

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ УГЛЕВОДНО-СБАЛАНСИРОВАННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА

^{1,3} А.Д. НУРМАНОВА* , ^{1,2,3} М.Ж. КИЗАТОВА , ¹ Д.А. ШАЙМЕРДЕНОВА ,
³ А.Б. АБУОВА , ¹ С.С. АНУАРБЕКОВА , ¹ Ж.М. ЧАКАНОВА 

¹ ТОО «НПП Инноватор», Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Каратал

² НАО Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова,
Республика Казахстан, 050012, Алматы, ул. Төле би 94

³ Международный инженерно-технологический университет, Республика Казахстан,
050012, Алматы, пр. Аль-Фараби, 93г/5)

Электронная почта автора-корреспондента: nurmanovaakzharkyn@gmail.com*

В статье представлены результаты научного обоснования технологических подходов к созданию углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий на основе зернового сырья Казахстана. Проведен сравнительный анализ химического состава пшеницы, кукурузы, ячменя и гречихи, изучены перспективы применения экструзионной и биотехнологической модификации зернового сырья, а также функциональных компонентов для регулирования углеводного профиля продукции. Установлено, что пшеница сорта «Айна» характеризуется высокой натурой зерна (812 г/л), содержанием крахмала 49,2 % и белка 13,2 %, кукуруза сорта «Монсанто» — повышенным содержанием крахмала (72,8 %), ячмень сорта «Карабалыкская 150» — содержанием крахмала 61% и протеина 14,6 %, гречиха — содержанием крахмала 68% и протеина 12,5 %. Полученные различия в химическом и углеводном составе исследованных культур обосновывают возможность их комбинирования при последующей разработке хлебобулочных изделий с регулируемым углеводным профилем. Анализ источников позволил установить, что процессы экструзии способствуют изменению структуры крахмала, повышению содержания растворимых пищевых волокон и формированию медленноусвояемых углеводных фракций. Показано, что биотехнологическая модификация, включающая ферментацию и регулируемое действие ферментных систем, обеспечивает контролируемый гидролиз углеводов без избыточного накопления простых сахаров. Выявлено, что использование пектина и пищевых волокон способствует снижению скорости ферментативного гидролиза крахмала и формированию более благоприятного гликемического отклика. На основании анализа современных зарубежных исследований установлено, что использование зернового сырья, богатого функциональными углеводами, а также применение экструзии, гидроколлоидов и биотехнологической модификации является одним из наиболее перспективных направлений разработки функциональных хлебобулочных изделий с углеводно-сбалансированным составом.

Ключевые слова: углеводно-сбалансированные продукты, хлебобулочные изделия, зерновое сырье, β -глюканы, пищевые волокна, экструзия, ферментация, функциональное питание, гликемический индекс.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ДӘНДІ ДАҚЫЛ ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ КӨМІРСУ ТЕҢГЕРІМДЕЛГЕН НАН-БӨЛКЕ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІН ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕУ

^{1,3} А.Д. НУРМАНОВА*, ^{1,2,3} М.Ж. КИЗАТОВА, ¹ Д.А. ШАЙМЕРДЕНОВА,
³ А.Б. АБУОВА, ¹ С.С. АНУАРБЕКОВА, ¹ Ж.М. ЧАКАНОВА

¹ «Инноватор ҒӨК» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана, Каратал көшесі, 2

² С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті КЕАҚ,
Қазақстан Республикасы, 050012, Алматы, Төле би көшесі, 94

³ Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы,
050012, Алматы, Әль-Фараби даңғылы, 93г/5)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: nurmanovaakzharkyn@gmail.com*

Мақалада Қазақстанның дәнді дақыл шикізаты негізінде көмірсу теңгерімделген нан-бөке өнімдерін жасаудың технологиялық тәсілдерін ғылыми негіздеу нәтижелері ұсынылған. Бидай, жүгері, арпа және қарақұмықтың химиялық құрамына салыстырмалы талдау жүргізіліп, дәнді шикізатты

