ГРНТИ 65.29.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1365**

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.Т. Жиенбаева, А. Изтаев, Т.К. Кулажанов, М.А. Якияева, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева, М.Б. Султанкул

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru

В работе представлена комплексная оценка физико-химических и структурно-механических свойств зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса на основе совокупности экспериментальных данных. Исследования показали выраженную межвидовую и сортовую дифференциацию химического состава, биологической ценности и технологических характеристик зерновок. Содержание белка варьировало в пределах 12,37-14,79 %, достигая максимальных значений у озимой пшеницы «Стекловидная-24» (14,79 %) и ярового тритикале «Указ» (14,52 %). Массовая доля крахмала составляла 57,86-83,28 %, при этом наибольшее содержание отмечено у тритикала «Указ» (83,28 %). Содержание жиров в изученных образцах менялось в диапазоне 1, 58 до 6, 51 %. Максимальное значение было выявлено у овса сорта «Аламан», за счёт чём и повышенной энергетической ценности по сравнению с другими культурами. Содержание клетчатки изменялось в пределах 8, 42-16, 75 %, при этом максимальные показатели были выявлены у ячменя, что характерно для данной культуры с её выраженными диетическими свойствами.

Зольность зерна варьировала в диапазоне 0,4 до 3,2 % и также достигала максимальных значений у овса обусловленных повышенным содержанием минеральных веществ. Насыпная масса колебалась в пределах 45, 4-82, 9 кг/hl, а удельная плотность, в пределах 652-875, 5 г/см³, что характеризует отличия в структуре и плотности зерна различных культур. Общая антиоксидантная активность менялась в диапазоне 0, 369 до 3, 029 мг/г, а содержание полифенольных соединений, в пределах 0, 60-4, 86 %, причём максимальные значения были выявлены у овса. В целом установлено, что по функциональной и антиоксидантной ценности ячмень и овёс выделяются на фоне исследований, тогда как пшеница и тритикале характеризуются ярко выраженным белково-углеводным потенциалом. Это определяет целесообразность их дифференцированного и целенаправленного применения в технологиях переработки зерна с учётом требуемых пищевых и технологических свойств.

Ключевые слова: физико-химические свойства, структурно-механическое свойства, зерновые культуры, антиоксиданты, витамины.

ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ КЕШЕНДІ БАҒА БЕРУ

С.Т. Жиенбаева, А. Изтаев, Т.К. Кулажанов, М.А. Якияева, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева, М.Б. Султанкул

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан, e-mail: yamadina88@mail.ru

Зерттеулер нәтижесінде бидай, тритикале, арпа және сұлы дәндерінің физика-химиялық және құрылымдық-механикалық қасиеттеріне жүргізілген кешенді бағалау нәтижелері эксперименттік деректер жиынтығы негізінде берілген. Зерттеу нәтижелері дәннің химиялық құрамы, биологиялық құндылығы және технологиялық сипаттамалары бойынша айқын түрлік және сорттық айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Ақуыз мөлшері 12,37-14,79 % аралығында өзгеріп, ең жоғары

көрсеткіштер күздік «Стекловидная-24» бидайында (14,79 %) және жаздық «Указ» тритикалесінде (14,52 %) анықталды. Крахмалдың массалық үлесі 57,86-83,28 % аралығында болды, бұл ретте ең жоғары мән «Указ» тритикалесінде (83,28 %) байқалды. Май мөлшері 1,58-6,51 % шегінде өзгерді, ең жоғары көрсеткіш «Аламан» сұлысында тіркеліп, оның жоғары энергетикалық құндылығын айқындайды. Клетчатка мөлшері 8,42-16,75 % аралығында болып, ең жоғары мәндер арпа дәніне тән болды.

Дәннің күлділігі 0,4-3,2 % аралығында өзгеріп, ең жоғары көрсеткіштер сұлыда анықталды, бұл минералдық заттардың жоғары мөлшерін көрсетеді. Насыпты масса 45,4-82,9 кг/hl, ал меншікті тығыздық 652-875,5 г/см³ аралығында болды. Дәннің антиоксиданттық белсенділігі 0,369-3,029 мг/г, полифенолдар мөлшері 0,60-4,86 % шегінде өзгеріп, ең жоғары мәндер сұлыда байқалды. Жалпы алғанда, арпа мен сұлының функционалдық және антиоксиданттық құндылығы ең жоғары екені, ал бидай мен тритикаленің ақуыз-көмірсулы әлеуеті басым болып келетіні анықталды, бұл оларды дәнді дақылдарды қайта өңдеу технологияларында мақсатты түрде пайдаланудың перспективалылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: дәнді дақылдар, физико-химиялық қасиеттер, құрылымдық-механикалық қасиеттер, антиоксиданттар, витаминдер.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF PHYSICOCHEMICAL AND STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CEREAL CROPS

S.T. Zhiyenbayeva, A. Iztayev, T.K. Kulazhanov, M.A. Yakiyayeva✉, M.N. Mamyrayev, M.N. Rakhymbayeva, M.B. Sultankul

Almaty Technological University, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru

The study presents a comprehensive evaluation of the physicochemical and structural-mechanical properties of wheat, triticale, barley, and oat grains based on a set of experimental data. Studies have shown variability between species and varietal differences in terms of chemical composition, nutritional value, and processing properties of the grains. The protein content ranged from 12.37 to 14.79%, with the highest values found in winter wheat Steklovidnaya-24 (14.79%) and spring triticale Ukaz (14.52%). The starch content varied from 57.86 to 83.28%, with the highest content observed in triticale Ukaz (83.28%). The fat content ranged from 1.58 to 6.51%, with the highest value found in oats Alaman, which explains its high energy value. The crude fiber content ranged from 8.42 to 16.75%, with maximum levels found in barley.

The ash content of the grain varied from 0.4 to 3.2%, with the highest values recorded in oats, indicating a high content of mineral substances.Bulk density ranged from 45.4 to 82.9 kg/hl, while true density varied from 652 to 875.5 g/cm³. Antioxidant activity of the grain ranged from 0.369 to 3.029 mg/g, and polyphenol content from 0.60 to 4.86%, with the highest values observed in oats. It was established that barley and oats are characterized by the highest functional and antioxidant value, whereas wheat and triticale exhibit a more pronounced protein–carbohydrate potential, which determines their prospects for targeted use in grain processing technologies.

