https://doi.org/10.58805/fs.V.1(32)-1

АМИЛОЛИТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ

Н. Онгарбаева[1], А.И. Изтаев[1], М.А. Якияева[1]✉, Е.Н. Урбанчик[2]

[1] Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан
[2] Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Беларусь
✉ Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru

В статье представлены результаты исследования амилолитического потенциала зерна тритикале казахстанской селекции сортов Кожа, Таза и Азиада. Показано, что высокая активность α-амилазы (58,5-62,8 усл. ед.) и β-амилазы (108,7-115,6 усл. ед.) коррелирует с низкими значениями числа падения муки (96-123 с), что подтверждает значимость ферментативного комплекса для технологической оценки.

Установлено, что сорт Таза обладает оптимальным сочетанием физико-химических и биохимических показателей, что делает его наиболее перспективным для хлебопекарного использования. Полученные данные могут быть использованы для обоснования направлений переработки зерна тритикале в муку.

Ключевые слова: тритикале, амилолитический потенциал, α-амилаза, число падения, клейковина, хлебопечение, Казахстанская селекция.

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СЕЛЕКЦИЯЛЫ ТРИТИКАЛЕ ДӘНІНІҢ АМИЛОЛИТТІК ӘЛЕУМЕТТІГІ ЖӘНЕ ОНЫҢ НАН ПІСІРУДЕГІ МАҢЫЗЫ

Н. Онгарбаева[1], А.И. Изтаев[1], М.А. Якияева[1]✉, Е.Н. Урбанчик[2]

[1] Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан
[2] Беларусь мемлекеттік тамақ және химиялық технологиялар университеті, Могилев, Беларусь
e-mail: yamadina88@mail.ru

Бұл мақалада Қазақстанда өсірілген Қожа, Таза және Азиада сорттарының тритикале дәнінің амилолитикалық әлеуетін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Жоғары α-амилаза (58,5-62,8 шартты бірлік) және β-амилаза (108,7-115,6 шартты бірлік) белсенділігі ұнның төмен түсу сандық мәндерімен (96-123 с) өзара байланысты екені көрсетілген, бұл ферментативті кешеннің технологиялық бағалау үшін маңыздылығын растайды.

Таза сорты физика-химиялық және биохимиялық параметрлердің оңтайлы үйлесіміне ие екені анықталды, бұл оны наубайханада қолдану үшін ең перспективалы етеді.Алынған деректерді тритикале дәнін ұнға өңдеу бойынша нұсқауларды негіздеу үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: тритикале, амилолитикалық потенциал, α-амилаза, құлау саны, жасымық, нан пісіру, Қазақстандық селекция

AMYLOLYTIC POTENTIAL OF KAZAKHSTAN-BREED TRITICALE GRAIN AND ITS IMPORTANCE FOR BREAD-BAKING

N. Ongarbayeva[1], A.I. Iztayev[1], M.A. Yakiyayeva[1]✉, A.N. Ourbantchik[2]

[1] Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
[2] Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus
e-mail: yamadina88@mail.ru

This article presents the results of a study of the amylolytic potential of triticale grain of the Kozha, Taza, and Aziada varieties bred in Kazakhstan. High α-amylase (58.5-62.8 conventional units) and β-amylase (108.7-115.6 conventional units) activities are shown to correlate with low flour falling number values (96-123 s), confirming the importance of the enzymatic complex for technological evaluation.

The Taza variety was found to possess an optimal combination of physicochemical and biochemical parameters, making it the most promising for bakery use. The obtained data can be used to substantiate directions for processing triticale grain into flour.

Keywords: triticale, amylolytic potential, α-amylase, falling number, gluten, bread baking, Kazakhstani selection.

Введение. Тритикале (*Triticosecale*) рассматривается в современной науке как уникальная зерновая культура, сочетающая адаптационные свойства ржи и технологически значимые признаки пшеницы, что определяет возможность его использования не только в кормовом, но и в пищевом направлении [1-3]. Для Казахстана интерес к данной культуре связан с необходимостью расширения ассортимента зернового сырья, пригодного для переработки, а также с оценкой потенциала сортов отечественной селекции с позиций их технологической ценности [4-6].

При характеристике зерна тритикале для хлебопекарных целей необходимо учитывать не только показатели, отражающие его общий химический состав и физические свойства, но и состояние ферментных систем [7-9]. Наибольшее значение в этом отношении имеет амилолитический комплекс, определяющий интенсивность гидролиза крахмала и образование низкомолекулярных углеводов, участвующих в обеспечении бродильного процесса. Активность α- и β-амилаз влияет на газообразующую способность теста, его консистенцию, состояние крахмально-белковой системы, структуру мякиша и качество готовых изделий [10-12]. Витол и Герасина указывают, что комплексная оценка зерна тритикале, включающая ферментативные показатели, позволяет прогнозировать его хлебопекарное достоинство [9]. Шаболкина с соавторами также подчеркивают, что технологические и хлебопекарные качества тритикале находятся в прямой зависимости от состояния амилолитического аппарата зерна [10].

