

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-121-144>

УДК 664.68:616.379-008.64:613.21



Разработка рецептур на основании исследования влияния режимов температурной обработки полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий на гликемический индекс

В.В. Шилов¹, В.В. Литвяк², А.А. Журня³,
Ю.Ф. Росляков✉⁴, Т.В. Окулова³

¹*«Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета;
г. Минск, Республика Беларусь*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки
крахмалсодержащего сырья – филиал Федерального государственного бюджетного научного
учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»;
пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская, Российская Федерация*

³*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»;
г. Минск, Республика Беларусь*

⁴*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кубанский государственный технологический университет»;
г. Краснодар, Российская Федерация,
✉lizaveta_ros@mail.ru*

Аннотация. Введение. Национально ориентированные для России и Беларуси пищевые продукты – блины и оладьи – при их обогащении белком перспективны для спортивного и диетического питания. **Цель исследования.** Исследовать влияние режимов температурной обработки полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий на гликемический индекс (ГИ) и разработать их рецептуры. **Объекты и методы исследования.** Оптимизацию количественного соотношения сырья в рецептурных составах проводили методом линейного программирования по версии R2022b (24.08.2022 г.) программы MatLab – разработчик компания «The MathWorks» и Клив Б. Молер, США. Органолептические и физико-химические показатели определяли стандартизированными методами. ГИ находили по уровню глюкозы в крови добровольцев. **Результаты и обсуждение.** Разработаны модельные рецептуры и изготовлены лабораторные образцы высокобелковых блинов и оладий с использованием сывороточного, молочного, яичного, пшеничного и горохового белка и их комбинаций. Исследовано влияние температурной обработки (охлаждение и заморозка) на органолептические, физико-химические показатели, а также на ГИ. При шоковой заморозке полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий до –18°C наблюдалось увеличение количества резистентного крахмала на 7,7-12,3% по отношению к охлажденным до 4°C продуктам. Шоковая заморозка способствует снижению ГИ высокобелковых оладий на 27,5% ((с 73 до 53), а блинов на 30,9% (с 73 до 50). Состав полуфабрикатов и способ температурной обработки оказывает значительное влияние на ГИ готовых изделий. **Заключение.** Полученные в ходе исследования продукты питания могут быть рекомендованы не только в качестве спортивного питания, но и потребителям, предпочитающим диетические продукты, что будет способствовать профилактической защите населения от развития болезненных состояний, вызываемых повышенными нервными и физическими нагрузками, а также неблагоприятными факторами внешней среды.

Ключевые слова: мучные высокобелковые продукты питания, блины, оладьи, модельные рецептуры, температурная обработка, технология, гликемический индекс

Для цитирования: Шилов В.В., Литвяк В.В., Журня А.А., Росляков Ю.Ф., Окулова Т.В. Разработка рецептур на основании исследования влияния режимов температурной обработки полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий на гликемический индекс. *Новые технологии / New technologies*. 2025; 21(4): 121-144. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-121-144>

Formulation development on the basis of the effect of temperature treatment of semi-finished high-protein flour products on the glycemic index

V.V. Shilov¹, V.V. Litvyak², A.A. Zhurnya³,
Yu.F. Roslyakov✉⁴, T.V. Okulova³

¹ International State Ecological Institute of the Belarusian State University named after A.D. Sakharov; Minsk, the Republic of Belarus

² All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of the Federal Potato Research Center named after A.G. Lorkh; Kraskovo Settlement, the Lyubertsy District; the Moscow Region, the Russian Federation

³ Scientific and Practical Center for Food of the National Academy of Sciences of Belarus; Minsk, the Republic of Belarus

⁴ Kuban State Technological University; Krasnodar, the Russian Federation
✉ lizaveta_ros@mail.ru

Abstract. Introduction. Nationally oriented food products for Russia and Belarus – pancakes and fluffy pancakes, when enriched with protein – are promising for sports and dietary nutrition. The goal of the research was to study the effect of temperature treatment regimes of semi-finished high-protein flour products on the glycemic index (GI) and to develop recipes for them. **The objects and methods.** Optimization of the quantitative ratio of raw materials in the recipes was performed using linear programming using MatLab version R2022b (August 24, 2022) – developed by The MathWorks and Clive B. Mohler, USA. Organoleptic and physicochemical parameters were determined using standardized methods. The GI was calculated based on the blood glucose levels of volunteers. **The results and discussion.** Model recipes were developed and laboratory samples of high-protein pancakes and fluffy pancakes were produced using whey, milk, egg, wheat, and pea proteins, as well as their combinations. The effect of temperature treatment (chilling and freezing) on the organoleptic, physicochemical, and GI properties was studied. Blast freezing of semi-finished high-protein flour products to –18°C resulted in a 7.7-12.3% increase in resistant starch compared to products chilled to 4°C. Flash freezing reduces the GI of high-protein pancakes by 27.5% (from 73 to 53), and of fluffy pancakes by 30.9% (from 73 to 50). The composition of semi-finished products and the method of heat treatment had a significant impact on the GI of finished products. **Conclusion.** The food products obtained in the research can be recommended not only as sports nutrition but also for consumers who prefer dietary products, which will contribute to the preventive protection of the population from the development of diseases caused by increased nervous and physical stress, as well as adverse environmental factors.

Keywords: high-protein flour products, pancakes, fluffy pancakes, model recipes, heat treatment, technology, glycemic index

For citation: Shilov V.V., Litvyak V.V., Zhurnya A.A., Roslyakov Yu.F., Okulova T.V. Formulation development on the basis of the effect of temperature treatment of semi-finished high-protein flour products on the glycemic index. *Novye tehnologii / New technologies*. 2025; 21(4): 121-144. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-121-144>

Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

Введение. Прогресс в исследованиях по диетологии свидетельствует о существовании взаимосвязи между питанием и физическими возможностями человеческого организма [1-10]. Для компенсации затрат и активации анаболических процессов и процессов физиологического восстановления необходимо снабжение организма адекватным количеством энергии и эссенциальных компонентов питания [11, 12]. Рациональное питание необходимо не только для спортсменов-профессионалов, но и для людей, ведущих здоровый и активный образ жизни – оно позволяет обезопасить организм от возможного дефицита необходимых микронутриентов, повысить адаптационные возможности организма, восстановить организм после тяжелых физических нагрузок [13]. С этой целью можно использовать пищевые продукты из мучного сырья, обогащенные различными функциональными добавками [14-17].

Продукты спортивного питания можно классифицировать по назначению и по составу. В зависимости от назначения спортивное питание подразделяется на следующие группы: для наращивания мышц; для снижения веса; для быстрого восстановления после тяжелых физических нагрузок; для предохранения мышц и суставов от повреждений; для общего укрепления организма. По составу выделяют следующие группы продуктов питания для спортсменов: углеводы (смесь углеводов различной степени растворимости); протеины (белковые вещества); чистые аминокислоты; гейнеры (смешанные в соотношении 1:3 белково-углеводные смеси); витаминно-минеральные комплексы (непрямые регуляторы обменных процессов, опосредованные протекторы нервной и иммунной систем). Однако основой подавляющего большинства (60%) продуктов питания являются протеины, и их потребляют 85% спортсменов. К большому сожалению, в настоящее время на пищевом рынке доминируют продукты питания для спортсменов зарубежного

производства. Поэтому создание и промышленный выпуск качественных продуктов отечественного производства для спортивного питания и замена ими зарубежных аналогов является одной из важнейших задач государственной политики в социальной сфере. Это весьма трудная задача, потому что продукты спортивного питания – это высокотехнологичные пищевые изделия. При разработке конкурентоспособного спортивного питания необходимо провести тестирование продукта спортсменами и дополнительные мероприятия для обеспечения вывода инновационного продукта достойного качества на российский и зарубежный рынки.

Важным индикатором питания людей, ведущих здоровый образ жизни и спортивного питания для любого пищевого продукта, в том числе и мучных изделий, является уровень ГИ по ISO 26642:2010. ГИ продуктов влияет на доступность углеводов во время тренировки и скорость синтеза гликогена [18]. Продукты питания с низким ГИ рекомендуются для приема перед тренировкой и в течение короткого периода восстановления (<6 часов).

Для спортсменов, стремящихся к максимальной эффективности тренировок и соревнований, выбор правильных продуктов питания является ключевым фактором. Одним из важных критериев при составлении рациона является ГИ продуктов.

ГИ – это показатель, который отражает, как быстро тот или иной продукт повышает уровень сахара в крови. Продукты с низким ГИ (менее 55) усваиваются медленнее и обеспечивают более стабильный приток энергии, в отличие от высокогликемических продуктов, которые вызывают резкий скачок и последующий спад уровня глюкозы.

Для профессиональных спортсменов и людей, ведущих здоровый образ жизни и активно занимающихся спортом, употребление продуктов с низким ГИ имеет ряд преимуществ: 1) стабильное энергоснабжение; 2) поддержание работоспособности;

3) улучшение восстановления; 4) контроль веса; 5) профилактика гипогликемии.

Таким образом, включение в рацион продуктов питания с пониженным ГИ является важным условием для достижения высоких спортивных результатов, поддержания здоровья и эффективного восстановления организма после физической нагрузки.

Следует отметить, что в Российской Федерации и Республике Беларусь отсутствуют национально ориентированные пищевые продукты для спортивного питания.

В связи с этим, создание высокобелковых национально ориентированных мучных изделий, традиционных для России и Беларуси – блинов и оладий [19-23], предназначенных для спортивного питания с пониженным ГИ, которые могли бы эффективно поддерживать рост и восстановления мышечной массы, способных в кратчайшие сроки предотвратить потерю белка в мышцах при интенсивной работе и тренировках, повысить устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам на организм, актуально и необходимо.

Цель. Исследовать влияние режимов температурной обработки полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий на ГИ и разработать их рецептуры.

Методы исследования. *Дизайн исследования.* Дизайн проведенных исследований состоит из следующих этапов: 1) подбор и подготовка сырья для получения высокобелковых блинов и оладий; 2) компьютерное математическое моделирование компонентного состава высокобелковых блинов и оладий; 3) на основании математического моделирования разработка рабочих рецептурных смесей для приготовления высокобелковых блинов и оладий; 4) получение лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий; 5) исследование органолептических характеристик (формы, поверхности, цвета, консистенции, вкуса и запаха); 6) температурное воздействие (охлаждение-замораживание-размораживание) на высокобелковые блины и оладьи; 7) ис-

следования физико-химических показателей лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий; 8) определения ГИ высокобелковых блинов и оладий.