Keywords: cereal crops, physicochemical properties, structural-mechanical properties, antioxidants, vitamins.

Введение. За последние годы требования к качеству и стабильности зерна заметно выросли. Такой подход открывает новые горизонты для понимания технологического потенциала культур и прогноза их поведения при переработке. Пшеница, тритикале, овес и ячмень являются традиционными основными источниками для производства хлебобулочных изделий и муки,

крупы, экструзионных и функциональных продуктов, а также различных напитков. Их химический состав и механические свойства оказывают прямое влияние на количество и качество получаемой продукции, стабильность производственного процесса, энергозатраты, а также на возможные потери при хранении и транспортировке. Поэтому комплексная оценка данных параметров в настоящее время становится все более актуальной в условиях развития отрасли по переработке зерна [1,2].

Физико-химические показатели зерна во многом определяются его химическим составом, в котором ведущее место занимают показатели содержания белка, крахмала, липидов, пищевых волокон, β-глюканов, минеральных веществ, а также влажности, зольности, натуры и стекловидности. Именно эти параметры в значительной мере задают потенциальную пищевую ценность зерна и предопределяют его поведение при переработке [1,3]. Пшеница обычно характеризуется высоким содержанием крахмала и белка клейковины, которые и обуславливают формирование упругого структурного каркаса теста [4]. Показатели физико-механических свойств зерна позволяют решать большое количество прикладных задач, имеющих практическое значение [5]. Овёс и ячмень, как правило, содержат большее количество растворимых пищевых волокон, которые отличаются высокой гидрофильностью и вязкостью, что в значительной степени влияет на реологические свойства теста и структуру мякиша хлеба. Тритикале занимает промежуточное положение между пшеницей и рожью, сочетая повышенное содержание белка, минеральных компонентов и биологически активных веществ с умеренными хлебопекарными свойствами [6,7].

Пшеница характеризуется достаточно высокой прочностью стекловидного эндосперма, что способствует стабильному выходу муки и образованию клейковины требуемого качества при сохранении оптимальных условий помола. Однако с увеличением влажности зерна его твердость и энергия разрушения снижаются, что приводит к изменению характера измельчения. Этот фактор необходимо учитывать на этапах послеуборочной обработки, кондиционирования и хранения, поскольку режим влажности напрямую влияет на технологическое поведение зерна [8,9]. Овес и ячмень имеют более сложную анатомическую структуру мембран и эндосперма. Они характеризуются повышенным содержанием клеточных стенок и пищевых волокон, что формирует иную картину распределения механических напряжений при обработке. В результате такие культуры обладают особой механической устойчивостью и в то же время более высокой чувствительностью к механическим повреждениям при транспортировке и очистке от кожуры. По своим структурным и механическим характеристикам тритикале занимает промежуточное положение между пшеницей и рожью. В то же время его свойства характеризуются значительной вариабельностью, обусловленной сортовыми особенностями и условиями выращивания, что требует индивидуального подхода при выборе режимов переработки и хранения [10].

Физико-химические и структурно-механические свойства зерна в комплексе определяют реологические свойства теста и качество конечного продукта. Для пшеничного теста белки клейковины играют решающую роль, образуя эластичный каркас. При использовании в пшеничном тесте овсяной и ячменной муки или их добавок важную роль начинают играть некрахмалистые полисахариды, главным образом β-глюканы и арабиноксиланы, которые повышают водопоглощение, повышают вязкость и в то же время снижают газоудерживающую способность теста [11]. Это сопровождается уменьшением удельного объема хлеба и изменением структуры мякиша, но в то же время повышается питательная и функциональная ценность продуктов.

Тритикале активно рассматривается как альтернатива пшенице при производстве хлебобулочных изделий. Использование цельнозерновой муки тритикале позволяет увеличить содержание пищевых волокон, минералов и биологически активных компонентов в хлебе, но требу-

ет корректировки технологических режимов замеса и ферментации из-за меньшей устойчивости клейковины и других структурных и механических характеристик теста [12]. Использование ферментированных добавок и методов биотехнологической обработки способствует улучшению реологических характеристик теста на основе тритикале, повышению его устойчивости к деформации и стабилизации структуры мякиша [13].

Современные исследования показывают, что при объединении физико-химических и структурно-механических показателей можно более точно прогнозировать технологическое поведение зерна и качество продукции. Таким образом, изменение содержания β-глюканов и их молекулярной массы оказывает влияние не только на вязкость теста, но и на характер деформации и разрушения структурных элементов при механических воздействиях [14]. Аналогично перераспределение белка и крахмала в эндосперме отражается как на химическом составе муки, так и на её механической прочности и энергоёмкости разрушения [15].

Таким образом, пшеница, тритикале, овёс и ячмень существенно различаются по совокупности физико-химических и структурно-механических характеристик, что обусловливает их различное технологическое поведение при переработке. Пшеница обеспечивает формирование развитой клейковинной структуры, овес и ячмень придают продуктам функциональные свойства благодаря высокому содержанию бета-глюканов, а тритикале сочетает в себе характеристики обеих групп культур, представляя перспективное сырье для расширения ассортимента хлебобулочных и функциональных изделий. В связи с этим комплексная оценка свойств зерновых культур, основанная на одновременном учете их химического состава, механической прочности и реологических характеристик, является важнейшей научно-практической задачей, решение которой позволяет разумно подбирать сырье, совершенствовать технологические приемы и повышать качество продукции завершено [16].

Целью исследования является проведение комплексной сравнительной оценки физико-химических, структурных и механических свойств зерен тритикале, пшеницы, овса и ячменя, а также установление взаимосвязи полученных характеристик с технологическими показателями их переработки.