При недостаточной или избыточной амилолитической активности технологическое поведение сырья может отклоняться от оптимального, что отражается на показателях хлебопекарной пригодности. По современным данным, для тритикале характерна повышенная α-амилазная активность, а число падения рассматривается как один из ключевых интегральных показателей, связанных с технологической оценкой муки [11, 13, [14]. Как отмечают Messina с соавторами, использование цельнозерновой муки из тритикале в закваскаx требует учета ферментативной активности для контроля качества хлеба [8]. Каракулев с соавторами в сравнительной оценке качества зерна озимых культур также приходят к выводу, что показатели амилолитической активности являются критическими для хлебопекарной оценки [15]. Сокол с соавторами подтверждают, что хлебопекарные свойства муки из зерна тритикале напрямую зависят от состояния углеводно-амилазного комплекса [16].

Вместе с тем ферментативные особенности зерна тритикале казахстанской селекции и их связь с возможностью хлебопекарного использования изучены недостаточно полно. Имеющиеся

данные в большей степени касаются агробиологических признаков культуры и общих показателей качества зерна, тогда как амилолитический потенциал как фактор технологической оценки отечественных сортов требует дополнительного исследования [4, 5, 6]. Оспанкулова с соавторами изучали влияние продолжительности проращивания на биохимические показатели зерна тритикале, однако акцент в их работе сделан на функционально-технологические свойства, а не на хлебопекарную оценку [4]. Киябаева с соавторами дали общую характеристику ферментного комплекса зерна тритикале казахстанской селекции, но без детальной корреляции с показателями хлебопекарной пригодности [5]. Пащенко с соавторами в своей монографии обобщили данные по составу и свойствам тритикале, однако казахстанские сорта в ней не рассматриваются [3].

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью комплексного изучения физико-химических характеристик зерна и активности амилолитических ферментов в аспекте их значения для хлебопекарной переработки сортов тритикале казахстанской селекции. Полученные результаты позволят не только дать научно обоснованную оценку исследуемым сортам, но и расширить сырьевую базу хлебопекарной отрасли Казахстана за счет использования отечественного зерна тритикале.

Целью исследования является оценка амилолитического потенциала зерна тритикале казахстанской селекции и установление его значения для характеристики хлебопекарной пригодности исследуемых сортов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: изучить и обобщить данные литературы о роли амилолитических ферментов в формировании технологических свойств зерна и качества хлеба из муки тритикале; дать сравнительную характеристику исходных физико-химических показателей зерна исследуемых сортов тритикале казахстанской селекции; определить активность основных амилолитических ферментов и оценить амилолитический потенциал исследуемых образцов; установить взаимосвязь между ферментативной активностью и показателями, характеризующими хлебопекарную пригодность сырья; выявить сорта тритикале, наиболее перспективные для использования в технологии хлебобулочных изделий.

Научная новизна исследования заключается в оценке амилолитического потенциала зерна тритикале казахстанской селекции как самостоятельного биохимического показателя хлебопекарного достоинства исследуемых сортов.

В отличие от большинства опубликованных работ [1, 2, 6, 17], в которых хлебопекарную пригодность тритикале оценивают преимущественно по реологическим свойствам теста, числу падения или качеству готового хлеба, в настоящей работе амилолитический потенциал рассматривается комплексно - через совместную оценку активности α- и β-амилаз, числа падения и физико-химических характеристик зерна трех сортов казахстанской селекции. Такой подход позволяет связать биохимическое состояние зерна с технологически значимыми показателями и сформировать критерии сортоспецифической оценки сырья для хлебопечения.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов исследования при оценке зерна тритикале казахстанской селекции для целей хлебопечения, отборе сортов с предпочтительными технологическими свойствами, а также при обосновании направлений их переработки в муку и использования в производстве хлебобулочных изделий.

Материалы и методы. Объектами исследования служило зерно озимого тритикале казахстанской селекции, районированное на территории Республики Казахстан: сорта Кожа, Таза и Азиада. Экспериментальная часть работы выполнена в 2024 - 2026 гг. на базе Научно-исследовательского института пищевых технологий АТУ (Алматы, Казахстан).

Отбор проб зерна проводили в соответствии с ГОСТ 13586.3 - 2015. Исходную влажность, содержание белка и крахмала определяли с использованием инфракрасного анализатора INFRANEO. Количество и качество клейковины устанавливали по ГОСТ 13586.1 с определением показателя деформации на приборе ИДК. Стекловидность зерна определяли на диафаноскопе по ГОСТ 10987-76, натуру - по ГОСТ 10840-64, массу 1000 зерен - по ГОСТ 10842-89.