Объект исследования. Объект исследований – мучные продукты питания славянской кухни:

1) блины – блюдо, выпекаемое из жидкого дрожжевого теста на сковороде;

2) оладьи – мучные изделия, выпекаемые (обжариваемые) из дрожжевого теста на сковороде, отличающиеся от блинов меньшим диаметром и большей толщиной, а тесто имеет более густую консистенцию.

Сырье. В качестве сырья использовали пищевые продукты производства РФ, РБ, Австрии и Франции: 1) муку: пшеничную хлебопекарную высшего сорта (в/с) по ГОСТ 26574 (ОАО «Лидапищеконцентраты», РБ), гречневую по ГОСТ 31645 (ОАО «Лидапищеконцентраты», РБ), ржаную по ГОСТ 7045 (ОАО «Лидапищеконцентраты», РБ); 2) белки животного и растительного происхождения: пшеничный белок по ГОСТ 31934 (ЗАО «Белорусская национальная биотехнологическая корпорация», РБ), изолят горохового белка 80% по техническим нормативным правовым актам (ТНПА) (компания «Blindenmass», Австрия), концентрат сывороточного белка – КСБ-80 по ГОСТ Р 53456 (Щучинский филиал ОАО «Молочный Мир», РБ), яичный белок сухой по ГОСТ Р 57475 (ПФ «Роскар», РФ), концентрат молочного белка (КМБ) Promilk 852 А по ТНПА (компания «Ingredia», Франция); 3) молоко сухое обезжиренное по ГОСТ 33629 СТБ 1858-2022 (ОАО «Глубокский молочно-консервный комбинат», РБ); 4) соль морская по ГОСТ Р 51574 (ПК «Галит», РФ); 5) пекарский порошок – натрия карбонат Е500 по ГОСТ 32802 (ОАО «Лидапищеконцентраты»); 6) сахар по ГОСТ 33222 (ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат», РБ); 7) дрожжи пекарские прессованные по ГОСТ Р 54731 (ЗАО «Красноярский дрожжевой завод», РФ).

Математическое моделирование компонентного состава высокобелковых блинов и оладий. Основная оптимизация рецептуры блинов и оладий заключалась в максимально высоком замещении углеводного компонента на белковый компонент с одновременным сохранением традиционного вкуса.

Оптимизацию количественного соотношения сырья в рецептурных составах высокобелковых изделий проводили с использованием метода линейного программирования с помощью версии R2022b (24.08.2022 г.) программы MatLab – разработчик компания «The MathWorks» и Клив Б. Молер, США [24].

Задача по планированию оптимальной рецептурной смеси решалась с использованием встроенной в MatLab функции *linprog* из дополнения Optimization Toolbox.

Для корректной работы с данной функцией заданы следующие условия:

$$\begin{cases} f^T \cdot x \rightarrow \inf, \\ A \cdot x \leq b, \\ Aeq \cdot x = beq, \\ lb \leq x \leq rb. \end{cases} \quad (1)$$

где f – вектор коэффициентов целевой функции; A , Aeq – матрица ограничений-неравенств; b , beq – векторы правых частей ограничений-неравенств; lb – вектор, ограничивающий план x снизу; rb – вектор, ограничивающий план x сверху.

На выходе функция *linprog* дает оптимальный план по x и экстремальное значение функции *fval*.

На основании анализа пищевой ценности был составлен перечень ингредиентов, входящих в состав высокобелковых изделий, и в зависимости от возможного их рационального использования определены допустимые границы соотношения каждого компонента. В результате разработаны варианты рецептурных составов высокобелковых изделий, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Варианты рецептурных составов высокобелковых изделий
Table 1. Variants of recipe compositions for high-protein products

Рецептурные ингредиенты	x	Возможный диапазон варьирования, %	Энергетическая ценность ккал/100 г
<i>Рецептурный состав №1:</i>			
Мука ржаная обдирная	x_1	40-50	310
Мука пшеничная в/с	x_2	20-30	334
Яичный порошок	x_3	5-10	542
Молоко сухое обезжиренное	x_4	10-15	362
Пшеничный белок	x_5	10-30	352
<i>Рецептурный состав №2:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	40-50	334
Яичный порошок	x_2	5-10	542
Молоко сухое обезжиренное	x_3	10-15	362
Мука гречневая	x_4	20-30	353
Гороховый белок	x_5	10-30	340
<i>Рецептурный состав №3:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	40-50	334
Молоко сухое обезжиренное	x_2	5-10	362
Мука гречневая	x_3	20-30	360
Концентрат сывороточного белка (КСБ-80)	x_4	10-20	385
<i>Рецептурный состав №4:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	40-50	334
Молоко сухое обезжиренное	x_2	5-10	362
Концентрат сывороточного белка (КСБ-80)	x_3	10-40	370
<i>Рецептурный состав №5:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	40-50	334
Молоко сухое обезжиренное	x_2	5-10	362
Концентрат молочного белка (КМБ)	x_3	30-40	298
<i>Рецептурный состав №6:</i>			
Мука ржаная обдирная	x_1	10-25	310
Мука пшеничная в/с	x_2	20-40	334
Молоко сухое обезжиренное	x_3	5-10	362
Сухой яичный белок	x_4	30-40	340
<i>Рецептурный состав №7:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	20-40	334
Яичный порошок	x_2	10-20	542
Молоко сухое обезжиренное	x_3	5-10	362
Гороховый белок	x_4	5-15	340
Концентрат молочного белка (КМБ)	x_5	20-30	298
<i>Рецептурный состав №8:</i>			
Мука пшеничная в/с	x_1	30-60	334
Яичный порошок	x_2	2-5	542
Молоко сухое обезжиренное	x_3	5-10	362
Пшеничный белок	x_4	5-10	352
Концентрат сывороточного белка (КСБ-80)	x_5	10-15	385

Обозначим через x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , искомый удельный вес соответствующего компонента в рецептурном составе №1: мука ржаная обдирная, мука пшеничная в/с, яичный порошок, молоко сухое обезжиренное, пшеничный белок. В качестве критерия оптимизации выбрана энергетическая ценность го-

тового продукта. Тогда моделирование дозирования ингредиентов для производства высокобелковых изделий сводится к определению значений x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , при которых $F(x) = \min \{310x_1 + 334x_2 + 542x_3 + 362x_4 + 352x_5\}$ при соблюдении следующих условий:

1) $8,9x_1 + 10,8x_2 + 46x_3 + 33,2x_4 + 70x_5 > 20$ – наличие в 100 г смеси для приготовления изделий не менее 20 г белка;

2) $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1$ – получение единицы продукта;

3) $x_1 > 0,4$; $x_2 > 0,2$; $x_3 > 0,05$; $x_4 > 0,10$; $x_5 > 0,10$ – задание нижних ограничений на переменных.

4) $x_1 < 0,5$; $x_2 < 0,3$; $x_3 < 0,1$; $x_4 < 0,15$; $x_5 < 0,30$ – задание верхних ограничений на переменных.

5) $F(x) = \min$ – задание для минимизации энергетической ценности.

Аналогичным образом были получены алгоритмы построения рецептурных составов высокобелковых изделий №2–№8.

Решение данной системы неравенств позволило определить массовую долю каждого вида сырья при производстве данных продуктов при обеспечении минимальной энергетической ценности.

Технология получения лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий. Технология получения лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий следующая:

1. Технология получения высокобелковых блинов и оладий с использованием белков растительного происхождения:

– для изготовления высокобелковых блинов в сухую смесь добавляют воду в соотношении 1:1,5 затем тщательно перемешивают миксером и на разогретую сковороду, смазанную жиром, выливают тесто и жарят блины;

– для изготовления оладий в сухую смесь добавляют воду в соотношении 1:1, тщательно перемешивают и на разогретую сковороду выливают небольшое количество растительного масла, затем раскладывают подготовленное тесто более толстым слоем, чем для блинов и жарят до готовности.

2. Технология получения высокобелковых блинов и оладий с использованием белков животного происхождения:

2.1. Технология получения высокобелковых блинов и оладий с использованием концентрата сывороточного белка:

– для изготовления высокобелковых блинов в сухую смесь добавляют воду в соотношении 1:1,5, затем тщательно перемешивают миксером и на разогретую сковороду, смазанную жиром, выливают тесто и жарят блины;

– для изготовления высокобелковых оладий в сухую смесь добавляют воду в соотношении 1:1, тщательно перемешивают миксером и на разогретую сковороду выливают небольшое количество растительного масла, раскладывают подготовленное тесто более толстым слоем, чем для блинов, и жарят до готовности.

2.2. Технология получения высокобелковых блинов и оладий с использованием молочного и яичного белков: для приготовления лабораторных образцов все компоненты смеси соединяли вместе, затем перемешивали в течение 5 мин; в смесь вливали теплую воду (40°C) в соотношении 1:1,5 при приготовлении пшеничных оладий с молочным белком и 1:2 при приготовлении пшенично-ржаных блинов с яичным белком; затем перемешивали миксером в течение 3-4 мин до получения однородной массы сметанообразной консистенции и жарили на разогретой сковороде, смазанной жиром, до готовности.

3. Технология получения высокобелковых блинов и оладий с использованием комбинации белков растительного и животного происхождения. Для приготовления лабораторных образцов все компоненты смеси соединяли вместе, затем перемешивали в течение 5 мин; в смесь вливали теплую воду (40°C) в соотношении 1:1,5 при приготовлении пшеничных оладий с гороховым и молочным белком и 1:2 при приготовлении пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком; затем перемешивали

вали миксером в течение 3-4 мин до получения однородной массы сметанообразной консистенции; тесто для оладий оставляли на 30-40 мин для активации дрожжей; после чего жарили на предварительно разогретой и смазанной растительным маслом сковороде.

Методы определения органолептических показателей высокобелковых блинов и оладий. Органолептические показатели (форма, поверхность, цвет, консистенция, вкус и запах-аромат) лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий определяли визуально.

Фотографирование (макросъемку) полученных лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий проводили при помощи фотоаппарата SONY NEX-5N (производитель Тайланд).

Температурные режимы охлаждения-замораживания-размораживания высокобелковых блинов и оладий. Дополнительная оптимизация рецептуры блинов и оладий заключалась в температурных режимах охлаждения-замораживания-размораживания, способствующих преобразованию крахмального компонента в резистентное состояние, т.е. к максимально возможному снижению ГИ при одновременном увеличении пребиотических свойств.

Лабораторные образцы высокобелковых блинов и оладий подвергались замораживанию в результате различной температурной обработки:

- вариант №1: охлаждение готовых изделий до температуры образцов 4°C;
- вариант №2: мягкая (медленная) заморозка до достижения температуры образцов -10°C;
- вариант №3: шоковая (быстрая) заморозка до достижения температуры образцов -18°C.