Цели исследования включали последовательное решение следующих научных вопросов. Во-первых, была проведена сравнительная оценка основного химического состава зерен пшеницы, тритикале, ячменя и овса с точки зрения ключевых питательных свойств: содержания белка, жира, крахмала, клетчатки и золы. Это позволило нам определить возможные направления технологического использования каждой культуры. Во-вторых, липидный комплекс зерна и его окислительная стабильность были изучены по определению кислотного и перекисного показателей жира, что позволило оценить степень гидролитических и окислительных изменений, влияющих на качество и безопасность сырья. В-третьих, были оценены физико-химические характеристики состояния и плотности зерна, включая массу 1000 зерен, насыпной вес, удельный вес, влажность и pH среды. Эти параметры отражают структурные характеристики зерна и оказывают существенное влияние на процессы хранения, транспортировки и переработки. В-четвертых, была определена функциональная и антиоксидантная ценность зерна с точки зрения содержания клетчатки, полифенольных соединений и водорастворимых антиоксидантов, что позволило оценить перспективы культур в разработке функциональных и профилактических продуктов. Следующая задача: исследовать витаминный профиль зерна по содержанию витаминов группы B (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_9) и витамина E (α-токоферола).

Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании физико-химических и структурно-механических свойств различных сортов зерновых культур категории «элита» и «супер элита», а именно: озимого тритикале «Кожа» (супер элита), ярового тритикале «Указ» (супер элита), озимой пшеницы «Димаш» (су-

пер элита), озимой пшеницы «Стекловидная-24» (супер элита), озимого ячменя «Айдын» (элита), ярового ячменя «Север-1» (элита), а также овса «Аламан». Проведенные исследования основаны на комплексной оценке качественных характеристик казахстанских сортов культур.

Полученные результаты позволяют более точно прогнозировать технологическое поведение зернового сырья при переработке и обеспечить научно обоснованный отбор сортов зерна для производства различных видов пищевых продуктов. Тщательная оценка химического состава и структурно-механических свойств зерна способствует оптимизации технологических режимов переработки, формированию оптимальной структуры и текстуры продуктов, а также повышению их пищевой и биологической ценности, что в конечном итоге улучшает качество и стабильность из характеристик готовой продукции.

Материалы и методы. Объектами исследования служило зерно следующих сортов зерновых культур категории «элита» и «супер элита»:

- озимое тритикале «Кожа» (супер элита);
- яровое тритикале «Указ» (супер элита);
- озимая пшеница «Димаш» (супер элита);
- озимая пшеница «Стекловидная-24» (супер элита);
- озимый ячмень «Айдын» (элита);
- яровой ячмень «Север-1» (элита);
- овёс «Аламан».

Отбор проб проводили по стандартной методике. Зерно очищали от примесей, доводили до лабораторных условий и использовали для определения комплекса физико-химических и структурно-механических показателей.

В зерне всех образцов определяли массовую долю белка, жира, крахмала, клетчатки, полифенолов, водорастворимых антиоксидантов, витаминов группы В и витамина Е (α-токоферол). Содержание белка определяли по общему азоту с пересчётом на белок. Массовую долю жира устанавливали экстракционным методом. Крахмал определяли ферментативно-колориметрическим методом. Клетчатку определяли после кислотно-щелочной обработки с последующим прокаливанием остатка. Полифенолы определяли спектрофотометрическим методом. Водорастворимые антиоксиданты определяли по ГОСТ Р 54037-2010. Витамины группы В определяли по ГОСТ 31483-2012. Витамин Е (α-токоферол) определяли по ГОСТ Р 54634-2011. Качество липидной фракции оценивали по кислотному числу жира (мг КОН/г) и перекисному числу жира (ммоль/кг) определяли титриметрическими методами. Зольность зерна определяли по ГОСТ 10847-74 «Зерно. Метод определения зольности». Активную кислотность (pH) водной вытяжки зерна определяли потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 26294-89.

Массу 1000 зёрен определяли взвешиванием с трёхкратной повторностью. Насыпную массу и влажность зерна определяли на автоматическом анализаторе Perten Instruments AM 5200. Удельную плотность (г/см^3) определяли с использованием литровой пурки ПХ-1 как отношение массы зерна к его объёму. Влажность дополнительно контролировали на анализаторе AgriChek. Для зерна пшеницы (сорта «Димаш», «Стекловидная-24») и тритикале («Кожа», «Указ») дополнительно определяли массовую долю сырой клейковины и показатель седиментации на анализаторе AgriChek с автоматической коррекцией по влажности. Для ячменя и овса показатели клейковины и седиментации не определяли в связи с отсутствием выраженного клейковинного комплекса.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием методов вариационной статистики. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения (±SD). Достоверность различий между показателями оценивали с применением критерия Стьюдента (t-test). Уровень статистической значимости принимали равным $p \leq 0,05$. Обработку данных выполняли с использованием программного обеспечения Microsoft Excel / Statistica.

Все анализы выполняли не менее чем в трёхкратной повторности. Результаты выража-

ли в виде среднего значения и стандартного отклонения. Полученные физико-химические и структурно-механические показатели использовали для комплексной сравнительной оценки свойств зерна тритикале, пшеницы, ячменя и овса.

Обсуждение и результаты. В результате проведённых исследований получен комплекс экспериментальных данных, характеризующих физико-химические и структурно-механические свойства зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса. Оценка показателей белка, жира, крахмала, клетчатки, витаминов, антиоксидантной активности, а также плотностных и технологических характеристик позволила выявить как межвидовые, так и сортовые различия исследуемых культур, отражающие особенности их биохимической природы и структурной организации зерновки.

Полученные результаты были систематизированы в основных функциональных блоках показателей, что позволило не только сравнить изучаемые культуры друг с другом, но и выявить взаимосвязи между их химическим составом, структурно-механическими характеристиками и возможными технологическими свойствами при обработке. Такой подход позволил получить более целостное представление о том, как набор характеристик зерна влияет на его поведение в производственных процессах. Особое внимание было уделено сравнительному анализу белково-глютенового комплекса пшеницы и тритикале как ключевого фактора формирования хлебопекарных свойств. Что касается овса и ячменя, то основное внимание уделяется изучению их липидного и антиоксидантного профиля, который определяет питательную ценность и устойчивость к окислительным изменениям. Кроме того, подробно рассмотрены плотностные и углеводные характеристики всех исследуемых образцов, поскольку они во многом определяют технологическую пригодность зерна и эффективность его переработки. Основные показатели химического состава исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемых зерновых культур