Активность α-амилазы устанавливали по методу Фаллауна в модификации, активность β-амилазы определяли колориметрическим методом по накоплению мальтозы. Число падения муки определяли на приборе Amylab Chopin. Все определения выполняли не менее чем в трех повторностях. Результаты обрабатывали методами вариационной статистики с расчетом среднего арифметического и стандартного отклонения в программе Microsoft Excel.

Статистическая обработка. Результаты представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение (M ± SD). Для сравнения исследуемых сортов применяли однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA). При выявлении общего эффекта фактора «сорт» попарные различия оценивали post hoc критерием Тьюки. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Связи между количественными показателями оценивали с использованием коэффициента корреляции Пирсона и линейного регрессионного анализа; для моделей приводили коэффициент детерминации R^2 и p-значение. Расчеты выполняли в Microsoft Excel с использованием пакета анализа данных. Для показателей, представленных в таблице 2, ANOVA показал отсутствие значимых межсортовых различий по активности α-амилазы ($p = 0,114$) и β-амилазы ($p = 0,094$), тогда как различия по числу падения были статистически значимыми ($p < 0,001$).

Результаты и обсуждение. Для оценки амилолитического потенциала исследуемых сортов тритикале проанализированы исходные физико-химические показатели зерна, характеризующие его технологические свойства и хлебопекарное достоинство. Основные показатели включали влажность, содержание протеина и крахмала, количество и качество клейковины, стекловидность, натуру и массу 1000 зерен. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Исходные физико-химические показатели зерна исследуемых сортов тритикале

Показатель	Кожа	Таза	Азиада
Влажность, %	11,3	11,3	10,7
Протеин, %	13,0	14,4	15,5
Крахмал, %	62,7	62,7	60,3
Количество клейковины, %	16,3	23,5	20,7
ИДК, ед. прибора	79	84	89
Группа качества клейковины	II	II	II
Характеристика клейковины	удовлетворительно слабая	удовлетворительно слабая	удовлетворительно слабая
Стекловидность, %	39	63	50
Натура, г/л	617	632	615
Масса 1000 зерен, г	37,5	39,0	36,9

Согласно данным таблицы 1, исследуемые сорта тритикале различались по комплексу физико-химических показателей, значимых для технологической оценки зерна. Влажность всех образцов находилась в пределах 10,7-11,3 %, что соответствует уровню, благоприятному для хранения и проведения анализов. Наибольшее содержание протеина установлено у сорта Азиада - 15,5 %, тогда как сорта Кожа и Таза характеризовались более высоким содержанием крахмала – по 62,7 %. По количеству клейковины выделялся сорт Таза-23,5 %, у сортов Азиада и Кожа этот показатель составил 20,7 и 16,3 % соответственно. При этом все образцы были отнесены ко II группе качества клейковины, а значения ИДК находились в пределах 79-89 ед. прибора, что соответствует удовлетворительно слабой клейковине. Наибольшие значения стекловидности, натуры и массы 1000 зерен также отмечены у сорта Таза и составили 63 %, 632 г/л и 39,0 г соответственно, что позволяет рассматривать его как наиболее выполненный по комплексу морфометрических признаков зерна.

Выявленные различия по содержанию крахмала, стекловидности, натуре и массе 1000 зерен создают основу для последующей оценки амилолитического потенциала исследуемых сортов. Это обусловлено тем, что указанные показатели в совокупности характеризуют структурно-функциональное состояние зерна и могут быть сопряжены с особенностями ферментативного гидролиза крахмала. В этой связи следующим этапом исследования стал анализ активности α- и β-амилаз. Основные показатели амилолитического комплекса зерна представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Показатели амилолитического комплекса зерна исследуемых сортов тритикале

Показатель	Кожа	Таза	Азиада
α-амилаза, усл. ед.	58,5 ± 2,1	62,8 ± 1,9	61,2 ± 2,3
β-амилаза, усл. ед.	112,3 ± 3,5	108,7 ± 2,8	115,6 ± 3,1
Число падения муки, с	123 ± 5	101 ± 4	96 ± 4

Примечание. Данные представлены как M ± SD, n = 3. По результатам однофакторного ANOVA: α-амилаза p = 0,114; β-амилаза p = 0,094; число падения p < 0,001.

Как видно из данных таблицы 2, активность α-амилазы у всех исследуемых сортов тритикала находилась на достаточно высоком уровне и варьировала в пределах 58,5-62,8 усл. ед. Максимальное значение данного показателя установлено у сорта Таза-62,8 ± 1,9 усл. ед., минимальное-у сорта Кожа-58,5 ± 2,1 усл. ед., тогда как сорт Азиада занимал промежуточное положение-61,2 ± 2,3 усл. ед. Выявленные различия указывают на неодинаковую интенсивность гидролиза крахмала у исследуемых образцов. Более высокая активность α-амилазы у сорта Таза вероятно обусловлено особенностями структурного

состояния зерна, в том числе с более высокой стекловидностью, а также с влиянием условий и продолжительности хранения на состояние ферментного комплекса.

