat grains: the implications on milling. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(126), 20160828. <https://doi.org/10.1098/rsif.2016.0828>
- Johnson, M., Kumar, A., Oladzaad-Abbasabadi, A., Salsman, E., Aoun, M., Manthey, F. A., & Elias, E. M. (2019). Association mapping for 24 traits related to protein content, gluten strength, color, cooking, and milling quality using balanced and unbalanced data in durum wheat [*Triticum turgidum* L. var. durum (Desf.)]. *Frontiers in Genetics*, 10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00717>
- Kaliniewicz, Z., Markowska-Mendik, A., Warechowska, M. (2023). An analysis of the correlations between the hardness index and selected physicochemical properties of wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 110, 103643. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103643>