экструзиялық және биотехнологиялық модификациялау мүмкіндіктері, сондай-ақ өнімнің көмірсу профилін реттеуге арналған функционалдық компоненттерді қолдану перспективалары зерттелді. Зерттеу нәтижесінде «Айна» сұрыпты бидайдың дән натурасы жоғары (812 г/л), құрамындағы крахмал мөлшері 49,2 %, ақуыз мөлшері 13,2 % екені анықталды. Крахмал мөлшерімен айрықша орын алатындар келесілерді атауға болады: «Монсанто» сұрыпты жүгері – 72,8%, «Қарабалық 150» сұрыпты арпа-61%, ал ақуыз мөлшері 14,6% құраса, қарақұмықтың крахмал мөлшері - 68%, ақуыз мөлшері 12,5% көрсеткішке ие. Зерттелген дақылдардың химиялық және көмірсулық құрамындағы байқалған айырмашылықтар оларды көмірсулық құрамы реттелетін нан-тоқаш өнімдерін әзірлеу кезінде біріктіру мүмкіндігін негіздейді. Ресми ақпараттарды талдау нәтижесінде экструзия үдерістерінде крахмалдың құрылымының өзгеретіні, еритін тағам талшықтарының мөлшерін арттыртыны және қорытылуы баяу көмірсу фракцияларының қалыптасуына алып келетіні анықталды. Ферментация мен ферменттік жүйелердің сәйкестендірілген әсерін қолданатын биотехнологиялық модификация көмірсулардың кезең-кезеңімен гидролизденуіне жағдай жасап, моно- және дисахаридтердің артық түзілу қаупін төмендейтіні көрсетілді. –Сонымен бірге пектин мен тағамдық талшықтарды енгізу крахмалдың ферментативтік ыдырау қарқынын баяу-латып, аздаағы глюкозалық жауаптың неғұрлым оңтайлы қалыптасуына ықпал ететіні айқындалды. –Заманауи шетелдік ғылыми еңбектерді талдау функционалдық көмірсуларға бай дәнді дақылдарды қолдану, сондай-ақ экс-трузиялық өңдеу, гидроколлоидтарды пайдалану және биотехнологиялық модификация әдістерін енгізу теңгерім-ді көмірсу құрамды нан-тоқаш өнімдерін әзірлеудің басым әрі келешегі зор бағыттарының бірі екенін көрсетті.

Негізгі сөздер: көмірсу теңгерімделген өнімдер, нан-тоқаш өнімдері, дәнді шикізат, β-глюкандар, тағамдық талшықтар, экструзия, ферментация, функционалдық тамақтану, гликемиялық индекс.

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF CARBOHYDRATE-BALANCED BAKERY PRODUCTS BASED ON KAZAKHSTAN'S CEREAL RAW MATERIALS

^{1,3}A.D. NURMANOVA*, ^{1,2,3}M.ZH. KIZATOVA, ¹D.A. SHAIMERDENOVA,
³A.B. ABUOVA, ¹S.S. ANUARBEKOVA, ³ZH.M. CHAKANOVA

¹LLP “Innovator” Research and Production Enterprise, Republic of Kazakhstan,
010000, Astana, Karatal Street, 2

²Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Republic of Kazakhstan,
050012, Almaty, Tole bi str., 94

³International Engineering Technological University, Republic of Kazakhstan,
050012, Almaty, Al-Farabi avenue, 93G/5)

Corresponding author's e-mail: nurmanovaakzharkyn@gmail.com*

This article presents the results of the scientific substantiation of technological approaches to the development of carbohydrate-balanced bakery products based on cereal raw materials cultivated in Kazakhstan. A comparative analysis of the chemical composition of wheat, corn, barley, and buckwheat was conducted, and the prospects for applying extrusion and biotechnological modification of cereal raw materials, as well as functional ingredients for regulating the carbohydrate profile of bakery products, were investigated. The results demonstrated that the wheat variety “Aina” is characterized by a high test weight (812 g/L), starch content of 49.2%, and protein content of 13.2%. The corn variety “Monsanto” exhibited an elevated starch content of 72.8%, while the barley variety “Karabalykskaya 150” contained 61.0% starch and 14.6% protein. Buckwheat was found to contain 68.0% starch and 12.5% protein. The observed differences in the chemical and carbohydrate composition of the studied crops justify the possibility of combining them in the future development of bakery products with a controlled carbohydrate profile. The analysis of scientific literature revealed that extrusion processes contribute to modifications in starch structure, an increase in the content of soluble dietary fiber, and the formation of slowly digestible carbohydrate fractions. Biotechnological modification, including fermentation and the controlled action of enzyme systems, was shown to ensure regulated carbohydrate hydrolysis without excessive accumulation of simple sugars. Furthermore, the use of pectin and dietary fibers was found to reduce the rate of enzymatic starch hydrolysis and promote a more favorable glycemic response. –Based on an analysis of contemporary international research, it was established that the utilization of cereal raw materials rich in

functional carbohydrates, together with the application of extrusion technology, hydrocolloids, and biotechnological modification, represents one of the most promising approaches for the development of functional bakery products with a carbohydrate-balanced composition.

Keywords: carbohydrate-balanced products, bakery products, cereal raw materials, β -glucans, dietary fiber, extrusion, fermentation, functional nutrition, glycemic index.