Активность β-амилазы также оставалась высокой и изменялась в сравнительно узком диапазоне-108,7-115,6 усл. ед. Минимальное значение отмечено у сорта Таза-108,7 ± 2,8 усл. ед., максимальное-у сорта Азиада-115,6 ± 3,1 усл. ед.; у сорта Кожа этот показатель составил 112,3 ± 3,5 усл. ед. Меньшая амплитуда варьирования β-амилазной активности по сравнению с α-амилазой свидетельствует о более стабильном уровне данного фермента в исследуемых образцах.

Полученные результаты характеризуют исследуемые сорта тритикале как образцы с выраженным амилолитическим потенциалом. Это имеет существенное значение для хлебопекарной оценки, поскольку амилолитические ферменты участвуют в гидролизе крахмала с образованием сбраживаемых сахаров, необходимых для жизнедеятельности дрожжей и нормального протекания брожения. Активность α- и β-амилаз влияет на газообразующую способность теста, его консистенцию, формирование структуры мякиша и качество готовых изделий. Следовательно, амилолитический потенциал зерна тритикале следует рассматривать как один из биохимических показателей, значимых для оценки его хлебопекарной пригодности.

Для уточнения технологического значения амилолитического комплекса проведено сопоставление активности α-амилазы с содержанием крахмала, стекловидностью и числом падения муки. Такой подход позволяет рассматривать амилолитический потенциал исследуемых сортов не изолированно, а в связи с показателями, характеризующими структурное состояние зерна и его хлебопекарную пригодность. Соответствующие данные представлены в таблице 3 и на рисунке 1.

Таблица 3 — Сопоставление амилолитической активности с содержанием крахмала, стекловидностью и числом падения муки

Показатель	Кожа	Таза	Азиада
Крахмал, %	62,7 ± 1,1	62,7 ± 1,0	60,3 ± 1,2
Стекловидность, %	39 ± 3	63 ± 2	50 ± 3
α-амилаза, усл. ед.	58,5 ± 2,1	62,8 ± 1,9	61,2 ± 2,3
β-амилаза, усл. ед.	112,3 ± 3,5	108,7 ± 2,8	115,6 ± 3,1
Число падения, с	123 ± 5	101 ± 4	96 ± 4

Примечание. Данные представлены как M ± SD, n = 3. Межсортовые различия по стекловидности были статистически значимыми (one-way ANOVA, p < 0,001); по содержанию крахмала — на уровне статистической тенденции (p = 0,058).

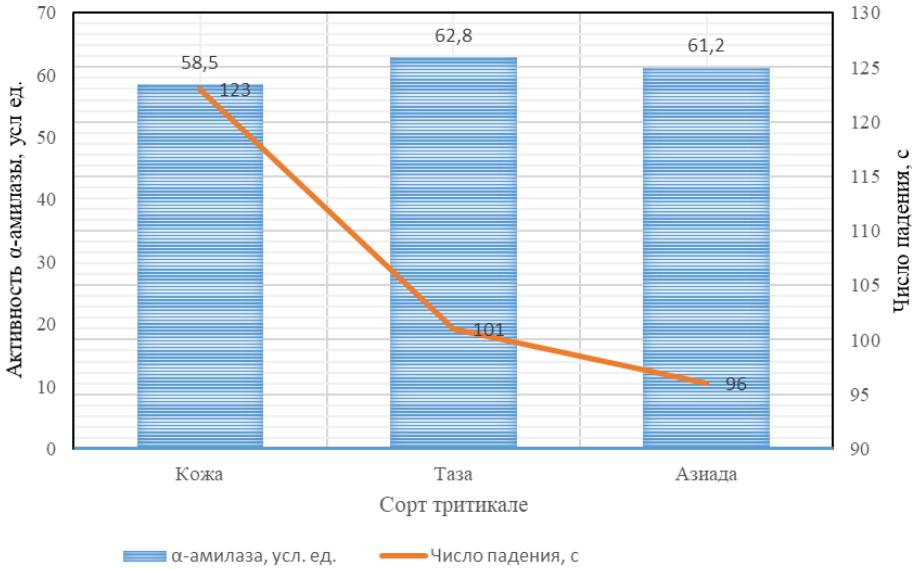


Рис. 1 - Взаимосвязь активности α-амилазы и числа падения у сортов тритикале

Сопоставление представленных данных показывает, что содержание крахмала у сортов Кожа и Таза было одинаковым и составляло 62,7 %, однако активность α-амилазы и число падения у них различались. Это указывает на зависимость амилолитического потенциала не только от количества субстрата, но и от состояния ферментной системы зерна. Сорт Таза характеризовался наибольшей стекловидностью-63 % и одновременно максимальной активностью α-амилазы-62,8 ± 1,9 усл. ед., тогда как у сорта Кожа более низкая стекловидность – 39 % сочеталась с меньшей активностью фермента-58,5 ± 2,1 усл. ед. У сорта Азиада при несколько меньшем содержании крахмала-60,3 % активность α-амилазы оставалась высокой-61,2 ± 2,3 усл. ед., а число падения имело минимальное значение-96 с.