Зерновые культуры	Белок, %	Жир, %	Крахмал, %	Клечатка, %	Зольность, %
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	12,37±0,21	2,43±0,17	75,71±0,20	8,4213±0,21	1,55±0,08
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	14,52±0,23	2,67±0,22	83,28±0,21	9,26±0,21	0,4±0,08
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	14,69±0,32	2,93±0,18	74,66±0,24	0,911±0,21	1,3±0,09
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	14,79±0,12	1,58±0,2	61,95±0,23	12,81±0,21	0,94±0,07
Озимый ячмень «Айдын Элита»	12,98±0,11	3,23±0,25	59,22±0,22	15,23±0,21	2,3±0,055
Яровой Ячмень Север-1 Элита	14,37±0,22	3,55±0,3	65,14±0,21	16,75±0,21	2,6±0,06
Овес «Аламан»	13,88±0,33	6,5±0,21	57,86±0,25	12,60±0,21	3,2±0,07

Содержание белка в зерне изучаемых образцов (Таблица 1) колебалось в пределах 12, 37-14, 79 %. Максимальные показатели была у озимой пшеницы «Стекловидная-24» (14, 79 %) и «Димаш» (14, 69 %), а также у ярового тритикале «Указ» (14, 52 %), что свидетельствует об их высокой белковой ценности. Полученные данные сопоставимы с результатами зарубежных ученых, как Shewry P.R. (2019). Согласно работе этого ученого, содержание белка в зерне пшеницы варьируются в пределах 12-15%, что соответствует результатами настоящего исследование [16]. Минимум белка содержалось в озимом тритикале «Кожа» (12, 37 %). Доля крахмала варьировала от 57, 86 до 83, 28 %, при этом максимальное значение у ярового тритикале «Указ» (83, 28 %), что характеризует данный образец, как наиболее углеводно-ориентированный по составу.

Содержание жира находилось в пределах от 1, 58 до 6, 51 %. Минимальные значения характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24», тогда как максимальное содержание жира выявлено у овса «Аламан», что связано с высокой энергетической ценностью. Повышенные значения жира также отмечены у ячменя. Доля клетчатки варьировала в пределах от 0, 911 до 16, 75 %, при этом максимум отмечен у ярового и озимого ячменя, а минимум у озимой пшеницы «Димаш», что говорит о видовых различиях по содержанию оболочек и уровню пищевых волокон. Зольность зерновой массы растительных культур колебалась в довольно широких пределах от 0, 4 до 3, 2 %. Минимальное значение зольности было у ярового тритикале «Указ», что говорит о низком содержании минеральных веществ и преобладании в зерне эндосперма. Более высокие значения зольности характерны для ячменя (2, 3-2, 6 %) и, особенно, для овса «Аламан» (3, 2 %), что связано с большей долей оболочек, в которых сосредоточено большое количество минеральных веществ. Пшеница и озимое тритикале занимают по данному показателю промежуточное место. Результаты исследования подтверждают, что, в частности, овёс и ячмень, являются наиболее ценным источником минеральных веществ среди изучаемых видов зерна.

Таблица 2 - Содержание жира и окислительная стабильность зерна

Зерновые культуры	Жир,%	Кислотное число жира, мг КОН/г	Перекисное число жира, ммоль/кг
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	2,43±0,055	0,49±0,083	2,91±0,077
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	2,67±0,064	0,53±0,078	3,20±0,073
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	2,93±0,058	0,59±0,093	3,52±0,068
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	1,58±0,049	0,32±0,074	1,89±0,083
Озимый ячмень «Айдын Элита»	3,23±0,052	0,65±0,085	3,87±0,017
Яровой Ячмень Север-1 Элита	3,55±0,047	0,71±0,066	4,26±0,034
Овес «Аламан»	6,5±0,039	0,81±0,056	4,88±0,027

А также провели оценку липидного комплекса исследуемых зерновых культур. Были проанализированы содержание жира, кислотное и перекисное числа исследуемых образцов. Эти данные позволяет оценить не только количественные характеристики липидной фракции, но и

степень гидролитических и окислительных изменений. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Результаты, приведенные в таблице 2 показали, что жир в изученных образцах зерна изменялся от 1, 58 до 6, 51 %. Меньшее его количество отмечено у озимой пшеницы «Стекловидная-24», тогда как максимальное, у овса «Аламан», что характеризует его как высококалорийную сельскохозяйственную культуру, с специфическим накоплением липидов. Значительные его количества были также у ярового и озимого ячменя, пшеница и тритикале, меньше всего. Такие различия обусловлены различиями в обмене веществ и структурой прорастающего зерна.

Кислотное число жира колебалось в диапазоне от 0, 32 до 0, 81 мг КОН/г. Меньшие значения характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24», что указывает на низкий гидролиз липидов. Максимальное кислотное число жира было у овса «Аламан» и у ярового ячменя «Север-1», что объясняет высокую активность липаз и возможную склонность жира к гидролизу. Перекисное число жира было в интервале от 1, 89 до 4, 88 ммоль/кг. Меньшие его значения были у озимой пшеницы «Стекловидная-24», а большие, у овса «Аламан» и ячменя, что характеризует их липидную часть, как более подверженную окислению. Установлено, что культуры с высоким содержанием жира, это не только высокий показатель кислотного, но и перекисного числа, что следует учитывать при хранении и переработке зерна.

Для комплексной оценки физико-механических и технологических свойств исследуемых образцов, так же были проанализированы показатели насыпной массы, удельной плотности массы 1000 зерен, влажности и активной кислотности. Эти параметры значительно влияет на процесс хранения и переработки. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Физико-химические и плотностные показатели зерновых культур

Зерновые культуры	Насыпная масса, kg/hL	Удельная плотность (г/см^3)	Масса 1000 зерен, г	Влажность, %	pH
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	67,7±0,052	855±0,75	21,132±0,20	9,59±0,11	6,23±0,029
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита»	74,4±0,053	875,5±0,76	15,312±0,21	9,28±0,12	6,2±0,033
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита»	81,3±0,052	825±0,82	20,960±0,20	9,17±0,10	6,22±0,028
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита»	82,9±0,051	840±0,78	21,522±0,22	9,40±0,14	6,23±0,031
Озимый ячмень «Айдын Элита»	64,3±0,052	657,2±0,83	20,319±0,24	10,36±0,10	5,76±0,030
Яровой Ячмень Север-1 Элита	64,1±0,048	652±0,80	22,700±0,20	10,57±0,13	5,71±0,025
Овес «Аламан»	45,4±0,053	737±0,79	19,949±0,22	9,35±0,10	6,00±0,020