Введение

В последние десятилетия во всем мире наблюдается устойчивый рост алиментарно-зависимых заболеваний, включая ожирение, сахарный диабет 2 типа, сердечно-сосудистые и метаболические нарушения. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, распространенность ожирения и нарушений углеводного обмена продолжает увеличиваться, что связано с изменением структуры питания населения и ростом потребления продуктов с высоким содержанием быстроусвояемых углеводов [1]. Современные исследования показывают, что не только количество углеводов, но и их качественный состав оказывает существенное влияние на гликемический ответ, развитие инсулино-резистентности и нарушения липидного обмена [2].

В последние годы сформировалась концепция «углеводное качество», согласно которой оценка углеводного профиля пищевых продуктов должна учитывать содержание пищевых волокон, свободных сахаров, резистентного крахмала и медленноусвояемых углеводов [3]. Одним из наиболее распространенных критериев качества углеводов является соотношение «углеводы: пищевые волокна» 10:1, позволяющее характеризовать физиологическую ценность продуктов и их потенциальное влияние на метаболическое здоровье [4].

Хлебобулочные изделия являются продуктами ежедневного потребления и занимают значительное место в рационе населения Казахстана. Однако, традиционный хлеб характеризуется высоким содержанием доступного крахмала и сравнительно низким количеством пищевых волокон, что ограничивает его физиологическую ценность [5]. В связи с этим одним из актуальных направлений современной пищевой промышленности является разработка углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий с улучшенным углеводным профилем [6].

Наиболее перспективным путем в этом направлении, на основе анализа данных источников, признано использование зернового сырья, отличающегося повышенным содержанием функционально значимых углеводных компонентов, в том числе, пищевых волокон. В связи с этим, наибольший интерес представляют ячмень, гречиха и кукуруза, отличающиеся повышенным

содержанием крахмала, пищевых волокон, β -глюканов и сопутствующих биологически активных веществ, что позволяет рассматривать их как сбалансированную зерновую основу для регулирования углеводного профиля хлебобулочных изделий.

Так, ячмень отличается содержанием β -глюканов — водорастворимых полисахаридов, способных повышать вязкость пищевой массы и, тем самым, замедлять ферментативный гидролиз крахмала и диффузию глюкозы [8, 9]. Гречиха же представляет интерес как источник пищевых волокон, фенольных соединений и углеводов с более низкой скоростью усвоения, что характеризует ее как перспективный компонент для производства функциональных хлебобулочных изделий [10, 11]. Кукуруза, в свою очередь, характеризуется высоким содержанием крахмала и может рассматриваться как технологически значимый компонент при моделировании углеводного состава изделий. Таким образом, использование ячменя, гречихи и кукурузы в хлебобулочных изделиях позволяет направленно регулировать соотношения доступных углеводов и пищевых волокон. Следует также учесть, что существенную роль при этом играют и методы технологической обработки сырья, позволяющие дополнительно изменять структуру углеводного комплекса и его доступность для гидролиза. Так, экструзионная обработка позволяет изменять структуру крахмала, регулировать степень его желатинизации и повышать содержание растворимых пищевых волокон [12]. По данным Fang et al. [13], правильно подобранные режимы экструзии способствуют образованию медленноусвояемых и резистентных фракций крахмала.

Не менее важным направлением является биотехнологическая модификация зернового сырья, включающая процессы ферментации и регулируемого действия ферментных систем. Современные исследования показывают, что ферментация способствует снижению содержания фитатов, повышению биодоступности минеральных веществ и изменению структуры углеводного комплекса [14]. Кроме того, образование органических кислот при ферментации способствует ограничению скорости гидролиза крахмала и снижению гликемического ответа [15].

Несмотря на значительное количество исследований в области функционального питания, вопросы научного обоснования выбора зернового сырья Казахстана и технологических подходов к созданию углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий остаются недостаточно изученными.

Целью настоящего исследования явилось научное обоснование выбора зернового сырья и технологических подходов к созданию углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий на основе сырья Казахстана.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись мягкая пшеница сортов «Айна» и «Караганда 31», кукуруза сортов «Монсанто» и «Пионер», ячмень сорта «Карабалыкская 150», а также зелёная гречиха. В качестве функционального компонента рассматривался пектин.

Оценка качества зернового сырья включала определение: влажности по ГОСТу 13586.5-2015 «Зерно. Метод определения влажности»; натуры зерна по ГОСТу 10840-2017 «Зерно. Метод определения натуры»; массы 1000 зерен по ГОСТу 10842-89 «Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян»; содержания крахмала по ГОСТу 10845-98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала»; содержания протеина по ГОСТу 10846-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка»; углеводного состава по ГОСТу 29177-91 «Зерно. Методы определения состояния углеводно-амилазного комплекса».