Важным показателем, отражающим состояние амилолитического комплекса и имеющим прямое значение для хлебопекарной оценки муки, является число падения (рисунок 1).

Согласно данным рисунка 1, повышение активности α-амилазы у сортов тритикале сопровождалось снижением числа падения. Наибольшая активность фермента установлена у сорта Таза, максимальное значение числа падения-у сорта Кожа. Это свидетельствует об обратной направленности изменения указанных показателей и подтверждает значимость амилолитического комплекса для оценки хлебопекарной пригодности зерна.

Для количественной оценки взаимосвязей между исследуемыми показателями был применен корреляционно-регрессионный анализ с использованием методов линейной и нелинейной аппроксимации. Расчеты выполняли в программной среде Microsoft Excel.

Проведен анализ зависимости числа падения муки (ЧП, с) от активности α-амилазы (Aα, усл. ед.). Выбор линейной модели обусловлен визуальной оценкой поля корреляции и характером распределения экспериментальных точек. Линейное регрессионное уравнение имеет вид:

$$ЧП = k \cdot A\alpha + b \quad (1)$$

где k-коэффициент регрессии, характеризующий скорость изменения числа падения при изменении активности α-амилазы на 1 усл. ед.

b-свободный член уравнения, теоретическое значение числа падения при нулевой активности α-амилазы (с).

Взаимосвязь активности α-амилазы и числа падения муки в зерне сортов тритикале казахстанской селекции представлена на рисунке 2.

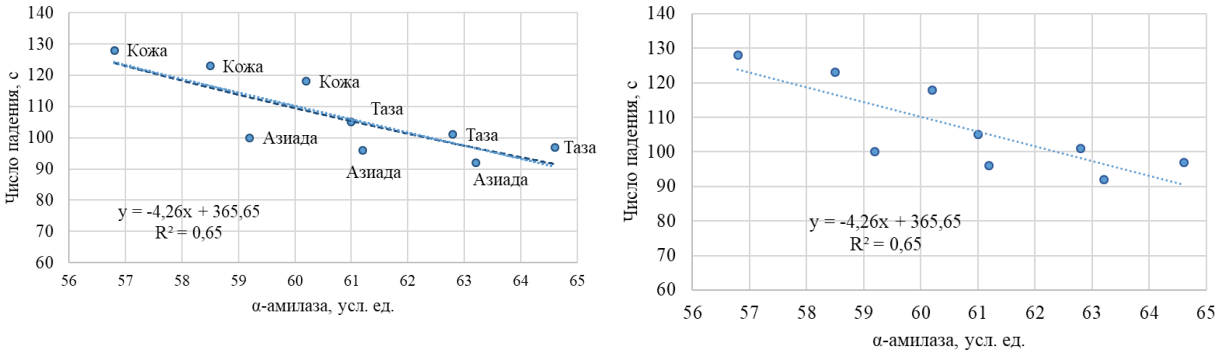


Рис. 2 — Взаимосвязь активности α-амилазы и числа падения муки в зерне сортов тритикале казахстанской селекции

Графическая интерпретация зависимости демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению числа падения при увеличении активности α-амилазы. Линейный характер распределения экспериментальных точек свидетельствует о преобладании ферментативного фактора в формировании реологических свойств муки.

На основе экспериментальных данных для трех исследуемых сортов тритикале (n = 9) получено следующее уравнение регрессии:

$$ЧП = -4,26 \cdot A\alpha + 365,65 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации составил R^2=0,65, что свидетельствует о том, что 65 % вариации числа падения объясняется изменением активности α-амилазы. Следует отметить, что в связи с малым объемом выборки полученная зависимость носит оценочный характер и требует подтверждения на расширенной выборке.

Статистическая значимость коэффициента корреляции подтверждена при уровне доверительной вероятности 95 % (p <0,05).

Несмотря на выявленную обратную зависимость, разброс экспериментальных точек указывает на влияние дополнительных факторов, включая состояние белково-крахмального комплекса и условия формирования зерна.

Проведена оценка влияния содержания крахмала на амилолитическую активность. Анализ зависимости активности α-амилазы от содержания крахмала представлен на рисунке 3.