Выявленные данные представленные в таблице 3 показали, что насыпная масса исследованных образцов зерна изменялась в пределах от 45,4 до 82,9 кг/hL. Наибольшие показатели характерны для озимой пшеницы «Стекловидная-24» и «Димаш», что свидетельствует о высокой выполненности зерна, хорошей выравненности и плотной структуре эндосперма. Более низкие значения отмечены у овса «Аламан» и ячменя, что объясняется большей долей оболочечных тканей и относительно меньшим содержанием эндосперма, влияющих на объемную массу зерна. Удельная плотность варьировала от 652 до 875,5 г/см³. Максимальные значения зафиксированы у ярового тритикала «Указ» и озимой пшеницы, что указывает на более компактную структуру зерновки и потенциально лучшие помольные свойства, поскольку плотное зерно, как правило, характеризуется более прогнозируемым поведением при дроблении. Масса 1000 зёрен находилась в диапазоне от 15,312 до 22,700 г. Минимальное значение установлено у ярового тритикала «Указ», а максимальное - у ярового ячменя «Север-1», что отражает сортовые особенности формирования зерновки и условия накопления сухих веществ. Пшеница и озимое тритикале демонстрировали близкие значения данного показателя, что указывает на сопоставимый уровень развития эндосперма и степень выполненности зерна.

Влажность образцов варьировала от 9,17 до 10,57 %, что соответствует кондиционному состоянию зерна и обеспечивает его относительную устойчивость при хранении. Несколько более высокие показатели влажности отмечены у ячменя, что потенциально может повышать его чувствительность к микробиологической порче при неблагоприятных условиях хранения. Значения pH находились в пределах 5,71-6,23 и соответствовали слабокислой реакции среды, типичной для злаковых культур. Более низкие показатели pH у ячменя могут свидетельствовать о более выраженной ферментативной активности, тогда как относительно более высокие значения у пшеницы и тритикале указывают на большую стабильность зерна в процессе хранения.

Для визуализации функциональных и антиоксидантных свойств зерновых культур были были проанализированы содержание клетчатки, полифенолов и водорастворимых антиоксидантов. Эти показатели отражают пищевую и биологическую ценность зерна. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

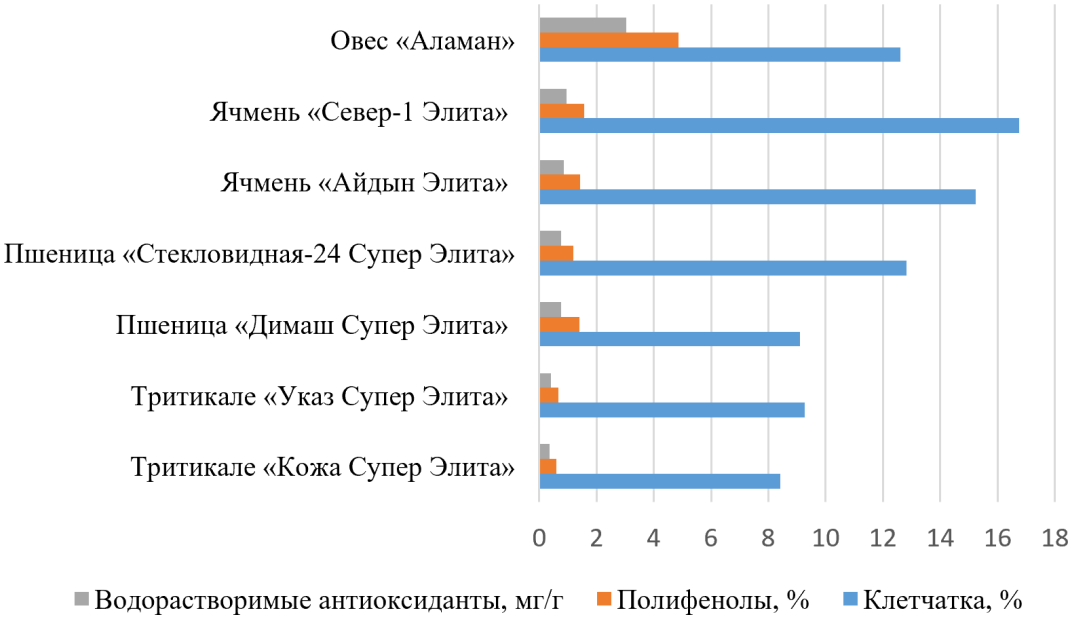


Рис.1 - Показатели функциональной и антиоксидантной ценности зерна

Представленные на рисунке 1 результаты содержание клетчатки в зерне исследуемых культур составило 8,42 % у озимого тритикале «Кожа», 9,26 % у ярового тритикале «Указ», 9,11 % у озимой пшеницы «Димаш», 12,81 % у озимой пшеницы «Стекловидная-24», 15,23 % у озимого ячменя «Айдын», 16,75 % у ярового ячменя «Север-1» и 12,60 % у овса «Аламан», при этом максимальные значения характерны для ячменя, а минимальные - для тритикале. Содержание полифенолов изменялось от 0,60 % у озимого тритикале «Кожа» и 0,66 % у ярового тритикале «Указ» до 1,40 % у пшеницы «Димаш», 1,18 % у пшеницы «Стекловидная-24», 1,43 % у озимого ячменя «Айдын» и 1,57 % у ярового ячменя «Север-1», при этом наибольшее значение зафиксировано у овса «Аламан» - 4,86 %. Концентрация водорастворимых антиоксидантов составила 0,369 мг/г у озимого тритикале «Кожа», 0,406 мг/г у ярового тритикале «Указ», 0,753 мг/г у озимой пшеницы «Димаш», 0,762 мг/г у озимой пшеницы «Стекловидная-24», 0,858 мг/г у озимого ячменя «Айдын», 0,944 мг/г у ярового ячменя «Север-1», при максимальном значении у овса «Аламан» - 3,029 мг/г. В целом установлено, что овёс и ячмень характеризуются наибольшими значениями клетчатки, полифенолов и антиоксидантной активности, что подтверждает их наиболее выраженную функциональную и антиоксидантную ценность, тогда как тритикале занимает минимальные позиции по данным показателям.