Режимы заморозки были выбраны исходя из того факта, что в промышленных условиях режимы охлаждения от 4°C до -3°C при приготовлении замороженных мучных изделий не используются. Заморозка высокобелковых изделий проводилась с использованием аппарата шоковой заморозки Valmar AB06. Перед началом процесса температура в рабочей камере аппарата снижалась до -25°C, затем в камеру помещались изготовленные образцы. В образцы высокобелковых продуктов помещали контактный термометр, предназначенный для контроля температуры внутри образцов во время заморозки. Выставлялись различные режимы заморозки.

Размораживание замороженных высокобелковых блинов и оладий осуществляли в печи СВЧ:

– вариант №1: при мощности 200 W в течение 3 мин и последующим разогревом при мощности 450-700W (t~100°C) в течение 3-4 мин;

– вариант №2: при мощности 600W (t~100°C) в течение 4 мин без предварительной разморозки.

Разогрев высокобелковых блинов и оладий проводили также в духовом шкафу при 160-180°C в течение 5-10 мин.

Следует подчеркнуть, что во время разогрева высокобелковые изделия необходимо накрывать крышкой или тарелкой для предотвращения быстрого испарения влаги.

Методы исследования физико-химических показателей высокобелковых блинов и оладий. Исследование химического состава и пищевой ценности высокобелковых продуктов на основе мучного сырья осуществляли следующими методами:

- массовую долю белка определяли титрометрическим методом Кьельдаля по ГОСТ 13496.4;
- массовую долю жира определяли экстракционно-гравиметрическим методом с предварительным гидролизом навески по ГОСТ 5668;
- массовую долю общей золы – термогравиметрическим методом по ГОСТ 5901;
- массовую долю клетчатки термогравиметрическим методом по МВИ. МН 3928 на установке для определения сырой клетчатки «Fibretherm» (компания «Gerhardt», Германия);

– количество углеводов определяли расчетным путём: из сухого остатка вычитали количество белка, жира, золы и клетчатки;

– массовую долю влаги определяли высушиванием по ГОСТ 21094;

– содержание резистентного крахмала определяли ферментативно-фотометрическим методом по AOAC Method 2002.02 AACC Method 32-40 Rapid Resistant Starch Assay procedure Megazyme.

Анализ количественного состава белков, жиров и углеводов готовой продукции с различной температурной обработкой был проведен в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Метод определения ГИ высокобелковых блинов и оладий. ГИ устанавливали путем определения содержания сахара в пробах крови у 15 здоровых добровольцев.

Критерии включения добровольцев в исследование:

– подписанное и датированное информированное согласие;

– возраст 18-65 лет включительно;

– ИМТ ≤ 30 кг/м²;

– окружность талии ≤ 94 см для мужчин и ≤ 80 см для женщин;

– стабильная масса тела;

– глюкоза крови натощак $\leq 5,6$ ммоль/л;

– артериальное давление ≤ 130 мм рт. ст. (систолическое) и/или ≤ 85 мм рт. ст. (диастолическое).

Критерии исключения:

– добровольцы с хроническими заболеваниями, связанными с обменом веществ (хронические заболевания печени, почек, поджелудочной железы, врожденные метаболические заболевания, аутоиммунные заболевания, воспалительные заболевания кишечника, целиакия);

– сахарный диабет 1 типа;

– неконтролируемый сахарный диабет 2 типа;

– злокачественные новообразования в анамнезе;

– неконтролируемые нарушения липидного обмена;

– испытуемый находится на какой-либо диете;

– использование каких-либо биологических пищевых добавок в течение 3 месяцев до включения в исследования;

– прием лекарственных средств, которые, влияют на уровень глюкозы;

– невозможность выполнять рекомендации исследователя.

ГИ находили путем обработки данных в программе Microsoft Excel по графикам зависимости содержания глюкозы в капиллярной крови от времени, установленного после употребления стандартизированной порции продукта [25, 26]. В исследовании использовали порции продукта, содержащие 50 г углеводов. Схема проведения эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2. Схема проведения эксперимента

Table 2. Experimental design

№	Продукт	Измерение глюкозы через, мин
1	Глюкоза натощак	30, 60, 90, 120
2	Свежеприготовленные высокобелковые продукты	30, 60, 90, 120
3	Замороженные высокобелковые продукты до температуры -10°C и разогретые	30, 60, 90, 120
4	Замороженные высокобелковые продукты до температуры -18°C и разогретые	30, 60, 90, 120

Для отбора крови использовали систему контроля уровня глюкозы в крови *ACCU-CHECK® Active*, предназначенную для количественного измерения уровня глюкозы (сахара) капиллярной крови [27]. Отбор крови осуществляли, используя стерильные одноразовые ланцеты, спиртовые салфетки. Экспресс-содержание глюкозы устанавливали при помощи одноразовых тест-полосок на приборе *ACCU-CHECK® Active*. Ошибка параллельных определений – 10%.

Методика определения ГИ регламентируется международным стандартом ISO 26642:2010. Согласно данному стандарту площадь под получившейся кривой называется IAUC – Incremental Area Under the (blood glucose response) Curve, что перево-

дится как площадь под кривой (уровня сахара в крови). Так как изменение уровня сахара в крови в результате употребления одной и той же порции продукта каждым из добровольцев будет различным, для одного исследуемого продукта питания получено 4 значения IAUC [25, 26].

Аналогичным образом для каждого из добровольцев определяли IAUC эталонного продукта (50 г чистой глюкозы). GI вычислили по следующей формуле:

$$GI = (IAUC_{\text{продукта}} / IAUC_{\text{глюкозы}}) \times 100. \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований представлены в таблицах 3-7 и на рисунках 1-4. Так, в таблице 3 представлено моделирование рецептурного состава высокобелковых блинов и оладий в программе Matlab, в таблице 4 – рабочие рецептуры смеси для приготовления высокобелковых блинов и оладий, в таблице 5 – органолептические показатели высокобелковых блинов и оладий, в таблице 6 – физико-химические показатели высокобелковых блинов и оладий, а в таблице 7 – GI высокобелковых блинов и оладий при различной температурной обработке. На рисунке 1 показаны фотографии лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий, на рисунке 2-4 – изменение уровня глюкозы в крови добровольцев при потреблении высокобелковых блинов и оладий: на рисунке 2 – пшеничных блинов с КСБ-80, на рисунке 3 – пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком, на рисунке 4 – ржано-пшеничных оладий с пшеничным белком.

Разработка компонентного состава высокобелковых изделий на основе мучного сырья с использованием белков различного происхождения. Разработка компонентного состава и изготовление высокобелковых блинов и оладий с использованием белков растительного происхождения. На основании проведенного математического моделирования (табл. 3) установлены, что условия приготовления:

– ржано-пшеничных блинов с пшеничным белком и содержанием в 100 г го-

тового изделия не менее 20 г белка, необходима дозировка пшеничной муки в/с – 22,8%, муки ржаной – 33,5%, яичного порошка – 6,5%, молока сухого обезжиренного – 12,5% и пшеничного белка – 23,7%, соли морской – 1%; при этом общая калорийность составляла 345,1 ккал (100%), белка – 131,2 ккал (38%), жиров – 31,5 ккал (9,1%) и углеводов – 182,4 ккал (52,8%).

– пшенично-гречневых оладий с гороховым белком с расчетным содержанием белка не менее 20 г на 100 г готового изделия необходимо гречневой муки – 39,1%, пшеничной муки в/с – 17%, яичного порошка – 2,8%, молока сухого обезжиренного – 17,1%, горохового белка – 23%, соли морской – 1%; при этом общая калорийность составляла 345,2 ккал (100%), белка – 131,6 ккал (38,1%), жиров – 16,8 ккал (4,9%) и углеводов – 196,8 ккал (57%).

Анализ органолептических показателей приготовленных лабораторных образцов высокобелковых ржано-пшеничных блинов с пшеничным белком и высокобелковых пшенично-гречневых оладий с гороховым белком по форме, поверхности, цвету, вкусу и запаху полностью соответствуют заявленным продуктам – блинам и оладьям (рис. 1 и табл. 5). Выход готового продукта после жарки составил 170-180 г.

Разработка компонентного состава и изготовление высокобелковых блинов и оладий с использованием белков животного происхождения. *Разработка компонентного состава и изготовление высокобелковых блинов и оладий с использованием концентрата сывороточного белка.* В ходе проведения экспериментальной апробации рабочих рецептур, полученных с помощью программы Matlab, было установлено, что расчетное содержание сухого молока (10-25%) в составе разрабатываемых изделий имело отрицательный эффект: готовая продукция быстро пригорала при приготовлении, поэтому было решено уменьшить его количество. Кроме того, в состав высокобелковых блинов и оладий для получения

хороших органолептических свойств было предложено внести пекарский порошок. Внешний вид высокобелковых пшенично-гречневых оладий с КСБ-80 и высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 продемонстрирован на рисунке 1, а их органолептические характеристики (форма, поверхность, цвет, консистенция, вкус и запах) подробно описаны в таблице 5.

Таким образом, с учётом результатов математического моделирования (табл. 3) для приготовления высокобелковых пшенично-гречневых оладий с КСБ-80 требовалась дозировка (табл. 4) пшеничной муки в/с – 25%, гречневой муки – 22%, КСБ-80 – 42,3%, молока сухого обезжиренного – 7%, соли морской – 1,2%, пекарского порошка – 2,5%. Расчетная общая калорийность высокобелковых пшенично-гречневых оладий составила 347,4 ккал (100%), при этом калорийность белков – 168,4 ккал (48,5%), жиров – 27 ккал (7,8%), углеводов – 152 ккал (43,7%). Для приготовления высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80, основываясь на результатах математического моделирования (табл. 3), необходима дозировка (табл. 4) пшеничной муки в/с – 45%, КСБ-80 – 42%, молока сухого обезжиренного – 9,3%, соли морской – 1,2%, пекарского порошка – 2,5%. У высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 общая калорийность была 358,9 ккал (100%), калорийность белка – 172,4 ккал (48%), калорийность жиров – 36,1 ккал (10%), калорийность углеводов – 150,4 ккал (42%).

Выход готового продукта после жарки составил 165-170 г.