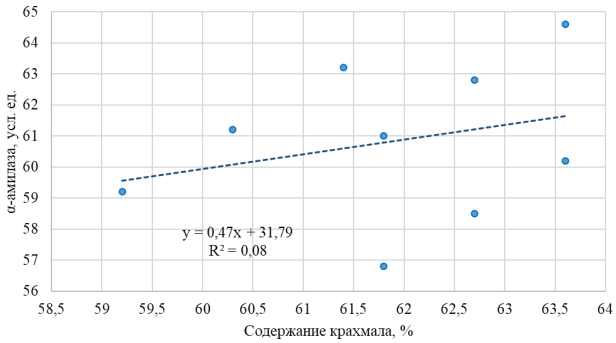


Рис.3 - Взаимосвязь активности α-амилазы и содержания крахмала в зерне сортов тритикале казахстанской селекции

Анализ зависимости активности α-амилазы от содержания крахмала (К, %) не выявил статистически значимой корреляции (r=−0,51, p>0,05). Уравнение регрессии имеет вид:

$$A\alpha = 0,47 \cdot К + 31,79 \quad (3)$$

Низкое значение коэффициента детерминации (R2=0,08) и отсутствие статистической значимости (p>0,05) указывают на то, что различия в амилолитической активности исследуемых сортов определяются не столько количеством крахмала как субстрата, сколько особенностями ферментативной системы зерна и его структурно-механическими свойствами, в частности стекловидностью.

Отсутствие выраженной зависимости подтверждает, что крахмал выступает как субстрат, но не лимитирующий фактор активности ферментативной системы.

В отличие от ранее опубликованных работ, в настоящем исследовании амилолитический потенциал рассматривается как интегральный показатель, включающий не только активность отдельных ферментов, но и их взаимосвязь с морфометрическими характеристиками зерна.

Выводы. Установлено, что исследуемые сорта тритикале казахстанской селекции различались по комплексу исходных физико-химических показателей зерна, включая содержание протеина (13,0-15,5 %), крахмала (60,3-62,7 %), количество клейковины (16,3-23,5 %), стекловидность (39-63 %), натуру (615-632 г/л) и массу 1000 зерен (36,9-39,0 г). Показано, что зерно сортов Кожа, Таза и Азиада характеризуется высоким уровнем амилолитической активности. Активность α-амилазы варьировала в пределах 58,5-62,8 усл. ед., β-амилазы-108,7-115,6 усл. ед., что позволяет рассматривать исследуемые образцы как сорта с выраженным амилолитическим потенциалом.

Установлена обратная корреляционная зависимость между активностью α-амилазы и числом падения муки ($R^2 = 0,65$), что подтверждает значимость амилолитического потенциала как биохимического критерия хлебопекарной пригодности зерна тритикале.

По совокупности исследованных признаков сорт Таза может рассматриваться как наиболее перспективный для хлебопекарного использования, поскольку характеризовался высокими значениями стекловидности (63 %), натуры (632 г/л), массы 1000 зерен (39,0 г), количества клейковины (23,5 %) и сбалансированной активностью α-амилазы.

Сорта Азиада и Кожа также представляют практический интерес, однако их технологическая оценка требует учета особенностей ферментативного состояния: для сорта Азиада-высокой активности α-амилазы (61,2 усл. ед.) и низкого числа падения (96 с), для сорта Кожа-наименьшего количества клейковины (16,3 %) и низкой стекловидности (39 %). Установлено, что амилолитический потенциал зерна тритикале является комплексным показателем, формируемым под влиянием как биохимических, так и структурных факторов, включая стекловидность и состояние эндосперма.

Сопоставление с современными исследованиями. Полученные результаты согласуются с современными данными о высокой вариабельности хлебопекар-

ных свойств тритикале и важной роли амилолитического комплекса. Ghendov-Mosanu и соавт. [17] показали, что сорта тритикале существенно различаются по физико-химическим, реологическим и хлебопекарным показателям, а низкое число падения связано с повышенной α-амилазной активностью. В исследовании Ghendov-Mosanu и соавт. [14] также отмечено, что повышенная ферментативная активность тритикале способна одновременно увеличивать образование сбраживаемых сахаров и снижать стабильность тестовой системы, поэтому технологическая оценка должна учитывать не один показатель, а совокупность ферментативных и структурных характеристик. Новые данные 2026 г. по реологии теста из различных сортов тритикале подтверждают, что высокая α-амилазная активность, сниженная стабильность теста и ограниченная газоудерживающая способность остаются ключевыми факторами, определяющими качество хлеба. На этом фоне результаты настоящей работы расширяют существующие сведения за счет сортов казахстанской селекции и показывают, что одинаковое или близкое содержание крахмала не определяет уровень α-амилазной активности: для исследованных образцов связь между содержанием крахмала и α-амилазой статистически не подтверждена ($p > 0,05$).