Содержание витаминов группы В в исследуемых образцах представлены в таблице 4. Эти показатели отражают биологическую ценность зерна и его функциональный потенциал для питания человека.

Таблица 4 - Витаминный профиль зерна исследуемых культур

Зерновые культуры	B_1, мг/100г	B_2, мг/100г	B_3, мг/100г	B_5, мг/100г	B_6, мг/100г	B_9, мг/100г
Озимое Тритикале «Кожа Супер Элита»	0,437±0,03	0,141±0,02	1,502±0,02	1,389±0,03	0,145±0,01	0,077±0,01
Яровое Тритикале «Указ Супер Элита» (2025)	0,480±0,02	0,155±0,01	1,652±0,03	1,528±0,02	0,159±0,02	0,084±0,03
Озимая пшеница «Димаш Супер Элита» (2025)	0,440±0,04	0,127±0,05	7,075±0,02	0,982±0,01	0,440±0,03	0,045±0,02
Озимая пшеница «Стекловидная-24 Супер Элита» (2025)	0,402±0,02	0,121±0,01	5,737±0,03	1,002±0,05	0,315±0,03	0,040±0,04
Озимый ячмень «Айдын Элита» (2025)	0,347±0,01	0,137±0,02	6,825±0,01	0,735±0,02	0,494±0,02	0,042±0,03
Яровой Ячмень Север-1 Элита (2024)	0,381±0,04	0,150±0,04	7,508±0,02	0,809±0,04	0,543±0,02	0,046±0,01
Овес «Аламан»	0,494±0,02	0,126±0,03	1,050±0,03	0,273±0,05	0,284±0,05	Не обнр

Содержание витаминов группы В в исследуемых образцах зерна представленные в таблице 4 характеризовалось выраженной межвидовой и межсортовой изменчивостью. Уровень витамина B_1 (тиамина) изменялся от 0,347 мг/100 г у озимого ячменя «Айдын» до 0,494 мг/100 г у овса «Аламан», при этом тритикале и пшеница занимали промежуточное положение. Содержание витамина B_2 (рибофлавина) варьировало в диапазоне 0,121–0,155 мг/100 г, максимальные значения отмечены у ярового тритикале «Указ» и ярового ячменя «Север-1». Витамин B_3 (ниацин) накапливался в наибольших количествах у ярового ячменя «Север-1» (7,508 мг/100 г), ози-

мой пшеницы «Димаш» (7,075 мг/100 г) и озимого ячменя «Айдын» (6,825 мг/100 г), тогда как минимальное значение зафиксировано у овса «Аламан» (1,050 мг/100 г). Содержание витамина B_5 (пантотеновой кислоты) изменялось от 0,273 мг/100 г у овса до 1,528 мг/100 г у ярового тритикале, что указывает на высокую обеспеченность данным витамином именно у тритикалевых форм. Уровень витамина B_6 (пиридоксина) варьировал от 0,145 мг/100 г у озимого тритикале до 0,543 мг/100 г у ярового ячменя, что свидетельствует о высокой биологической ценности ячменя. Содержание витамина B_9 (фолиевой кислоты) находилось в пределах 0,040-0,084 мг/100 г, при этом наибольшее значение отмечено у ярового тритикале «Указ», тогда как у овса фолиевая кислота не обнаружена. В целом установлено, что ячмень и тритикале характеризуются наиболее высоким суммарным содержанием витаминов группы В, что определяет их повышенную биологическую и функциональную ценность, тогда как пшеница и овёс имеют более избирательный витаминный профиль.

Содержание α-токоферола в зерне злаковых культур представлены на рисунке 2. Эти данные позволяют оценить содержание витамина Е и его вклад в питательную ценность зерна.

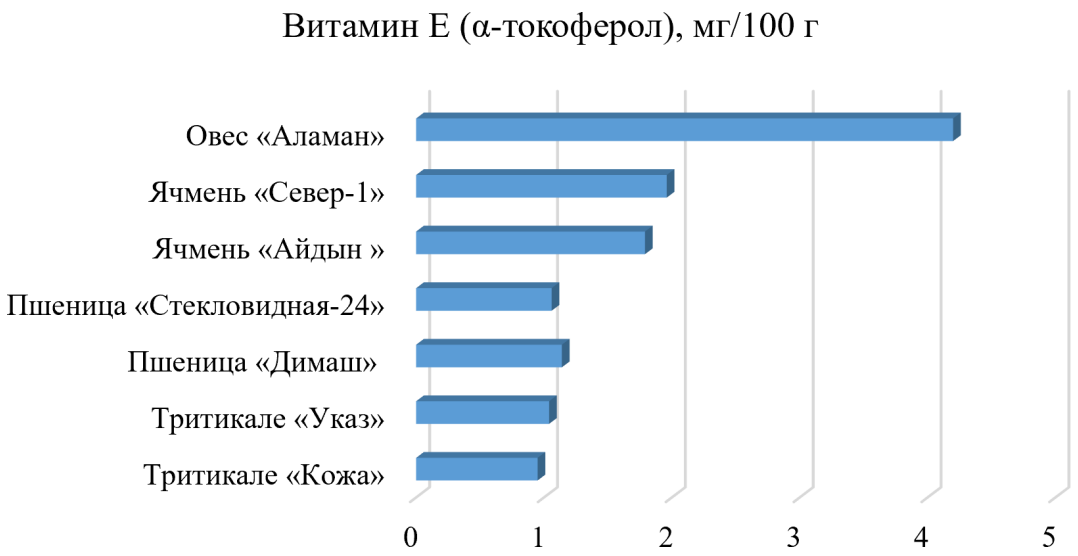


Рис.2 - Содержание α-токоферола в зерне злаковых культур

Содержание витамина Е (α-токоферола) в зерне исследуемых культур изменялось в широком диапазоне - от 0,95 до 4,20 мг/100 г. Минимальное значение зафиксировано у тритикале «Кожа», несколько более высокие значения характерны для тритикале «Указ» (1,04 мг/100 г) и пшеницы «Стекловидная-24» (1,06 мг/100 г), тогда как у пшеницы «Димаш» содержание витамина Е достигало 1,14 мг/100 г. Существенно более высокие значения α-токоферола установлены у ячменя: 1,79 мг/100 г у сорта «Айдын» и 1,96 мг/100 г у сорта «Север-1», что свидетельствует о более высокой антиоксидантной обеспеченности данной культуры. Максимальное содержание витамина Е выявлено у овса «Аламан» - 4,20 мг/100 г, что более чем в два раза превышает показатели ячменя и в 3-4 раза - показатели пшеницы и тритикале. Полученные данные подтверждают, что овёс и ячмень обладают наиболее выраженной антиоксидантной активностью за счёт высокого содержания α-токоферола, тогда как пшеница и тритикале характеризуются более умеренным уровнем данного жирорастворимого витамина. Полученные результаты, также сопостовимы с зарубежными исследованиями Butt M.S. (2008) [17]. Они показывают, что овес и ячмень характеризуются повышенным содержание -глюканов и антиоксидантной актив-