На основании литературных данных и результатов проекта проведен анализ перспектив применения: β -глюканов; пищевых волокон; экструзии; биотехнологической модификации; гидроколлоидов; ферментативного регулирования углеводного комплекса.

Результаты и их обсуждение

Углеводная сбалансированность как основа разработки функциональных хлебобулочных изделий. Современная концепция углеводной сбалансированности предполагает не простое снижение общего содержания углеводов, а формирование оптимального углеводного профиля продукта. Основными критериями являются снижение доли быстроусвояемых сахаров, повышение содержания пищевых волокон, увеличение количества медленноусвояемых углеводов и регулирование доступности крахмала для ферментативного гидролиза.

Для хлебобулочных изделий данный подход особенно важен, поскольку основная доля углеводов представлена крахмалом. Следовательно, задача технологии заключается не в полном ограничении крахмала, а в изменении его структурной организации и скорости гидролиза. Современные исследования показывают, что изменение доступности крахмала может достигаться за счет использования пищевых волокон, β -глюканов, гидроколлоидов, органических кислот и модификации крахмально-белковой матрицы [16].

По данным Skřivan et al. [17], включение зерновых компонентов с высоким содержанием пищевых волокон позволяет снижать гликемический индекс хлебобулочных изделий на 20–30 %. Аналогичные результаты представлены в обзоре Naveed et al. [18], где отмечено, что зерновые и бобовые ингредиенты способны существенно ограничивать скорость повышения уровня глюкозы крови.

Анализ углеводного состава зернового сырья

Установлено, что углеводы являются основным компонентом исследуемых зерновых культур и формируют до 80 % сухой массы зерна. Основными представителями углеводного комплекса являются крахмал, декстрины, клетчатка и простые сахара.

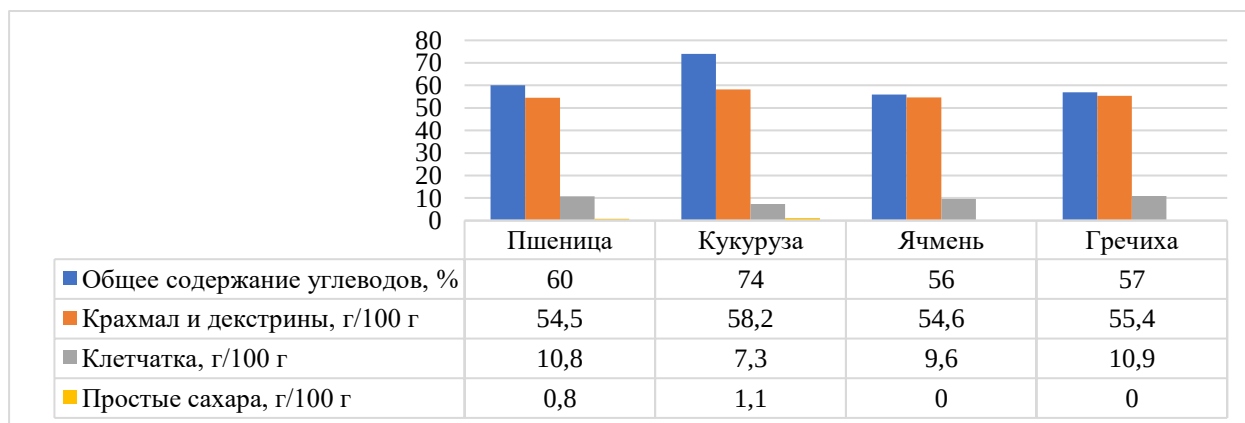


Рисунок 1. Углеводный состав исследуемых зерновых культур

Полученные результаты свидетельствуют о том, что кукуруза характеризуется максимальным содержанием углеводов, тогда как ячмень и гречиха отличаются повышенным содержанием пищевых волокон. Это подтверждает перспективность использования ячменя и гречихи в составе углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий.

Установлено, что для всех исследованных культур характерно преобладание крахмала и декстринов как основных резервных

углеводов. При этом содержание простых сахаров остается сравнительно низким, что является благоприятным фактором при разработке продуктов с регулируемым гликемическим индексом.

Обоснование выбора зернового сырья. На основании комплексной оценки качества зернового сырья были выбраны наиболее перспективные культуры для разработки углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий.