Финансирование. Проведено в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан № BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли»).

Литература

1. Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Bobrecka-Jamro D., et al. The influence of agrotechnical factors on the yield and quality parameters of winter triticale grain // Agriculture. −2024. -Vol. 14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.
2. Codină G.G., Dabija A., Lungoci A.L., et al. Physicochemical properties, polyphenol and mineral composition of different triticale grain varieties // Molecules. −2025. -Vol. 30(6): 1233. DOI 10.3390/molecules30061233.
3. Пащенко Л.П., Жаркова И.М., Любарь А.В. Тритикале: состав, свойства, рациональное использование в пищевой промышленности: монография//Воронежская государственная технологическая академия. 2005. −206 с. -URL:https://1economic.ru/lib/110410. -Дата обращения: 15.07.2026.
4. Ospankulova, G., Temirova, I., Toimbayeva, D., et al. The effect of germination duration on the biochemical indicators and functional-technological properties of triticale grain // Applied Sciences. −2025. -Vol. 15(10): 5596. DOI 10.3390/app15105596.
5. Киябаева А.Т., Оңғарбаева Н.О., Жаппарова Н.К. Қазақстанның тритикале дәнінің ферменттік кешенінің сипаттамасы// Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. −2020. -Т.127(2). -С.12-17. ISSN 2304-568X, 2710-0839.
6. Кандроков Р. Х., Кусова В. А., Кирюшин В.А., Кривонос И.Н. Реологические свойства отдельных потоков тритикалевой муки // Вестник АПК Верхневолжья. −2023. -№ 4 (64). -С. 92-98. DOI 10.35694/yarcx.2023.64.4.012.
7. Абуова, А. Б., Умиралиева, Л. Б., & Исабекова, М. С. Технологические свойства зерна тритикале Казахстанской селекции продовольственного назначения // Хранение и Переработка Сельхозсырья. −2022. -№1. С.74-85. DOI 10.36107/spfp.2022.282.
8. Messina V., Cano J., Silvio A., Pattison A.L., Roberts T.H. Wholegrain triticale sourdough: effects of triticale: wheat flour ratio and hydration level on bread quality // Food Science & Nutrition. −2024. Vol. 12(6). -P. 3910-3919. DOI 10.1002/fsn3.4050.
9. Витол И.С., Герасина А.Ю. Оценка зерна тритикале сорта «Тимирязевская 150» по комплексу показателей//Пищевая промышленность. 2022.-№5.-С.70-73. DOI 10.52653/PPI.2022.5.5.015.
10. Шаболкина Е.Н., Анисимкина Н.В., Беляева М.В. Технологические и хлебопекарные качества тритикале // Зерновое хозяйство России. 2019. -Т. 2. -С. 21–26. DOI 10.31367/2079-8725-2019-62-2-21-26.
11. Ghendov-Mosanu A., Codină G.G., Leahu A., et al. Breadmaking quality parameters of different triticale cultivars // Foods. −2024. -Vol. 13(11): 1671. DOI 10.3390/foods13111671.
12. Kaszuba J., Brzeziński W., Woś H., et al. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars // Euphytica. −2024. -Vol. 220: 15(2024). DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

13. Islam M. A., Islam S. Sourdough bread quality: facts and factors // Foods. −2024. -Vol. 13(13): 2132. DOI 10.3390/foods13132132.
14. Ghendov-Mosanu, A., Ropciuc, S., Dabija, A., et al. Effect of brewers' spent grain addition to a fermented form on dough rheological properties from different triticale cultivars // Foods. −2025. -Vol. 14(1): 41. DOI 10.3390/foods14010041.
15. Каракулев В.В., Иванова Л.В., Шустер Д.В. Сравнительная оценка качества зерна озимых зерновых культур // Вестник ГАУ, Агрономия и лесное хозяйство. −2018. -№ 6 (74). -С. 45-48.
16. Сокол Н.В., Донченко Л.В., Храмова Н.С. и др. Хлебопекарные свойства муки из зерна тритикале и перспектива ее использования // Известия вузов. пищевая технология. −2006. -Т.1. -С. 38-39.
17. Ghendov-Mosanu A., Codină G.G., Leahu A., et al. Characterization of dough rheological properties and bread quality from different triticale varieties and fermented dark brewers' spent grain // Applied Sciences. −2026. -Vol.16(11):5407. DOI 10.3390/app16115407.