ностью, что поддерживает их высокую функциональную ценность. Так же, в работе Cui et.al., (2025) [18] отмечено, что изменчивость химического состава и питательная ценность тритикале зависит от сорта и условий выращивания, что согласуется с полученными результатами.

Выводы. В результате проведённых исследований выполнена комплексная оценка физико-химических, структурно-механических, функциональных и витаминных свойств зерна пшеницы, тритикале, ячменя и овса Было обнаружено, что пшеница и тритикале имеют более высокое содержание белка и крахмала, что определяет их основное назначение при технологической переработке и высокую ценность для приготовления пищи. В то время как овес и ячмень характеризуются высоким содержанием жиров, клетчатки, полифенолов и минералов, что обусловливает более выраженные функциональные и диетические свойства этих культур.

Исследование содержания липидов и показателей их окислительной стабильности показало, что культуры с более высоким содержанием жиров (овес и ячмень) характеризуются более высокими значениями кислотных и перекисных показателей, которые необходимо учитывать при хранении зерна. Исходя из содержания витаминов, ячмень и тритикале имеют более высокое общее содержание витаминов группы В, в то время как овес имеет максимальное содержание витамина Е, что приводит к высокому уровню его антиоксидантной активности. Это подтверждает целесообразность использования овса и ячменя для производства функционального питания.

Оценка физико-химического состояния и характеристик плотности зерна показала, что пшеница и тритикале имеют более высокую насыпную массу и удельную плотность, что указывает на более тщательную подготовку зерна и, возможно, более высокие свойства измельчения. Значения влажности и pH всех образцов соответствовали требованиям и обеспечивали стабильность зерна при хранении. В целом полученные результаты подтверждают целесообразность дифференцированного использования исследуемых культур: пшеницы и тритикале - преимущественно для технологических целей, овса и ячменя - для создания функциональных и диетических продуктов питания.

Финансирование. *Результаты, представленные в статье, прлучены в рамках грантового финансирования КН МНВО РК № AP26105476 «Разработка безопасной технологии длительного силосного хранения цельно смолотой муки из зерновых и бобовых культур различной дисперсности (2025-2026)».*

Литература

1. Garutti M., et al. The impact of cereal grain composition on the health and disease outcomes //Frontiers in nutrition. -2022. -Vol.9: 888974. DOI 10.3389/fnut.2022.888974.

2. Shoukat M., Sorrentino A. Cereal β-glucan: A promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health //International Journal of Food Science and Technology. -2021. -Vol.56(5). -P. 2088-2097. DOI 10.1111/ijfs.14971.

3. Codină G.G., et al. Physicochemical Properties, Polyphenol and Mineral Composition of Different Triticale Varieties Cultivated in the Republic of Moldova //Molecules. -2025. -Vol.30 (6): 1233. DOI 10.3390/molecules30061233.

4. Башабаева Б., Рсымбетов А., Айнебекова, Б., Сураубаева А., Кенес Б., Мереева Т., МасимгазиеваА. Оценка технологических показателей качества зерна селекционных линий озимой пшеницы// Izdenister Natigeler.-2025.-№ 3(107).- С.177–188. DOI 10.37884/3-2025/16.

5. Rajabov A., & Rajabov Д. Research of technological properties and food safety of grain of domestic wheat varieties// Modern Science and Research. - 2023.-Vol.2(7)/- PP.468–477. DOI 10.5281/zenodo.8199722.

6. Karimi R., Azizi M. H., Xu Q. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran β-glucan //International journal of biological macromolecules.-2019.-Vol.126. -P.298-309. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.165.

7. Grgić T., et al. Pulsed electric field treatment of oat and barley flour: influence on enzymes, non-starch polysaccharides, dough rheological properties, and application in flat bread //Food and Bioprocess Technology. -2024. -Vol.17(11). -P.4303-4324. DOI 10.1007/s11947-024-03383-3.

8. Duque S.M.M., et al. Understanding the impact of Pulsed Electric Fields treatment on the thermal and pasting properties of raw and thermally processed oat flours //Food Research International. -2020. -Vol.129: 108839. DOI 10.1016/j.foodres.2019.108839.

9. Mansoor R., et al. Effects of barley flour on dough rheology, texture, sensory and glycemic index of traditional unleavened flat bread (Roti) //Cereal Chemistry. -2019. -Vol.96 (6). - P.1170-1179. DOI 10.1002/cche.10228.

10. Кандроков Р.Х., и др. Использование цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки для производства хлебобулочных изделий //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. -2025. -Т.17 (1). - С.518-543. DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

11. Ghendov-Mosanu A., et al. Effect of Brewers' Spent Grain Addition to a Fermented Form on Dough Rheological Properties from Different Triticale Flour Cultivars //Foods. -2024. Vol.14(1): 41. DOI 10.3390/foods14010041.

12. Barrera G.N., et al. Nano-and micro-mechanical properties of wheat grain by atomic force microscopy (AFM) and nano-indentation (IIT) and their relationship with the mechanical properties evaluated by uniaxial compression test //Journal of Cereal Science. -2019. -Vol. 90: 102830. DOI 10.1016/j.jcs.2019.102830.

13. Chen Y., et al. Fracture Behavior and Mechanisms of Wheat Kernels Under Mechanical Loading //Foods. -2025. -Vol.14 (18):3174. DOI 10.3390/foods14183174.