Разработка компонентного состава и изготовление лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий с использованием молочного и яичного белков. По результатам математического моделирования (табл. 3) для получения пшеничных оладий с молочным белком необходима дозировка (табл. 4) муки пшеничной в/с – 47%, КСБ-80 – 42%, молока сухого обезжиренного – 7,3%, соли морской – 1%, пекарского порошка – 2,7% (общая калорийность – 344,1 ккал (100%): калорийность

Новые технологии / New Technologies, 2025; 21 (4)

белка – 175,6 ккал (51%), калорийность жиров – 11,7 ккал (3,4%) и калорийность углеводов – 156,8 ккал (45,6%)), а для получения пшенично-ржаных блинов с яичным белком необходима дозировка (табл. 4) муки пшеничной в/с – 32%, муки ржаной обдирной – 14,3%, яичного белка – 43%, молока сухого обезжиренного – 7%, соли морской – 1,2%, пекарского порошка – 2,5% (общая калорийность – 297 ккал (100%): калорийность белка – 176 ккал (59,2%), калорийность жиров – 7,02 ккал (2,4%) и калорийность углеводов – 114 ккал (38,4%)).

При приготовлении пшеничных оладий с молочным белком было установлено, что в начале жарки оладьи быстро поднимаются и вспениваются, что затрудняет процесс их приготовления. Однако, затем они приобретают стандартную форму. Консистенция оладий была несколько водянистая, не совсем характерная для этого вида изделий. Процесс приготовления пшенично-ржаных блинов с яичным белком не вызвал серьезных проблем. Форма, консистенция и вкус пшенично-ржаных блинов были в пределах нормальных значений, характерных для этого вида изделий.

Внешний вид лабораторных образцов показан на рисунке 1, а и органолептические показатели представлены в таблице 5.

Как видно из представленных данных, полученные продукты имеют определенные недостатки. Оценка органолептических показателей (табл. 5) показала, что лабораторные образцы пшеничных оладий с молочным белком имеют не плотную, водянистую консистенцию и выраженный вкус казеина, что негативно сказывается на их потребительских свойствах. Консистенция пшенично-ржаных блинов была заниженной влажности.

Полученные результаты исследований органолептических показателей лабораторных образцов дают возможность сделать вывод о том, что молочный белок необходимо смешивать с другими видами белков, предпочтительно растительного происхождения для маскировки неприятного вкуса.

Таблица 3. Моделирование рецептурного состава высокобелковых блинов и оладий в программе Matlab
Table 3. Modeling the recipe composition of high-protein pancakes and fluffy pancakes in the Matlab program

Алгоритм	Результат
1. Рецептурный состав высокобелковых блинов и оладий с растительным белком	
1.1 Рецептурный состав ржано-пшеничных блинов и оладий с пшеничным белком	
$f=[310;334;542;362.2;352];$ $A=[-8.9 -10.8 -46 -33.2 -70];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.4;0.2;0.05;0.10;0.1];$ $rb=[0.5;0.3;0.1;0.15;0.3];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.50$ $x_2 = 0.25$ $x_3 = 0.05$ $x_4 = 0.10$ $x_5 = 0.10$ $fval = 310.3$
1.2. Рецептурный состав пшенично-гречневых оладий с гороховым белком	
$f=[353;334;542;362;340];$ $A=[-13.6 -10.8 -46 -33.2 -84];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.5;0.2;0.05;0.10;0.1];$ $rb=[0.6;0.3;0.1;0.15;0.3];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.5000$ $x_2 = 0.2500$ $x_3 = 0.0500$ $x_4 = 0.1000$ $x_5 = 0.1000$ $fval = 323.5$
2. Рецептурный состав блинов и оладий с КСБ-80	
2.1. Рецептурный состав пшенично-гречневых оладий с КСБ-80	
$f=[334;353;362;385];$ $A=[-10.8 -13.6 -33.2 -80];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.4;0.2;0.05;0.2];$ $rb=[0.5;0.3;0.1;0.3];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.4000$ $x_2 = 0.2000$ $x_3 = 0.2100$ $x_4 = 0.19000$ $fval = 444.2$
2.2. Рецептурный состав пшеничных блинов с КСБ-80	
$f=[334;362;385];$ $A=[-10.8 -33.2 -80];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.1;0.05;0.1];$ $rb=[0.5;0.1;0.4];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.5000$ $x_2 = 0.1000$ $x_3 = 0.4000$ $fval = 354.7$
3. Рецептурный состав блинов и оладий с животным белком	
3.1. Рецептурный состав пшеничных оладий с КМБ-80	
$f=[334;298;362];$ $A=[-10.8 -81 -33.2];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.4;0.3;0.05];$ $rb=[0.5;0.4;0.1];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$ Optimization terminated.	$x_1 = 0.5000$ $x_2 = 0.4000$ $x_3 = 0.1000$ $fval = 343.2$
3.2. Рецептурный состав пшенично-ржаных блинов с яичным белком	
$f=[334;310;340;362];$ $A=[-10.8 -8.9 -85 -33.2];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.2;0.1;0.3;0.05];$ $rb=[0.4;0.2;0.4;0.1];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$ Optimization terminated.	$x_1 = 0.3619$ $x_2 = 0.2000$ $x_3 = 0.3881$ $x_4 = 0.0500$ $fval = 332.9$
4. Рецептурный состав блинов и оладий с комбинацией белков растительного и животного происхождения	
4.1. Рецептурный состав пшеничных оладий с гороховым и молочным белком	
$f=[334;542;362;340;298];$ $A=[-10.8 -46 -33.2 -84 -81];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.4;0.1;0.05;0.05;0.2];$ $rb=[0.5;0.2;0.1;0.15;0.3];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.5000$ $x_2 = 0.0500$ $x_3 = 0.1000$ $x_4 = 0.1500$ $x_5 = 0.2000$ $fval = 343.2$
4.2. Рецептурный состав пшеничных блины с КСБ-80 и пшеничным белком	
$f=[334;542;362;352;385];$ $A=[-10.8 -46 -33.2 -70 -80];$ $b=[-20];$ $Aeq=[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1];$ $beq=[1];$ $lb=[0.2;0.02;0.05;0.05;0.1];$ $rb=[0.6;0.05;0.1;0.1;0.15];$ $[x,fval]=linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,rb)$	$x_1 = 0.6000$ $x_2 = 0.0500$ $x_3 = 0.1000$ $x_4 = 0.10000$ $x_5 = 0.15000$ $fval = 332.9$

Таблица 4. Рабочие рецептуры смеси для приготовления высокобелковых блинов и оладий
Table 4. Working mixture recipes for preparing high-protein pancakes and fluffy pancakes

Наименование компонентов	Количество, %	Расчетное количество г в 100 г смеси		
		Белки	Жиры	Углеводы
1. Рабочие рецептуры смесей для приготовления высокобелковых блинов и оладий с растительным белком				
1.1. Рабочая рецептура смеси для приготовления высокобелковых ржано-пшеничных блинов с пшеничным белком				
Пшеничная мука в/с	22,8	2,8	0,3	15,9
Ржаная мука	33,5	3	0,6	20,7
Яичный порошок	6,5	3	2,4	0,3
Молоко сухое обезжиренное	12,5	4,2	0,1	6,6
Соль морская	1	0	0	0
Пшеничный белок	23,7	20,1	0,1	2,1
Итого, г:	100	33,1	3,5	45,6
Калорийность, ккал	345,1	131,2	31,5	182,4
Калорийность, %	100	38,0	9,1	52,8
1.2. Рабочая рецептура сухой смеси высокобелковых пшенично-гречневых оладий с гороховым белком				
Гречневая мука	39,1	5,3	0,46	28,11
Пшеничная мука в/с	17	2	0,2	11,8
Яичный порошок	2,8	1,3	1	0,12
Молоко сухое обезжиренное	17,1	5,7	0,2	9
Соль морская	1	0	0	0
Гороховый белок	23	18,8	0,01	0,18
Итого, г:	100	33,1	2	49
Калорийность смеси, ккал	345,2	131,6	16,8	196,8
Калорийность смеси, %	100	38,1	4,9	57,0
2. Рабочая рецептура сухой смеси высокобелковых блинов и оладий с КСБ-80				
2.1. Рабочая рецептура смеси для приготовления высокобелковых пшенично-гречневых оладий с КСБ-80				
Пшеничная мука в/с	25	2,7	0,4	16,9
Гречневая мука	22	3	0,3	15,8
КСБ-80	42,3	33,8	2,3	0,9
Молоко сухое обезжиренное	7	2,5	0	3,8
Соль морская	1,2	0	0	0
Пекарский порошок	2,5	0,1	0,01	0,625
Итого, г:	100	42,1	3	38
Калорийность, ккал	347,4	168,4	27	152
Калорийность, %	100	48,5	7,8	43,7
2.2. Рабочая рецептура смеси высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80				
Пшеничная мука в/с	45	5	1	31
КСБ-80	42	34	3	1
Молоко сухое обезжиренное	9,3	4	0	5
Соль морская	1,2	0	0	0
Пекарский порошок	2,5	0,1	0,01	0,625
Итого, г:	100	43,1	4,01	37,6
Калорийность смеси, ккал	358,9	172,4	36,1	150,4
Калорийность смеси, %	100	48	10	42
3. Рабочие рецептуры смесей для приготовления высокобелковых блинов и оладий с животным белком				
3.1. Рецепттура сухой смеси высокобелковых пшеничных оладий с КМБ				
Пшеничная мука в/с	47	5,1	0,6	32,9
КМБ	42	36,1	0,6	1,9
Молоко сухое обезжиренное	7,3	2,6	0,04	3,8
Соль морская	1	0	0	0
Пекарский порошок	2,7	0,1	0,01	0,63
Итого, г:	100	43,9	1,3	39,2
Калорийность смеси, ккал	344,1	175,6	11,7	156,8
Калорийность смеси, %	100	51	3,4	45,6
3.2. Рецепттура сухой смеси высокобелковых пшенично-ржаных блинов с яичным белком				
Пшеничная мука в/с	32	3,5	0,5	22,4
Ржаная мука обдирная	14,3	1,3	0,2	0,9
Яичный белок	43	36,6	0,04	0,9
Молоко сухое обезжиренное	7	2,5	0,03	3,7
Соль морская	1,2	0	0	0
Пекарский порошок	2,5	0,1	0,01	0,62
Итого, г:	100	44	0,78	28,5
Калорийность смеси, ккал	297	176	7,02	114
Калорийность смеси, %	100	59,2	2,4	38,4
4. Рабочие рецептуры смесей для приготовления высокобелковых блинов и оладий с комбинацией белков растительного и животного происхождения				
4.1. Рецепттура сухой смеси высокобелковых пшеничных оладий с молочным и гороховым белком				
Пшеничная мука в/с	53	5,7	0,7	37
Соль морская	1,4	0	0	0
Сахар	2	0	0	2
Яичный порошок	1,2	0,6	0,4	0,1
Молоко сухое обезжиренное	4,5	1,5	0	2,4
Дрожжи	0,9	0,4	0,1	0,4
Сыворотка молочная под-сырная	2	0,2	0	1,4
Гороховый белок	20	16,3	0	0,2
КМБ	15	12,2	0,2	0,8
Итого	100	36,9	1,5	44,1
Калорийность, ккал	337,4	147,6	12,6	177,2
Калорийность смеси, %	100	43,7	3,8	52,5