References

1. Jańczak-Pieniążek M., Buczek J., Bobrecka-Jamro D., et al. The influence of agrotechnical factors on the yield and quality parameters of winter triticale grain // Agriculture. −2024. -Vol. 14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.
2. Codină G.G., Dabija A., Lungoci A.L., et al. Physicochemical properties, polyphenol and mineral composition of different triticale grain varieties // Molecules. −2025. -Vol. 30(6): 1233. DOI 10.3390/molecules30061233.
3. Pashhenko L.P., Zharkova I.M., Ljubar' A.V. Tritikale: sostav, svojstva, racional'noe ispol'zovanie v pishhevoj promyshlennosti: monografija//Voronezhskaja gosudarstvennaja tehnologicheskaja akademija. −2005. −206 s. [in Russian]
4. Ospankulova, G., Temirova, I., Toimbayeva, D., et al. The effect of germination duration on the biochemical indicators and functional-technological properties of triticale grain // Applied Sciences. −2025. -Vol. 15(10): 5596. DOI 10.3390/app15105596.
5. Kijabaeva A.T., Оңғarbaeva N.O., Zhapparova N.K. Қazaқstannuң tritikale dəninің fermenttik kesheninің sipattamasy// Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. −2020. -T.127(2). -S.12-17. ISSN 2304-568X, 2710-0839. [in Russian]
6. Kandrokov R. H., Kusova V. A., Kirjushin V.A., Krivonos I.N. Reologicheskie svojstva otdel'nyh potokov tritikalevoj muki // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. −2023. -№ 4 (64). -S. 92-98. DOI 10.35694/yarcx.2023.64.4.012. [in Russian]
7. Абуова, А. Б., Умиралиева, Л. Б., & Исабекова, М. С. Технологические свойства зерна тритикале Казахстанской селекции продовольственного назначения // Хранение и Переработка Сельхозсырья. −2022. -№1. С.74-85. DOI 10.36107/spfp.2022.282. [in Russian]
8. Messina V., Cano J., Silvio A., Pattison A.L., Roberts T.H. Wholegrain triticale sourdough: effects of triticale: wheat flour ratio and hydration level on bread quality // Food Science & Nutrition. −2024. Vol. 12(6). -P. 3910-3919. DOI 10.1002/fsn3.4050.
9. Vitol I.S., Gerasina A.Ju. Ocenka zerna tritikale sorta «Timirjazevskaja 150» po kompleksu pokazatelej// Pishhevaja promyshlennost'. −2022.-№ 5.-S.70-73. DOI 10.52653/PPI.2022.5.5.015. [in Russian]
10. Shabolkina E.N., Anisimkina N.V., Beljaeva M.V. Tehnologicheskie i hlebopekarnye kachestva tritikale // Zernovoe hozjajstvo Rossii. 2019.-T. 2. -S. 21–26. DOI 10.31367/2079-8725-2019-62-2-21-26. [in Russian]
11. Ghendov-Mosanu A., Codină G.G., Leahu A., et al. Breadmaking quality parameters of different triticale cultivars // Foods. −2024. -Vol. 13(11): 1671. DOI 10.3390/foods13111671.
12. Kaszuba J., Brzeziński W., Woś H., et al. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars // Euphytica. −2024. -Vol. 220: 15(2024). DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.
13. Islam M. A., Islam S. Sourdough bread quality: facts and factors // Foods. −2024. -Vol. 13(13): 2132. DOI 10.3390/foods13132132.
14. Ghendov-Mosanu, A., Ropciuc, S., Dabija, A., et al. Effect of brewers' spent grain addition to a fermented form on dough rheological properties from different triticale cultivars // Foods. −2025. -Vol. 14(1): 41. DOI 10.3390/foods14010041.
15. Karakulev V.V., Ivanova L.V., Shuster D.V. Sravnitel'naja ocenka kachestva zerna ozimyh zernovyh kul'tur // Vestnik GAU, Agronomija i lesnoe hozjajstvo. −2018. -№ 6 (74). -S. 45-48. [in Russian]

16. Sokol N.V., Donchenko L.V., Hramova N.S. i dr. Hlebopekarnye svojstva muki iz zerna tritikale i perspektiva ee ispol'zovanija // Izvestija vuzov. pishhevaja tehnologija. −2006. -T.1. -S. 38-39. [in Russian]
17. Ghendov-Mosanu A., Codină G.G., Leahu A., et al. Characterization of dough rheological properties and bread quality from different triticale varieties and fermented dark brewers' spent grain // Applied Sciences. −2026. -Vol.16(11):5407. DOI 10.3390/app16115407.

Сведения об авторах

Онгарбаева Н. - доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Изтаев А. - доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан. e-mail: auelbekking@mail.ru;

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

Урбанчик Е.Н. - доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Беларусь. e-mail: urbanchik@yandex.bu.

Information about authors

Ongarbayeva N. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan. e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Iztayev A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: auelbekking@mail.ru;

Yakiyayeva M. - Doctor of Philosophy (PhD), associated professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan. e-mail: yamadina88@mail.ru;

Ourbantchik E.H. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus. e-mail: urbanchik@yandex.bu.