14. Gao P., et al. Determination methods and influencing factors of grain mechanical properties //Journal of Food Quality. -2024. -Vol.2024 (1): 3407485. DOI 10.1155/2024/3407485.

15. Zhou Y., et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms //Food Hydrocolloids. -2021. -Vol.111: 106203. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106203.

16. Shewry, P. R. Wheat. //Journal of Experimental Botany.-2009.- Vol.60(6). - PP.1537-1553. DOI 10.1093/jxb/erp058.

17. Butt, M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. Oat: unique among the cereals. //European Journal of Nutrition. -2008.- 47(2), 68-79. DOI 10.1007/s00394-008-0698-7.

18. Cui, L., Xu, L., Wang, H., Fan, X., Yan, C., Zhang, Y., Jiang, C., Zhou, T., Guo, Q., Sun, Y., Yang, F., & Li, H. (2025). Evaluation of dual-purpose triticale // Grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. // Agronomy. -2025.- Vol.15(4): 881. DOI 10.3390/agronomy15040881.

References

1. Garutti M., et al. The impact of cereal grain composition on the health and disease outcomes //Frontiers in nutrition. -2022. -Vol.9: 888974. DOI:10.3389/fnut.2022.888974.

2. Shoukat M., Sorrentino A. Cereal β-glucan: A promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health //International Journal of Food Science and Technology. -2021. -Vol.56(5). -P. 2088-2097. DOI:10.1111/ijfs.14971.

3. Codină G.G., et al. Physicochemical Properties, Polyphenol and Mineral Composition of Different Triticale Varieties Cultivated in the Republic of Moldova //Molecules. -2025. -Vol.30 (6): 1233. DOI: 10.3390/molecules30061233.

4. Bashabaeva, B., Rsymbetov, A., Ainebekova, B., Suraubaeva, A., Kenes, B., Mereyeva, T., & Masimgazieva, A. (2025). Otsenka tekhnologicheskikh pokazatelei kachestva zerna selektsionnykh liniy ozimoy pshenitsy. Izdenister Natigeler, 3(107), 177–188. https://doi.org/10.37884/3-2025/16

5. Rajabov A., & Rajabov Д. (2023). Research of technological properties and food safety of grain of domestic wheat varieties. Modern Science and Research, 2(7), 468–477. https://doi.org/10.5281/zenodo.8199722

6. Karimi R., Azizi M. H., Xu Q. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran β-glucan //International journal of biological macromolecules. -2019. -Vol.126. -P.298-309. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.165.

7. Grgić T., et al. Pulsed electric field treatment of oat and barley flour: influence on enzymes, non-starch polysaccharides, dough rheological properties, and application in flat bread //Food and Bioprocess Technology. -2024. -Vol.17(11). -P.4303-4324. DOI:10.1007/s11947-024-03383-3.

8. Duque S.M.M., et al. Understanding the impact of Pulsed Electric Fields treatment on the thermal and pasting properties of raw and thermally processed oat flours //Food Research International. -2020. -Vol.129: 108839. DOI 10.1016/j.foodres.2019.108839.

9. Mansoor R., et al. Effects of barley flour on dough rheology, texture, sensory and glycemic index of traditional unleavened flat bread (Roti) //Cereal Chemistry. -2019. -Vol.96 (6). –P.1170-1179. DOI:10.1002/cche.10228.

10. Kandrokov R.H., i dr. Ispol’ zovanie cel’ nosmolotoj pshenichno-tritikalevoj muki dlja proizvodstva hlebobulochnyh izdelij //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. -2025. -T.17 (1). - P.518-543. DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

11. Ghendov-Mosanu A., et al. Effect of Brewers’ Spent Grain Addition to a Fermented Form on Dough Rheological Properties from Different Triticale Flour Cultivars //Foods. -2024. Vol.14(1): 41. DOI:10.3390/foods14010041.

12. Barrera G.N., et al. Nano-and micro-mechanical properties of wheat grain by atomic force microscopy (AFM) and nano-indentation (IIT) and their relationship with the mechanical properties evaluated by uniaxial compression test //Journal of Cereal Science. -2019. -Vol. 90: 102830. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102830.

13. Chen Y., et al. Fracture Behavior and Mechanisms of Wheat Kernels Under Mechanical Loading //Foods. -2025. -Vol.14 (18):3174. DOI: 10.3390/foods14183174.

14. Gao P., et al. Determination methods and influencing factors of grain mechanical properties //Journal of Food Quality. -2024. -Vol.2024 (1): 3407485. DOI:10.1155/2024/3407485.

15. Zhou Y., et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms //Food Hydrocolloids. -2021. -Vol.111: 106203. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106203.

16. Shewry P. R. Wheat. //Journal of Experimental Botany.-2009.-Vol.60(6). - PP.1537–1553. DOI 10.1093/jxb/erp058.

17. Butt M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. Oat: unique among the cereals. //European Journal of Nutrition. -2008.- Vol.47*(*2). - PP.68–79. DOI 10.1007/s00394-008-0698-7.

18. Cui L., Xu L., Wang H., Fan X., Yan C., Zhang Y., Jiang C., Zhou T., Guo Q., Sun Y., Yang F., Li H.

(2025). Evaluation of dual-purpose triticale // Grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. Agronomy. -2025. -15 (4): 881. DOI 10.3390/agronomy15040881.

Сведения об авторах

Жиенбаева С.Т. - доктор технических наук, профессор, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: sauleturgan@mail.ru;

Изтаев А.И.-доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Кулажанов Т.К.- доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, АО ”Алматинский технологический университет”, Алматы, Казахстан, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

Якияева М.А.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Мамыраев М.Н.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: maks1690@mail.ru;

Рахымбаева М.Н.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: makpal.rakhymbayeva@mail.ru;

Султанкул М.Б.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: m.sultankul@bk.ru.

Information about authors

S. Zhiyenbayeva - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sauleturgan@mail.ru;

A.Iztayev - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

T.Kulazhanov - Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

M.Yakiyayeva – Doctor of Philosophy (Ph.D.), Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

M.Mamyrayev - Master of Science, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: maks1690@mail.ru;

M.Rakhymbayeva - Master’ s Degree, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: makpal.rakhymbayeva@mail.ru;

M.Sultankul – Master’ s Degree, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.sultankul@bk.ru.