Окончание таблицы 4/end of table 4

4.2. Рецептура сухой смеси высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком				
Пшеничная мука в/с	55	5,9	0,7	38,4
Соль морская	1,4	0	0	0
Сахар	2	0	0	2
Яичный порошок	1,6	0,7	0,6	0,1
Молоко сухое обезжиренное	5	1,7	0,1	2,6
КСБ-80	20	1,6	1,1	0,4
Пшеничный белок	15	10,5	0	2,7
Итого	100	34,8	2,5	46,2
Калорийность, ккал	346,5	139,2	22,5	184,8
Калорийность смеси, %	100	40,2	6,5	53,3



Пшенично-гречневые оладьи с растительным белком



Ржано-пшеничные блины с растительным белком



Пшенично-гречневые оладьи с КСБ-80



Пшеничные блины с КСБ-80



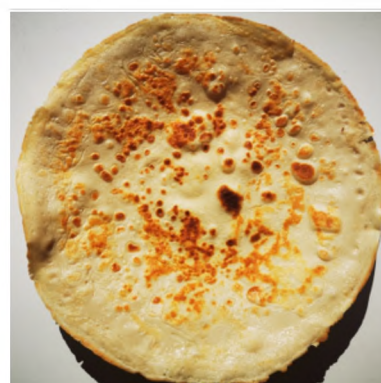
Оладьи пшеничные с КМБ



Пшенично-ржаные блины с яичным белком



Пшеничные оладьи с гороховым и КМБ



Пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком

Рис. 1. Фотографии лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий

Fig. 1. Pictures of laboratory samples of high-protein pancakes and fluffy pancakes

Таблица 5. Органолептические показатели высокобелковых блинов и оладий
Table 5. Organoleptic properties of high-protein pancakes and fluffy pancakes

Наименование показателей	Характеристика
1. Высокобелковые ржано-пшеничные блины и пшенично-гречневые оладий с белками растительного происхождения	
Форма	Плоская, округлая
Поверхность	Гладкая, с мелкой равномерной пористостью, без трещин, сквозных отверстий и подрывов
Цвет	От золотистого до светло-коричневого
Консистенция	Однородная, мягкая, не липкая и не подсохшая
Вкус и запах	Свойственные, данным видам изделий, без постороннего вкуса и запаха (для блинов), с легким гречневым и гороховым привкусом и ароматом (для оладий)
2. Высокобелковые пшеничные блины и пшенично-гречневые оладий с КСБ-80	
Форма	Плоская, округлая
Поверхность	Гладкая, с мелкой равномерной пористостью, без трещин, сквозных отверстий и подрывов
Цвет	От золотистого до светло-коричневого
Консистенция	Однородная, мягкая, не липкая и не подсохшая, свойственная данному тесту
Вкус и запах	Свойственные данным видам изделий, без постороннего вкуса и запаха
3. Высокобелковые пшеничные оладий с молочным белком	
Форма	Плоская, округлая
Поверхность	Гладкая, с мелкой равномерной пористостью, без трещин, сквозных отверстий и подрывов
Цвет	От золотистого до светло-коричневого
Консистенция	Однородная, мягкая, водянистая, не свойственная данному изделию (для оладий с молочным белком). Однородная, мягкая, не липкая, суховатая (для блинов)
Вкус	Свойственный данному виду изделий, без постороннего вкуса. Небольшой привкус казеина для оладий
Запах	Свойственный данным видам изделий, без постороннего запаха
4. Высокобелковые блины и оладий с комбинацией белков животного и растительного происхождения	
Форма	Плоская, округлая
Поверхность	Гладкая, с мелкой равномерной пористостью, без трещин, сквозных отверстий и подрывов
Цвет	От золотистого до светло-коричневого
Консистенция	Однородная, мягкая
Вкус и запах	Свойственные данным видам изделий, без посторонних вкуса и запаха

Яичный белок целесообразно смешать с концентратом сывороточного белка, т.к. КСБ достаточно быстро усваивается в организме, а яичный белок медленнее. Это даст возможность использовать как энергетические, так пластические ресурсы этих белков более эффективно.

Разработка компонентного состава и изготовление лабораторных образцов высокобелковых блинов и оладий с использованием комбинации белков животного и растительного происхождения. На основании проведенного математического моделирования (табл. 3) было установлено, что для приготовления высокобелковых блинов и

оладий с использованием комбинации белков животного и растительного происхождения (высокобелковых пшеничных оладий с молочным и гороховым белком, а также высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком), соответственно необходимо (табл. 4) пшеничной муки в/с – 53 и 55%, соли морской – 1,4 и 1,4%, сахара – 2 и 2%, молоко сухого обезжиренного – 4,5 и 5%, дрожжи – 0,9 и 0%, сыворотки молочной подсырной – 2 и 0%, горохового белка – 20 и 0%, молочного белка – 15 и 0%, яичного порошка 0 и 1,6%, КСБ-80 – 0 и 20%, пшеничного белка – 0 и 15%. При этом у высокобелковых пшеничных оладий с молочным и гороховым белком, а также высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком, соответственно, общая калорийность составляла 337,6 ккал (100%) и 346,5 ккал (100%), калорийность белка – ккал (%) и ккал (%), калорийность жиров – ккал (%) и ккал (%), углеводов – ккал (%) и ккал (%).

Оценка органолептических показателей (формы, поверхности, цвета, консистенции, вкуса и запаха) показала, что приготовленные лабораторные образцы (рис. 1) высокобелковых блинов и оладий с использованием комбинации белков животного и растительного происхождения (высокобелковых пшеничных оладий с молочным и гороховым белком, а также высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком) соответствовали данным видам изделий (табл. 5).

Подбор температурных режимов заморозки, размораживания полуфабрикатов и разогрева готовых продуктов, исследование физико-химических показателей качества и безопасности. Проведенные нами исследования показали, что размораживание замороженных полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий (блинов и оладий) в печи СВЧ при мощности 200 W в течение 3 мин и последующим разогревом при мощности 450–700W (t~100°C)

в течение 3-4 мин менее эффективно, чем разогрев при мощности 600W ($t \sim 100^\circ\text{C}$) в течение 4 мин без предварительной разморозки изделий.

Кроме того, менее эффективным является также режим разогрева в духовом шкафу при $160-180^\circ\text{C}$ в течение 5-10 мин. Разогретые изделия получаются более сухими и жесткими из-за испарения влаги. Поэтому после всех режимов заморозки мы использовали единый режим разогрева в печи СВЧ при мощности 600W ($t \sim 100^\circ\text{C}$) в течение 4 мин.

В результате проведенного исследования влияния температурных режимов охлаждения и замораживания (4°C , -10°C , -18°C) на физико-химические характеристики (массовая доля белка, массовая доля жира, массовая доля клетчатки, массовая доля углеводов) наблюдаются, соответственно, следующие колебания (табл. 6):

1) для ржано-пшеничных оладий с пшеничным белком: 19,4-20,2%, 6,0-6,7%, 0,5-1,6%, 19,8-21,8%;

2) для пшенично-гречневых оладий с гороховым белком: 17,3-18,2%, 6,0-6,7%, 1,2-3,5%, 20,8-22,3%;

3) для пшеничных блинов с КСБ-80: 20,5-23,2%, 4,0-5,2%, 1,7-3,1%, 19,7-21,2%;

4) для пшенично-ржаных блинов с яичным белком: 16,5-20,5%, 1,2-6,9%, 1,1-6,5%, 17,9-20,5%;

5) для пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком: 13,7-15,2%, 10,0-14,6%, 1,3-3,2%, 32,8-36,1%;

6) для пшенично-гречневых оладий с КСБ-80: 20,4-22,0%, 6,0-6,7%, 0,6-1,4%, 20,8-22,3%;

7) для пшеничных оладий с КМБ: 16,4-18,0%, 4,8-7,0%, 1,4-3,6%, 15,4-18,9%;

8) для пшеничных оладий с КМБ и гороховым белком: 13,9-15,2%, 10,0-14,6%, 1,5-2,6%, 23,6-25,0%.

Оценка пищевой ценности показала, что все лабораторные образцы блинов и оладий отвечают необходимым критериям ГОСТ 34006 и могут маркироваться как продукты с

высоким содержанием белка, т.е. белок в их составе обеспечивает не менее 20% калорийности пищевой продукции.

Таблица 6. Физико-химические показатели высокобелковых блинов и оладий

Table 6. Physical and chemical properties of high-protein pancakes and fluffy pancakes