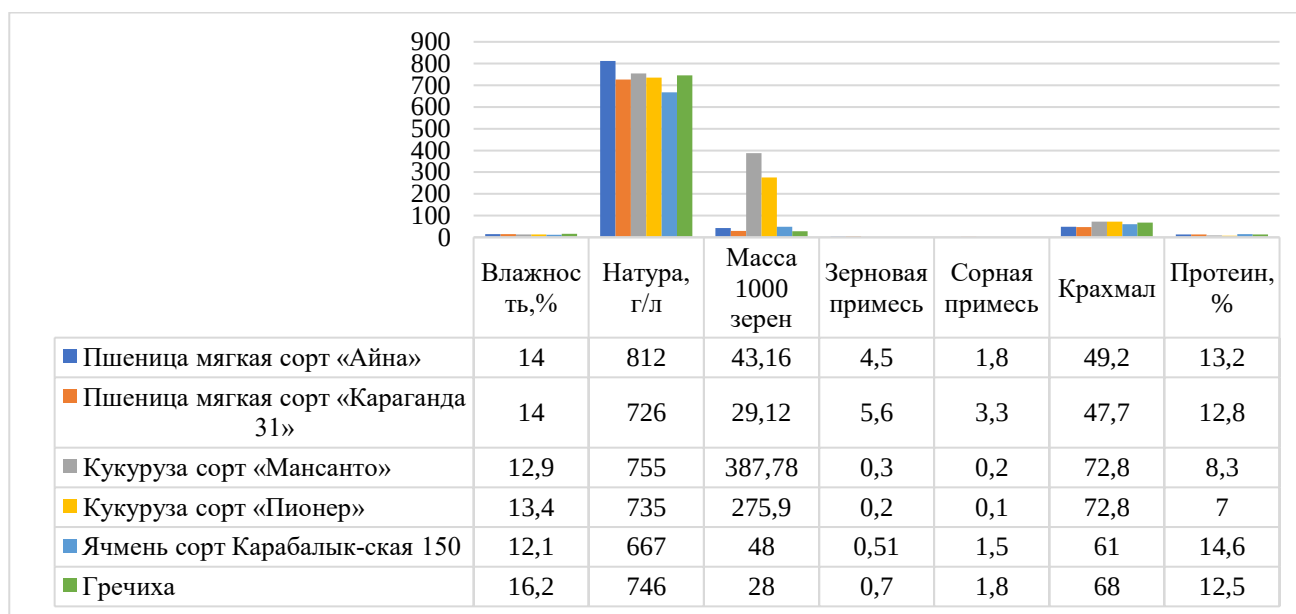


Рисунок 2. Показатели качества исследуемого зернового сырья

Сравнительная характеристика исследованных сортов показала существенные различия их технологических свойств и химического состава. Так, среди образцов мягкой пшеницы более высокими показателями характеризовался сорт «Айна»: натура зерна составила 812 г/л против 726 г/л у сорта «Караганда 31», масса 1000 зерен — 43,16 и 29,12 г соответственно. Содержание крахмала у сорта «Айна» составляло 49,2 %, протеина — 13,2 %, тогда как у сорта «Караганда 31» — 47,7 и 12,8 % соответственно. Кроме того, зерновая и сорная примеси у сорта «Айна» составляли 4,5 и 1,8 %, у сорта «Караганда 31» — 5,6 и 3,3 %. Оценка полученных показателей позволила выбрать пшеницу сорта «Айна» в качестве основного пшеничного сырья для дальнейших исследований.

При сравнении образцов кукурузы содержание крахмала у сортов «Мансанта» и «Пионер» было одинаковым и составляло 72,8 %. В то же время, сорт «Мансанта» характеризовался более высокой натурой — 755 г/л против 735 г/л

у сорта «Пионер», большей массой 1000 зерен — 387,78 против 275,9 г и более высоким содержанием протеина — 8,3 против 7,0 %. Содержание зерновой и сорной примесей у обоих образцов было низким и составляло соответственно 0,3 и 0,2 % для сорта «Мансанта» и 0,2 и 0,1 % для сорта «Пионер». На основании комплекса исследованных показателей для дальнейшей разработки углеводно-сбалансированных продуктов был выбран сорт «Мансанта».

Ячмень сорта «Карабалыкская 150» характеризовался содержанием крахмала 61,0 % и протеина 14,6 %, а гречиха — 68,0 и 12,5 % соответственно. По данным EFSA [19], β-глюканы ячменя способны снижать гликемический ответ при достаточном содержании в продукте. Гречиха же рассматривается как источник пищевых волокон, антиоксидантов и медленно-усвояемых углеводов. Исследования Sofi et al. [20] подтверждают перспективность гречихи для разработки функциональных хлебобулочных изделий.

С учетом особенностей углеводного состава данные культуры представляют интерес как дополнительные компоненты зерновых компо-

зиций при разработке углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий.