Наименование показателей	Температурные режимы охлаждения и замораживания		
	4°C	-10°C	-18°C
1. Ржано-пшеничные оладьи с пшеничным белком			
Массовая доля белка, %	19,4 \pm 2,9	20,2 \pm 3,5	20,0 \pm 4,2
Массовая доля жира, %	6,5 \pm 1,1	6,0 \pm 0,9	6,7 \pm 1,2
Массовая доля клетчатки, %	0,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,6 \pm 0,3
Массовая доля углеводов, %	19,8 \pm 4,0	20,3 \pm 3,6	21,8 \pm 4,3
2. Пшенично-гречневые оладьи с гороховым белком			
Массовая доля белка, %	17,3 \pm 2,7	17,9 \pm 2,1	18,2 \pm 3,2
Массовая доля жира, %	6,5 \pm 1,2	6,0 \pm 1,3	6,7 \pm 1,0
Массовая доля клетчатки, %	1,2 \pm 0,2	2,4 \pm 0,4	3,5 \pm 0,4
Массовая доля углеводов, %	20,8 \pm 3,4	21,3 \pm 2,7	22,3 \pm 4,0
3. Пшеничные блины с КСБ-80			
Массовая доля белка, %	20,5 \pm 3,9	22,0 \pm 2,9	23,2 \pm 4,8
Массовая доля жира, %	4,0 \pm 0,6	4,3 \pm 0,8	5,2 \pm 0,6
Массовая доля клетчатки, %	1,7 \pm 0,3	2,4 \pm 0,5	3,1 \pm 0,5
Массовая доля углеводов, %	19,7 \pm 3,2	20,8 \pm 3,1	21,2 \pm 3,7
4. Пшенично-ржаные блины с яичным белком			
Массовая доля белка, %	16,5 \pm 2,4	18,1 \pm 3,1	20,5 \pm 3,0
Массовая доля жира, %	1,2 \pm 0,2	4,4 \pm 0,6	6,9 \pm 1,0
Массовая доля клетчатки, %	1,1 \pm 0,2	3,5 \pm 0,7	6,5 \pm 0,9
Массовая доля углеводов, %	18,5 \pm 3,7	17,9 \pm 3,0	20,5 \pm 3,3
5. Пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком			
Массовая доля белка, %	13,7 \pm 2,0	14,0 \pm 2,0	15,2 \pm 2,7
Массовая доля жира, %	11,9 \pm 1,8	10,0 \pm 2,2	14,6 \pm 2,6
Массовая доля клетчатки, %	1,3 \pm 0,3	2,1 \pm 0,3	3,2 \pm 0,5
Массовая доля углеводов, %	32,8 \pm 7,2	35,1 \pm 6,6	36,1 \pm 6,5
6. Пшенично-гречневые оладьи с КСБ-80			
Массовая доля белка, %	20,4 \pm 2,3	21,2 \pm 3,4	22,0 \pm 4,0
Массовая доля жира, %	6,5 \pm 1,1	6,0 \pm 0,9	6,7 \pm 1,0
Массовая доля клетчатки, %	0,6 \pm 0,1	0,9 \pm 0,1	1,4 \pm 0,3
Массовая доля углеводов, %	20,8 \pm 2,9	21,3 \pm 4,0	22,3 \pm 3,9
7. Пшеничные оладьи с КМБ			
Массовая доля белка, %	16,6 \pm 3,1	16,4 \pm 3,0	18,0 \pm 2,5
Массовая доля жира, %	6,5 \pm 0,9	4,8 \pm 0,8	7,0 \pm 1,4
Массовая доля клетчатки, %	1,4 \pm 0,3	3,6 \pm 0,5	3,4 \pm 0,5
Массовая доля углеводов, %	15,4 \pm 3,4	18,9 \pm 2,8	17,9 \pm 3,9
8. Пшеничные оладьи с КМБ и гороховым белком			
Массовая доля белка, %	13,9 \pm 2,0	15,2 \pm 2,7	14,6 \pm 2,1
Массовая доля жира, %	11,9 \pm 2,1	10,0 \pm 1,8	14,6 \pm 2,9
Массовая доля клетчатки, %	1,5 \pm 0,3	2,3 \pm 0,4	2,6 \pm 0,3
Массовая доля углеводов, %	24,6 \pm 4,9	23,6 \pm 3,5	25,0 \pm 4,2

В результате количественного анализа содержания резистентного крахмала в лабораторных образцах высокобелковых продуктов установлено, что снижение температуры высокобелковых мучных изделий (блинов и оладий) до -10°C и -18°C привело к увеличению количества резистентного крахмала на 11,1-29,4% по отношению к охлажденным до 4°C продуктам.

Увеличение после замораживания-оттаивания почти во всех образцах блинов и оладий массовой доли белков, жиров, углеводов и клетчатки может быть связано с существенным их обезвоживанием, что характерно для сублимационной сушки.

Исследование влияния разработанных высокобелковых продуктов, подвергшихся в форме полуфабрикатов различной температурной обработке, на постпрандиальный гликемический ответ у здоровых взрослых добровольцев.

Результаты исследования влияния высокобелковых изделий на основе мучного сырья на постпрандиальный глюкозный ответ у здоровых взрослых добровольцев представлены на рисунках 2-4.

Как видно из данных, представленных на рисунках 2-4, пиковое повышение уровня глюкозы в крови испытуемых добровольцев при потреблении высокобелковых блинов и оладий, замороженных до температуры -10°C , было меньше на 3,8-4,6%; до температуры -18°C – меньше на 4,7-12,3%, чем после потребления свежеприготовленных изделий.

На основании полученных данных произведен расчет ГИ высокобелковых продуктов питания на основе мучного сырья, представленный в таблице 7.

Таким образом установлено, что шоковая заморозка полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий – блинов и оладий – до -18°C , способствует снижению ГИ. За счет заморозки, предположительно за счет образования резистентного крахмала, который способствует меньшему повышению уровня глюкозы в крови, постпрандиальный глюкозный ответ у здоровых добровольцев при употреблении блинов снизился на 7,7%, дополнительно замещение углеводов белком составило 23,2%. В итоге ГИ уменьшился на 30,9% (с 73 до 50). При употреблении оладий постпрандиальный глюкозный ответ у здоровых добровольцев снизился на 12,3%, замещение углеводов белком составило 15,2%. Общее снижение ГИ составило 27,5% (с 73 до 53).

Вероятнее всего замораживание крахмалистой пищи приводит к разрушению структуры крахмала, в результате чего образуется резистентный крахмал, который ведет себя как клетчатка. Это приводит к

более медленному повышению уровня сахара в крови, что может снизить риск развития диабета 2 типа и увеличения веса.

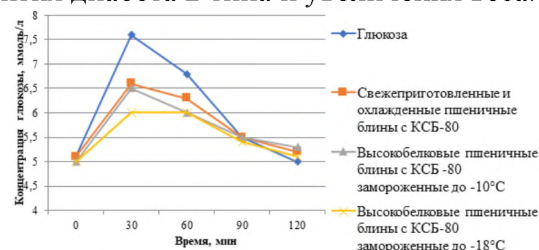


Рис. 2. Изменение уровня глюкозы в крови добровольцев при потреблении высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80, подвергшихся в форме полуфабрикатов низкотемпературной обработке

Fig. 2. Changes in blood glucose levels in volunteers consuming high-protein wheat pancakes with WBC-80, subjected to low-temperature processing in the form of semi-finished products

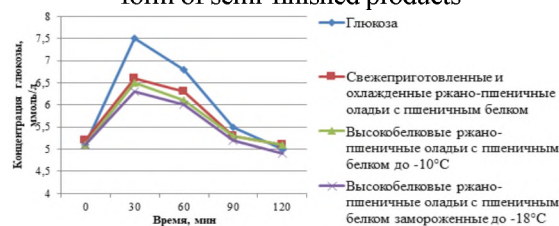


Рис. 3. Изменение уровня глюкозы в крови добровольцев при потреблении высокобелковых пшеничных блинов с КСБ-80 и пшеничным белком, подвергшихся в форме полуфабрикатов низкотемпературной обработке

Fig. 3. Changes in blood glucose levels in volunteers consuming high-protein wheat pancakes with WPC-80 and wheat protein, subjected to low-temperature processing in the form of semi-finished products

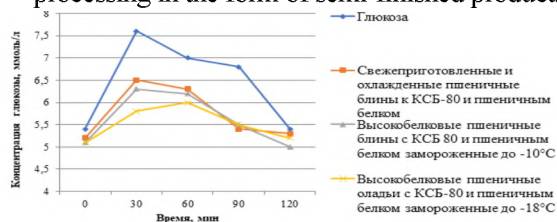


Рис. 4. Изменение уровня глюкозы в крови добровольцев при потреблении высокобелковых ржано-пшеничных оладий с пшеничным белком, подвергшихся в форме полуфабрикатов низкотемпературной обработке

Fig. 4. Changes in blood glucose levels in volunteers after consumption of high-protein rye-wheat pancakes with wheat protein, processed at low temperatures in the form of semi-finished products

Основой для создания высокобелковых мучных продуктов (блинов и оладий) был анализ качественных характеристик и подбор доступных на рынке типов муки. В качестве наиболее интересных и перспективных можно выделить ржаную муку [28-30] и гречневую муку [31-33].

Ржаная мука в настоящее время является второй после пшеничной муки по частоте использования в пищевой промышленности. Использование данного вида муки представляет собой большой интерес из-за ее более высоких питательных качеств по сравнению с пшеничной, а именно: высокого содержания лизина, пищевых волокон, арабиноксилана, β -глюкана, витаминов (α -токоферола, витаминов группы В), минералов (кальция, магния, железа), фенольных кислот, алкилрезорцинов (фенольных липидов) и стерина, которые способны оказывать положительное влияние на здоровье человека [28-30].

Гречневая мука в своем составе содержит большое количество необходимых для человеческого организма витаминов и минералов, совершенно не содержит глютена, является важным источником растительного сбалансированного по аминокислотному составу белка с высоким уровнем незаменимых аминокислот (лизина, валина и лейцина), а также является ценным источником витаминов (группы В, витаминов Р и РР), минеральных веществ (магния, цинка, железа, калия), пищевых волокон (пектина и лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы), что в совокупности позволяет оказывать на организм человека оздоравливающий и детоксикационный эффект – положительно влиять на сосудистую систему, укреплять капилляры, способствовать правильной работе печени, помогать выведению токсинов и снижать количество холестерина в крови [31-33].

В современной технологии и науке известны РКЗ – ретроградируемый крахмал в форме нерастворимого в воде крахмального клейстера полукристаллической структуры

[34, 35]. При образовании этого типа, длинно-разветвленные цепи амилопектина образуют двойные спирали, которые не могут гидролизироваться пищеварительными ферментами. Он содержится в подверженных тепловой обработке с последующим охлаждением испеченном хлебе, кукурузных хлопьях, отваренном картофеле, макаронных изделиях. Действие на нативный крахмал перепада температур приводит к возникновению структуры крахмала устойчивой к действию амилолитических ферментов, т.е. к ретроградирации крахмального клейстера [36].

Таблица 7. ГИ высокобелковых блинов и оладий при различной низкотемпературной обработке их полуфабрикатов

Table 7. GI of high-protein pancakes and fluffy pancakes with different low-temperature processing of their semi-finished products

Наименование образца	Площадь под кривой изменения сахара в крови после употребления пищевого продукта (IAUC)	ГИ
1. Высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80		
Контроль (глюкоза)	142	100
Свежеприготовленные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80	103	73
Замороженные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 до температуры -10°C	92	65
Замороженные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 до температуры -18°C	86	60
2. Высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком		
Контроль (глюкоза)	135	100
Свежеприготовленные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком	94	70
Замороженные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком до температуры -10°C	91	67
Замороженные высокобелковые пшеничные блины с КСБ-80 и пшеничным белком до температуры -18°C	78	57
3. Ржано-пшеничные оладьи с пшеничным белком		
Контроль (глюкоза)	142	100
Свежеприготовленные высокобелковые ржано-пшеничные оладьи с пшеничным белком	91	64
Замороженные высокобелковые ржано-пшеничные оладьи с пшеничным белком до температуры -10°C	84	59
Замороженные высокобелковые ржано-пшеничные оладьи с пшеничным белком до температуры -18°C	73	51

Колебания в высокобелковых мучных продуктах (блинах и оладьях) массовой

доли белка, массовой доли жира, массовой доли клетчатки и массовой доли углеводов (табл. 6), а также изменения ГИ (табл. 7) могут быть связаны с процессами трансформации химических веществ, происходящими при температурной обработке (жарке, охлаждении, замораживании и разогревании) в продуктах питания [37, 38]:

- денатурации белка;
- реакции меланоидинообразования.

Денатурация белка, реакция меланоидинообразования (сахаро-аминная реакция, или реакция Майяра) способны влиять на уровень веществ с аминогруппой (аминокислот, белков и т.п.) и восстанавливающих сахаров (моносахаридов, дисахаридов, полисахаридов: крахмала и т.д.), понижая их. Кроме этого, процесс денатурации белка и реакция меланоидинообразования влияют на конформацию молекул и обуславливают появления резистентных к действию ферментов веществ, в особенности, крахмала.

Анализ смоделированных нами рабочих рецептур высокобелковых мучных изделий (блинов и оладий) с подобранными режимами замораживания с целью понижения ГИ готовой продукции позволяет в равной степени отнести данные пищевые продукты как к продуктам здорового питания, так и к продуктам спортивного питания [1–10]. Добавление в состав блинов и оладий протеинов различного происхождения (животного и растительного) будет способствовать оптимизации химического состава пищевых рационов людей, а высококачественные белки, содержащие все незаменимые аминокислоты, будут обеспечивать полноценный биосинтез белка в человеческом организме.

Благодаря наличию большого количества белка в рационе, увеличивается его пищевая плотность, что положительно влияет на обмен веществ, иммунитет и общую сопротивляемость организма к инфекциям, улучшит пищеварение и будет способствовать повышению физической активности и качества жизни. Учитывая

многообразие функций и биологических эффектов белка и его составляющих – аминокислот, белки будут способствовать снижению жировой массы тела, стимуляции роста мышц, а также поддержанию здоровья и физической формы. Использование в пищу продуктов с пониженным гликемическим индексом является очень важным условием для поддержания здоровья, в том числе для контроля веса тела.

Заключение. Анализ доступной литературы показывает, что для современного российского и белорусского пищевых рынков актуальными и перспективными являются высокобелковые традиционные для славянской кухни мучные изделия – блины и оладьи, которые позволили бы частично осуществить импортозамещение имеющихся в наших странах зарубежных дорогостоящих продуктов спортивного питания.

В результате проведенного исследования поставленная цель – исследовать влияние режимов температурной обработки полуфабрикатов высокобелковых мучных изделий на ГИ готовых продуктов спортивного питания – была достигнута:

- разработанные с применением математического моделирования высокобелковые блины и оладьи обладают улучшенными органолептическими и физико-химическими характеристиками, а также содержат белка не менее 15–20% в пересчете на сухое вещество;

- в процессе проведенных исследований на здоровых добровольцах было установлено, что при шоковой заморозке полуфабрикатов мучных изделий до -18°C ГИ снижался у добровольцев, употребивших блины на 7,7%, а при употреблении оладий на 12,3%;

- полученные высокобелковые блины и оладьи могут быть рекомендованы в качестве импортозамещающих продуктов питания для спортсменов-профессионалов, а также для людей, занимающихся спортом и ведущих активный здоровый образ жизни;

– изменения массовой доли белка, жира, клетчатки и углеводов, а также ГИ в готовых изделиях, возможно, связаны с процессами трансформации химических веществ, проис-

ходящими при температурной обработке (жарке, охлаждении, замораживании и разогревании), а также в результате денатурации белка и реакции меланоидинообразования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Development of Low Glycemic Index Pancakes Formulated with Canary Seed (*Phalaris Canariensis*) Flour / F. Escalante-Figueroa [et al.] // *Plant Foods Human Nutrition*. 2024. Vol. 79. P. 120-126. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01138-7>.
2. Oat-Based Foods: Chemical Constituents, Glycemic Index, and the Effect of Processing / K. Zhang [et al.] // *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 1304. <https://doi.org/10.3390/foods10061304>.
3. Специализированный продукт для спортивного питания / Ю.А. Синявский [и др.] // *Вестник Алматинского технологического университета*. 2024. № 1. С. 161–172. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-161-172>.
4. Новокшанова А.Л. Разработка научных принципов создания продуктов спортивного питания на основе молочного сырья: специальность 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания»: дис. ... на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. М., 2019. 487 с.
5. Разработка продукта для спортивного питания / Т.А. Яркова [и др.] // *Индустрия питания*. 2021. Т. 6, № 2. С. 75-83. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-9>.
6. Николаева М.А., Худяков М.С., Худякова О.Д. Классификация продуктов спортивного питания в России и за рубежом // *Пищевая индустрия*. 2019. Т. 40, № 2. С. 48-51. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10006>.
7. Доронина О.К., Кулага Е.Н. Современные стратегии спортивного питания (обзорная статья) // *Человек. Спорт. Медицина*. 2022. 22 (S2). С. 131-138. <https://doi.org/10.14529/hsm22s217>.
8. Чуб О.П. Разработка оптимальной рецептуры блюд для спортивного питания с использованием математического моделирования // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2020. № 4. С. 15-21. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10077>.
9. Евсюкова А.О. Анализ научных разработок в области функциональных напитков для спортивного питания на основе патентных баз данных // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2020. № 5/6 (377/378). С. 20-24. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.4>.
10. Гаврилова Н.Б., Щетинин М.П., Молибога Е.А. Современное состояние и перспективы развития производства специализированных продуктов для питания спортсменов // *Вопросы питания*. 2017. Т. 86, № 2. С. 23-31.
11. Колеман Э. Питание для выносливости. Мурманск: Тулома, 2005. 192 с.
12. Макгрегор Р. Спортивное питание: что есть до, во время и после тренировок. М.: Альпина Паблишер, 2016. 304 с.
13. ВОЗ (31.08.2018). Здоровое питание [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.
14. Росляков Ю.Ф., Вершинина О.Л., Гончар В.В. Перспективные исследования хлебобулочных изделий функционального назначения // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2010. № 1. С. 123-124.
15. Обзор разработок мучных изделий для безглютенового и геродиетического питания / И.М. Жаркова [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81, № 1 (79). С. 213-217.

16. Росляков Ю.Ф., Вершинина О.Л., Гончар В.В. Хлебобулочные, макаронные и кондитерские изделия нового поколения: учебное пособие. 2-е изд. переработ. и доп. Краснодар: КубГТУ, 2014. 188 с.
17. Гончар В.В., Вершинина О.Л., Росляков Ю.Ф. Использование порошка из клубней топинамбура в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий // Хлебопродукты. 2013. № 10. С. 46–47.
18. Hattie H.N. Wright The glycaemic index and sports nutrition // South African Journal of Clinical Nutrition. 2005. Vol. 18 (3). P. 22-228. <https://doi.org/10.1080/16070658.2005.11734071>.
19. Похлёбкин В.В. Блины (Русская кухня). Национальные кухни наших народов. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1983. 304 с.
20. Похлёбкин В.В. Блины. Кулинарный словарь. М.: Э, 2015. 456 с.
21. Ковалёв Н.И. Блины, блинчики, оладьи. Блюда русского стола / Н.И. Ковалёв. СПб.: Лен-издат, 1995. 317 с.
22. Лутовинова И.С. Блин. Слово о пище русской. СПб.: Авалон, 2005. 288 с.
23. Сокольский И. У них на масленице жирной водились русские блины // Наука и жизнь. 2014. № 2. С. 108-113.
24. Дьяконов В.П. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. 2-е изд., переработанное и дополненное (библиотека профессионала). М.: СОЛОН-Пресс, 2008. 800 с.
25. A glycaemic index compendium of non-western foods / J.H. Christiani [et al.] // Nutrition & Diabetes. 2021. Vol. 11, No. 2. P. 1021-1023. <https://doi.org/10.1038/s41387-020-00145-w>.
26. American Diabetes Association. Glycemic Targets: Standards of Medical Care in Diabetes – 2021 // Diabetes Care. 2021. Vol. 44, No. 1. P. S73-S84. <https://doi.org/10.2337/dc21-S006>.
27. Accu-Chek® Active. Internet information. – 2024 [Electronic resource]. URL: <https://www.accu-chekcac.com/en/meter-systems/active>.
28. Andlauer W., Furst P. Antioxidative power of phytochemicals with special reference to cereals // Cereal Foods World. 1998. Vol. 43, No. 5. P. 356-360.
29. Brennan C.S., Cleary L.J. The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-d-glucans as functional food ingredients // Journal of Cereal Science. 2005. Vol. 42, No. 1. P. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.01.002>.
30. Effect of rye bread breakfasts on subjective hunger and satiety: a randomized controlled trial / H. Isaksson [et al.] // Journal of Nutrition. 2009. Vol. 26. P. 8-39. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-8-39>.
31. Гаврилова О.М. Сохранение свежести хлеба из смеси пшеничной и гречневой муки / О.М. Гаврилова [и др.] // Хлебопечение России. 2008. № 3. С. 18-20.
32. Гаврилова О.М., Матвеева И.В., Вакуленчик П.И. Приготовление хлеба с использованием гречневой муки // Хлебопечение России. 2007. № 3. С. 14-16.
33. Beneficial phytochemicals in potato – a review / R. Ezekiel [et al.] // Food Research International. 2013. Vol. 50, No. 2. P. 487-496. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.04.025>.
34. Sharma A., Yadav B.S. Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications // Food Reviews International. Ritika. 2008. Vol. 24, No. 2. P. 193-234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.
35. Effect of freeze-thaw treatment and pullulanase debranching on the structural properties and digestibility of starch-glycerol-monostearin complexes of lotus seeds / Dongkun Tu [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 177. P. 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.168>.
36. Литвяк В.В. Крахмал и крахмалопродукты: монография / В.В. Литвяк [и др.]. Краснодар: КубГТУ, 2013. 204 с.
37. Атлас: иерархическая структура белковых веществ / В.В. Литвяк [и др.]. М.: ФЛИНТА, 2023. 297 с. ISBN 978-5-9765-5238-8.
38. Хлеб: технологии и рецептуры народов мира: монография / Ю.Ф. Росляков [и др.]. Краснодар: КубГТУ, 2022. 375 с.