Таблица 1. Технологическая роль зерновых культур в формировании углеводной сбалансированности

Культура	Основная технологическая функция
Пшеница	Формирование структуры теста
Кукуруза	Источник крахмала
Ячмень	Источник β -глюканов
Гречиха	Источник пищевых волокон и антиоксидантов

Экструзия как способ регулирования углеводного профиля. Экструзионная обработка является одним из наиболее перспективных методов модификации углеводного комплекса зернового сырья. Установлено, что экструзия обеспечивает термомеханическое воздействие на зерновое сырье, приводящее к изменению структуры крахмала, частичному образованию декстринов и изменению структуры пищевых волокон.

Современные исследования показывают, что правильно подобранные режимы экструзии

способствуют формированию медленноусвояемых и резистентных фракций крахмала [21]. По данным Fang et al. [13], экструзия может повышать содержание растворимых пищевых волокон и улучшать показатели, связанные с гликемическим индексом.

Полученные результаты подтверждают, что экструзия должна рассматриваться не только как технологический процесс, но и как инструмент направленного регулирования углеводного профиля хлебобулочных изделий.

Таблица 2. Технологические подходы к формированию углеводно-сбалансированных изделий

	Механизм действия	Роль в углеводной сбалансированности
Экструзия	Термомеханическая модификация крахмала и пищевых волокон	Изменение доступности крахмала и повышение доли растворимых волокон
Биотехнологическая модификация	Ферментация и регулируемое действие ферментных систем	Управляемый гидролиз углеводов и снижение гликемического отклика
β -глюканы и пищевые волокна	Повышение вязкости пищевой массы	Замедление гидролиза и всасывания глюкозы
Пектин	Гидроколлоидное структурирование теста	Ограничение диффузии глюкозы и улучшение структуры мякиша

Биотехнологическая модификация углеводного комплекса. Биотехнологическая модификация зернового сырья, включающая процессы ферментации и применение ферментных систем, является одним из направлений регулирования углеводного состава хлебобулочных изделий. Анализ литературных данных показал, что ферментация приводит к частичной перестройке углеводного комплекса зерна, сопровождающейся гидролизом части крахмала и некрахмальных полисахаридов, накоплением органических кислот и снижением содержания некоторых антипитательных соединений, в том числе, фитатов. Результатом такого воздействия являются изменения не только химического состава сырья, но и доступности углеводов для последующего гидролиза в составе конечного продукта. По данным Alkay et al. [22], органические кислоты, образующиеся в процессе ферментации, способны замедлять гидролиз крахмала и, тем самым, снижать скорость повы-

шения концентрации глюкозы в крови после употребления продукта.

При производстве углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий особый интерес представляет контролируемое использование амилолитических ферментов, прежде всего, α -амилазы, которая обеспечивает образование декстринов среднего размера без чрезмерного накопления простых сахаров, тогда как β -амилаза способствует более интенсивному накоплению мальтозы. И именно применение α -амилазы рассматривается как более предпочтительный способ регулирования углеводной сбалансированности, поскольку он позволяет регулировать доступность углеводов, не переводя значительную часть крахмала в простые сахара. То есть, для целей настоящей работы предпочтительна биотехнологическая модификация углеводного комплекса, направленная не на максимальное расщепление углеводов, а на управляемое изменение их структуры и скорости гидролиза.

Использование пектина в составе углеводно-сбалансированных изделий

В качестве одного из перспективных функциональных компонентов для разработки углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий выбран пектин. Анализ данных исследований по применению пектина в данном направлении показывает, что его использование представляет интерес как с технологической, так и с физиологической точки зрения. Пектин способен повышать влагоудерживающую способность теста, способствовать формированию более однородной структуры мякиша и стабилизировать пористость готовых изделий. Кроме того, для производства углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий представляет интерес способность пектина за счет гидроколлоидных свойств оказывать влияние на доступность крахмала для ферментативного гидролиза.

Кроме того, пектин способен ограничивать скорость гидролиза крахмала и диффузию глюкозы. По данным Qi et al. [23], добавление пектина в состав хлеба снижает перевариваемость крахмала и способствует улучшению углеводного профиля продукции.

Заключение

Проведенное сравнительное исследование зернового сырья позволило сделать обоснованный выбор компонентов для дальнейшей разработки углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий. Среди исследованных образцов мягкой пшеницы преимущество имел сорт «Айна»: натура составила 812 г/л, масса 1000 зерен — 43,16 г, содержание крахмала — 49,2 %, протеина — 13,2 %, тогда как для сорта «Караганда 31» данные показатели составляли соответственно 726 г/л, 29,12 г, 47,7 и 12,8 %. Из двух исследованных образцов кукурузы для дальнейших исследований выбран «Монсанто», характеризовавшийся при одинаковом с «Пионером» содержании крахмала 72,8 % более высокой натурой (755 против 735 г/л), массой 1000 зерен (387,78 против 275,9 г) и содержанием протеина (8,3 против 7,0 %).

Сравнительный анализ углеводного состава исследованных культур показал, что общее содержание углеводов составляло 60 % в пшенице, 74 % в кукурузе, 56 % в ячмене и 57 % в гречихе. Содержание крахмала и декстринов находилось в пределах 54,5–58,2 г/100 г, а клетчатки — 7,3–10,9 г/100 г. Наибольшее содержание клетчатки установлено в гречихе — 10,9 г/100 г и пшенице — 10,8 г/100 г, тогда как максимальное общее содержание углеводов отмечено в кукурузе — 74 %. Содержание прос-

тых сахаров составляло 0,8 г/100 г в пшенице и 1,1 г/100 г в кукурузе; в исследованных образцах ячменя и гречихи простые сахара используемым методом не выявлены.

Выбранные зерновые культуры внесут вклад в получение углеводно-сбалансированных хлебобулочных продуктов. Так, пшеницу сорта «Айна» целесообразно рассматривать как структурообразующую основа у хлебобулочных изделий, кукурузу — как источник крахмала, а ячмень и гречиху — как компоненты для регулирования содержания пищевых волокон и функционально значимых углеводных фракций. На основании собственных экспериментальных данных и анализа современных исследований обоснована целесообразность дальнейшего сочетания выбранного зернового сырья с технологической модификацией углеводного комплекса — экструзией, ферментацией и применением гидроколлоидов. Полученные результаты являются основой для следующего этапа работы — разработки и экспериментальной оценки рецептур углеводно-сбалансированных хлебобулочных изделий.

Финансирование

Работа выполнена в рамках грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту ИРН AP26104701 «Разработка инновационных технологий производства углеводно-сбалансированных хлебобулочных продуктов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. Obesity and overweight. Geneva, 2024.
2. Frontiers in Nutrition. 2025 Feb 13;12: 1458353. doi: 10.3389/fnut.2025.1458353. Effect of dietary glycemic index on insulin resistance in adults without diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. Yu-Ting Yu, Yu-Hsiang Fu, Yi-Hsien Chen, Yu-Wei Fang, Ming-Hsien Tsai..
3. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care 26(4):p 358-363, July 2023. | DOI: 10.1097/MCO.0000000000000933. New metrics of dietary carbohydrate quality. Denise Tan, Adam Drewnowski, Kim-Anne.
4. Lancet. 2019, Feb 2;393(10170):434-445. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31809-9. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. Andrew Reynolds, Jim Mann, John Cummings, Nicola Winter, Evelyn Mete
5. Applied Sciences. 2024, 14(14), 6070; <https://doi.org/10.3390/app14146070>. Glycaemic index of bakery products and possibilities of its optimization. Pavel Skřivan, Marcela Sluková, Andrej Sinica, Roman Bleha, Ivan Švec, Evžen Šárka, Veronika Pourová.
6. Food Chemistry: X. Volume 24, 30 Decem-

ber 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101959>. Glycemic impact of cereal and legume-based bakery products: Implications for chronic disease management. Hiba Naveed, Waleed Sultan, Kanza Aziz Awan, Aysha Imtiaz, Sanabil Yaqoob, Fahad Al-Asmari, Ahmad Faraz, Jian-Ya Qian, Aanchal Sharma, Robert Mugabi, Saqer S. Alotaibi, Gulzar Ahmad Nayik.

7. The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-d-glucans as functional food ingredients. Charles S. Brennan, Louise J. Cleary. . Journal of Cereal Science. July 2005, Pages: 1-13, Volume 42, Issue.

8. Cereal β-glucans in diet and health. Peter J. Wood. 10.1016/j.jcs.2007.06.012. Journal of Cereal Science. November 2007, Pages: 230-238, Volume 46, Issue 3

9. Nutrients. 2025 Jan 24;17(3):430. doi: 10.3390/nu17030430. High β-glucan whole grain barley reduces postprandial glycemic response in healthy adults-part one of a randomized controlled trial. Julianne A Kellogg, Pablo Monsivais, Kevin M Murphy, Martine M Perrigue. DOI: 10.3390/nu17030430

10. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. G Bonafaccia, M Marocchini, I Kreft. 10.1016/S0308-8146(02)00228-5. Food Chemistry. January 2003, Pages: 9-15, Volume 80, Issue 1

11. Food Science and Nutrition. 2025 May 26;13(6):e4697. doi: 10.1002/fsn3.4697. Effect of buckwheat-containing bread on postprandial glycemia, appetite, palatability, and gastrointestinal well-being. Khoulou Begum, Imran Khan, Mohammed H Al-Rizeiqi, Stuart K Johnson, Ali Madi Almajwal..