REFERENCES

1. Development of low glycemic index pancakes formulated with canary seed (*Phalaris Canariensis*) Flour / F. Escalante-Figueroa [et al.] // *Plant Foods Human Nutrition*. 2024. Vol. 79. P. 120-126. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01138-7>.
2. Oat-Based Foods: Chemical Constituents, Glycemic Index, and the Effect of Processing / K. Zhang [et al.] // *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 1304. <https://doi.org/10.3390/foods10061304>.
3. Specialized product for sports nutrition / Yu.A. Sinyavsky [et al.] // *Bulletin of Almaty Technological University*. 2024. Issue 1. P. 161–172. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-161-172>. [In Russ.]
4. Novokshanova, A.L. Development of scientific principles for the creation of sports nutrition products based on dairy raw materials: specialty 05.18.15 “Technology and commodity science of food products for functional and specialized purposes and public catering”: dis. ... for the degree of Dr Sci. (Eng). Moscow, 2019. 487 p. [In Russ.]
5. Development of a product for sports nutrition / T.A. Yarkova [et al.] // *Food Industry*. 2021. Vol. 6, Issue 2. P. 75–83. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-9>. [In Russ.]
6. Nikolaeva, M.A., Khudyakov, M.S., Khudyakova, O.D. Classification of sport nutrition products in Russia and abroad // *Food industry*. 2019. Vol. 40, Issue 2. P. 48-51. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10006>. [In Russ.]
7. Doronina, O.K., Kulaga, E.N. Modern strategies of sport nutrition (review article) // *Man. Sport. Medicine*. 2022. 22 (S2). P. 131-138. <https://doi.org/10.14529/hsm22s217>. [In Russ.]
8. Choob, O.P. Development of an optimal recipe for sports nutrition dishes using mathematical modeling // *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2020. Issue 4. P. 15-21. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10077>. [In Russ.]
9. Evsyukova, A.O. Analysis of scientific developments in the field of functional drinks for sports nutrition based on patent databases // *News of higher educational institutions. Food technology*. 2020. Issue 5/6 (377/378). P. 20-24. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.4>. [In Russ.]
10. Gavrilova, N.B., Shchetinin, M.P., Moliboga, E.A. Current status and development prospects for the production of specialized products for athletes' nutrition // *Nutrition Issues*. 2017. Vol. 86, Issue 2. P. 23-31. [In Russ.]
11. Coleman, E. *Nutrition for Endurance*. Murmansk: Tuloma, 2005. 192 p. [In Russ.]
12. McGregor, R. *Sports nutrition: what to eat before, during, and after training*. Moscow: Alpina Publisher, 2016. 304 p. [In Russ.]
13. WHO (31.08.2018). *Healthy nutrition* [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>. [In Russ.]
14. Roslyakov, Yu.F., Vershinina, O.L., Gonchar, V.V. Promising research of functional bakery products // *News of Universities. Food Technology*. 2010. Issue 1. P. 123-124. [In Russ.]
15. Review of the development of flour products for gluten-free and gluten-free nutrition / I.M. Zharkova [et al.] // *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. Vol. 81, Issue 1 (79). P. 213-217. [In Russ.]
16. Roslyakov, Yu.F., Vershinina, O.L., Gonchar, V.V. New generation bakery, pasta, and confectionery products: a study guide. 2nd rev. and add. Krasnodar: KubSTU, 2014. 188 p. [In Russ.]
17. Gonchar, V.V., Vershinina, O.L., Roslyakov, Yu.F. Use of Jerusalem artichoke tuber powder in bakery and flour confectionery technology // *Khleboprodukty*. 2013. Issue 10. P. 46–47. [In Russ.]
18. Hattie H.N. Wright The glycaemic index and sports nutrition // *South African Journal of Clinical Nutrition*. 2005. Vol. 18 (3). pp. 22–228. <https://doi.org/10.1080/16070658.2005.11734071>.
19. Pokhlebkina, V.V. *Pancakes (Russian cuisine). National cuisines of our peoples*. Moscow: Light and food industry, 1983. 304 p. [In Russ.]
20. Pokhlebkina, V.V. *Pancakes*. Culinary Dictionary. Moscow: E, 2015. 456 p. [In Russ.]
21. Kovalev, N.I. *Pancakes, Blinchiki, Olad'i. Dishes of the Russian Table* / N.I. Kovalev. St. Petersburg: Lenizdat, 1995. 317 p. [In Russ.]
22. Lutovinova, I.S. *Pancake. A Word about Russian Food*. St. Petersburg: Avalon, 2005. 288 p. [In Russ.]
23. Sokolsky, I. They had russian pancakes at Maslenitsa // *Science and Life*. 2014. Issue 2. P. 108-113.

24. Dyakonov, V.P. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Basics of Application. 2nd ed., revised and supplemented (professional library). Moscow: SOLON-Press, 2008. 800 p. [In Russ.]
25. A glycaemic index compendium of non-Western foods / J.H. Christiani [et al.] // Nutrition & Diabetes. 2021. Vol. 11, No. 2. P. 1021-1023. <https://doi.org/10.1038/s41387-020-00145-w>.
26. American Diabetes Association. Glycemic Targets: Standards of Medical Care in Diabetes – 2021 // Diabetes Care. 2021. Vol. 44, No. 1. P. S73-S84. <https://doi.org/10.2337/dc21-S006>.
27. Accu-Chek® Active. Internet information. – 2024 [Electronic resource]. URL: <https://www.accu-chekcac.com/en/meter-systems/active>.
28. Andlauer W., Furst P. Antioxidative power of phytochemicals with special reference to cereals // Cereal Foods World. 1998. Vol. 43, No. 5. P. 356-360.
29. Brennan C.S., Cleary L.J. The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-d-glucans as functional food ingredients // Journal of Cereal Science. 2005. Vol. 42, No. 1, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.01.002>.
30. Effect of rye bread breakfasts on subjective hunger and satiety: a randomized controlled trial / H. Isaksson [et al.] // Journal of Nutrition. 2009. Vol. 26, pp. 8–39. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-8-39>.
31. Gavrilova, O. M. Freshness preservation of bread made from a mixture of wheat and buckwheat flour / O. M. Gavrilova [et al.] // Bread Baking of Russia. 2008. Issue 3. P. 18–20. [In Russ.]
32. Gavrilova, O.M., Matveeva, I.V., Vakulenchik, P.I. Bread production using buckwheat flour // Bread Baking of Russia. 2007. Issue 3. P. 14-16. [In Russ.]
33. Beneficial phytochemicals in potato – a review / R. Ezekiel [et al.] // Food Research International. 2013. Vol. 50, Issue 2. P. 487-496. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.04.025>.
34. Sharma A., Yadav B.S. Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications // Food Reviews International. Ritika. 2008. Vol. 24, No. 2. pp. 193-234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.
35. Effect of freeze-thaw treatment and pullulanase debranching on the structural properties and digestibility of starch-glycerol-monostearin complexes of lotus seeds / Dongkun Tu [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 177. P. 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.168>.
36. Litvyak V.V. Starch and starch products: a monograph / V.V. Litvyak [et al.]. Krasnodar: KubSTU, 2013. 204 p. [In Russ.]
37. Atlas: hierarchical structure of protein substances / V.V. Litvyak [et al.]. M.: FLINTA, 2023. 297 p. ISBN 978-5-9765-5238-8. [In Russ.]
38. Bread: technologies and recipes of the peoples of the world: a monograph / Yu.F. Roslyakov [et al.]. Krasnodar: KubSTU, 2022. 375 p. [In Russ.]

Информация об авторах / Information about the authors

Шилов Валерий Викентьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии, «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета; 220070, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Долгобродская, д. 23/1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2716-4182>, e-mail: valery.shilov@gmail.com

Литвяк Владимир Владимирович, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»; 140051, Российская Федерация, пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., ул. Некрасова, д. 11, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1456-9586>, e-mail: besserk1974@mail.ru

Журня Анна Александровна, кандидат технических наук, начальник отдела питания, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; 220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, д. 29, e-mail: nurka8899@mail.ru

Росляков Юрий Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет»; 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>, e-mail: lizaveta_ros@mail.ru

Окулова Татьяна Витальевна, научный сотрудник отдела питания, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; 220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29, e-mail: okulowa147@mail.ru

Valery V. Shilov, PhD (Biol.), Associate Professor, the Department of Environmental Medicine and Radiobiology, A.D. Sakharov International State Ecological Institute, the Belarusian State University; 220070, the Republic of Belarus, Minsk, 23/1 Dolgobrodskaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2716-4182>, e-mail: valery.shilov@gmail.com

Vladimir V. Litvyak, Dr Sci. (Eng.), PhD (Chem.), Associate Professor, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials named after A.G. Lorkh; 140051, the Russian Federation, village Kraskovo, the Lyubertsy district, the Moscow region, 11 Nekrasov str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1456-9586>, e-mail: besserk1974@mail.ru, vniik@arrisp.ru

Anna A. Zhurnya, PhD (Eng.), Head of the Nutrition Department Scientific and Practical Center for Food of the National Academy of Sciences of Belarus; 220037, the Republic of Belarus, Minsk, 29 Kozlov St., e-mail: nurka8899@mail.ru

Yuri F. Roslyakov, Dr Sci. (Eng.), Professor, the Department of Food Engineering, Kuban State Technological University; 350072, the Russian Federation, Krasnodar, 2 Moskovskaya St., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>, e-mail: lizaveta_ros@mail.ru

Tatiana V. Okulova, Researcher, the Nutrition Department, Scientific and Practical Center for Food of the National Academy of Sciences of Belarus; 220037, the Republic of Belarus, Minsk 29 Kozlov St., e-mail: okulowa147@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в написании настоящей статьи.

Шилов Валерий Викентьевич – предложил тему исследования, осуществлял подбор методов исследования, контролировал проведение эксперимента и редактировал статью.

Литвяк Владимир Владимирович – проводил литературный поиск, редактировал и оформлял окончательный вариант статьи.

Журня Анна Александровна – проводила эксперимент, проводила статистическую обработку полученных данных, осуществляла первичное написание статьи.

Росляков Юрий Федорович – редактировал окончательный вариант статьи.

Окулова Татьяна Витальевна – участвовала в проведении эксперимента.

Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Claimed contribution of the authors

All authors of the research were directly involved in writing the article.

Valery V. Shilov – the research topic, selection of the research methods, supervising the experiment, and editing the article.

Vladimir V. Litvyak – the literature search, edition, and forming the final version of the article.

Anna A. Zhurnya – conducting the experiment, processing the obtained data, and writing the article.

Yury F. Roslyakov – editing the final version of the article.

Tatyana V. Okulova – participating in the experiment.

All authors of the article have reviewed and approved the submitted final version.

Поступила в редакцию 08.09.2025

Поступила после рецензирования 12.10.2025

Принята к публикации 14.10.2025

Received 08.09.2025

Revised 12.10.2025

Accepted 14.10.2025