12. Extrusion Cooking (Second Edition). Cereal Grains Processing. 2020, Pages 415-443. Extrusion Cooking. Chapter 13 - Impacts of extrusion processing on nutritional components in cereals and legumes: Carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, and minerals. Paridhi Gulati, Sandrayee Brahma, Devin J. Rose. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00013-4>.

13. Food Hydrocolloids. Volume 160, Part 1, March 2025. Impact of eight extruded starchy whole grains on glycemic regulation and fecal microbiota modulation. Fang Fang, Yu-Xin He, Hao-Qiang Wang, Yan-Li Zhang, Ya-dong Zhong, Xiao-Tian Hu, Shao-Ping Nie, Ming-Yong Xie, Jie-Lun Hu. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110756>

14. Potential of sourdough for healthier cereal products. Trends in Food Science and Technology. Volume 16, Issue number 1-3, 2005. Kati Katina, E. Arendt, Kirsi-Helena Liukkonen, Karin Autio, Laura Flander, Kaisa Poutanen.

15. Frontiers in Nutrition. Nutrition and Metabolism. Volume 10 - 2023 | <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1230043>. Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits?. Vera D'Amico, Michael Gänzle, Lisa Call, Benjamin Zwirzitz, Heinrich Grausgruber, Stefano D'Amico, Fred Brouns.

16. Nutrients. 2022 Apr 2;14(7):1485. doi: 10.3390/nu14071485. A new carbohydrate food quality

scoring system to reflect dietary guidelines: an expert panel report. Adam Drewnowski, Matthieu Mailliot, Yanni Papanikolaou, Julie Miller Jones, Judith Rodriguez, Joanne Slavin, Siddhartha S Angadi, Kevin B Comerford.

17. Glycaemic index of bakery products and possibilities of its optimization. Pavel Skřivan, Marcela Sluková, Andrej Sinic, Roman Bleha, Ivan Švec, Evžen Šárka, Veronika Pourová. Applied Sciences. 2024, 14(14), 6070; <https://doi.org/10.3390/app14146070>

18. Food Chemistry: X. 2024 Nov 1;24:101959. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101959. Glycemic impact of cereal and legume-based bakery products: Implications for chronic disease management. Hiba Naveed, Waleed Sultan, Kanza Aziz Awan, Aysha Imtiaz, Sanabil Yaqoob, Fahad Al-Asmari, Ahmad Faraz, Jian-Ya Qian, Aanchal Sharma, Robert Mugabi, Saqer S Alotaibi, Gulzar Ahmad Nayik

19. Beta-glucans from oats or barley and reduction of postprandial glycaemic responses: Modification of an authorised health claim pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 following a request in accordance with Article 19 of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Dominique Turck, Torsten Bohn, Montaña Cámara, Jacqueline Castenmiller, Stefaan de Henauw, Karen-Ilidico Hirsch-Ernst, Angeles Jos, Alexandre Maciuk, Inge Mangelsdorf, Breige McNulty, Androniki Naska, Kristina Pentieva, Frank Thies, Ines Drenjančević, Ionut Craciun, Thibault Fiolet, Alfonso Sian. 19 September 2025 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9630>

20. Food Science and Nutrition. 2022 Dec 22;11(5):2256–2276. doi: 10.1002/fsn3.3166. Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. Sajad Ahmad Sofi, Naseer Ahmed, Asmat Farooq, Shafiya Rafiq, Sajad Majeed Zargar, Fozia Kamran, Tanveer Ali Dar, Shabir Ahmad Mir, B N Dar, Amin Mousavi Khaneghah

21. A review of the changes produced by extrusion cooking on the bioactive compounds from vegetal sources. Silvia Mironeasa, Ionica Coțovanu, Costel Mironeasa, Mădălina Ungureanu-Iuga. Antioxidants 2023, 12(7), 1453; <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>.

22. Exploring the nutritional impact of sourdough fermentation: its mechanisms and functional potential. Zuhail Alkay, Fereshteh Falah, Hasan Cankurt, Enes Dertli. Foods 2024, 13(11), 1732; <https://doi.org/10.3390/foods13111732>

23. Possible interaction between pectin and gluten alters the starch digestibility and texture of wheat bread. Kaixin Qi, Senbin Cao, Cheng Li. International Journal of Biological Macromolecules. 2024, Volume 269, Part 1. 10.1016/j.ijbiomac.2024.131907.