

Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей

А.Т. Васюкова¹, И.У. Кусова¹, А.В. Мошкин²

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² ООО «СторХан»

Корреспонденция:

Васюкова Анна Тимофеевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 23.09.2024

Поступила после
рецензирования: 15.12.2024

Принята: 17.12.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование богатых белком бобовых культур совместно с зерновым сырьем и пряностями, обладающими повышенной биологической ценностью, позволяет обогатить продукты биодоступными антиоксидантами фенольной природы и сбалансировать аминокислотный состав. Полученные сухие функциональные смеси будут воздействовать на основные физиологические процессы организма и укреплять иммунитет.

Цель. Выявить взаимосвязь сухих функциональных смесей, их свойств от физико-химических показателей зернобобового сырья, а также влияние СФС на качество мучных кулинарных изделий. Объекты исследования: сырье, сухие функциональные смеси, помольные партии, свойства, мучные кулинарные изделия.

Материалы и методы. В работе использованы стандартные методы исследований. Использован микрометр для определения геометрических показателей зерна; набор сит при расसेве измельченных мучных компонентов и установлении гранулометрического состава; определение показателей качества зерна и полученной муки по ГОСТ 10840-64; ГОСТ 10987-76; ГОСТ 13586.5-93 и ГОСТ 8.434-81. Для исследований использовано сырье 2024 года. Зерновые и бобовые культуры выращены в Ростовской и Московской области.

Результаты. Определены функционально-технологические свойства сухих функциональных смесей (СФС): гранулометрический состав, степень измельчения; физико-химические показатели зернобобового сырья: геометрические параметры, форма зерновки. Подобраны состав и определена последовательность помола в технологической цепочке получения СФС. Оптимизированы ингредиенты СФС относительно сбалансированного аминокислотного состава. Для смеси 3/ВС-2 они составляют, %: пшено – 24, крупа перловая – 12, чечевица – 26,3, полба – 11, овес – 6, горох – 23, семена кориандра – 0,3, душистый перец – 0,2, а для смеси 4ДС-3 подобраны следующие компоненты: полба – 5, пшено – 24, крупа перловая – 9, рожь – 9, гречиха – 37, горох – 15, душистый перец – 0,2). Степень измельчения СФС 224мкм.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы при производстве мучных кулинарных изделий в предприятиях общественного питания, а также на минипекарнях. Технологические свойства зернобобового сырья являются критериями для выбора схем помола и получения оптимального выхода порошкообразных сухих функциональных смесей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

помольные партии; геометрические размеры; зернобобовое сырье; драные и размольные системы



Для цитирования: Васюкова, А. Т., Кусова, И. У., & Мошкин, А. В. (2024). Исследование физико-химических свойств зернобобового сырья для получения сухих функциональных смесей. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 21–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

Study of Physical and Chemical Properties of Grain Legume Raw Materials for Obtaining Dry Functional Mixtures

Anna T. Vasyukova¹, Irina U. Kusova¹, Aleksandr V. Moshkin²

¹ Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

² LLC "StarKhan"

Correspondence:

Anna T. Vasyukova,

Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia

E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 23.09.2024

Received in revised form: 15.12.2024

Accepted: 17.12.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The use of protein-rich legumes together with grain raw materials and spices with increased biological value allows enriching products with bioavailable phenolic antioxidants and balancing the amino acid composition. The resulting dry functional mixtures will affect the basic physiological processes of the body and strengthen the immune system.

Purpose. To identify the relationship between dry functional mixtures, their properties and the physical and chemical indicators of grain legumes; to analyze raw materials, dry functional mixtures, grinding batches, properties.

Materials and Methods. Physical properties: the linear dimensions of the grains were determined using a micrometer with an accuracy of 0.01 mm; the grain nature was determined according to GOST 10840-64; grain vitreousness according to GOST 10987-76; grain and processed product moisture content according to GOST 13586.5-93 and GOST 8.434-81.

Results. The functional and technological properties of dry functional mixtures (DFM) were determined: granulometric composition, degree of grinding; physicochemical indicators of grain legume raw materials: geometric parameters, grain shape, uniformity in size, saturation of the finished product with biologically active substances. Developed by SPS %: 3BC-2 and 4ДC-3 (buckwheat – 37, peas – 15, millet – 24, pearl barley – 9, spelt – 5, rye – 9, allspice – 0.2). The degree of grinding of SFS is 132 µm. The yield of intermediate products of grinding of the presented two grinding batches of grain legume raw materials on five grain-forming torn and seven grinding systems is fractions of 157-250 µm.

Conclusions. The obtained results can be used in the production of flour culinary products in public catering establishments, as well as in mini-bakeries. The technological properties of grain legume raw materials are the criteria for choosing milling schemes and obtaining the optimal yield of powdered dry functional mixtures.

KEYWORDS

grinding batches; geometric dimensions; grain legume raw materials; break and grinding systems



To cite: Vasyukova, A. T., Kusova, I. U., & Moshkin, A. V (2024). Study of physical and chemical properties of grain legume raw materials for obtaining dry functional mixtures. *Health, Food & Biotechnology*, 6(3), 21–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s233>

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к использованию в пищевых технологиях сырья с повышенной пищевой ценностью постоянно активизируется учеными и промышленностью. Важным аспектом того, что цельнозерновые и зернобобовые продукты обладают функциональными свойствами (Божко и соавт., 2020), является повышенное содержание в них полифенольных соединений, особенно флавоноидов, а также антиоксидантных свойств. Данные характеристики сырья целесообразно использовать при разработке зерномучных смесей, специализированного питания для спортсменов, включать в рационы людей с неинфекционными заболеваниями (Dhital et al., 2016; Graham et al., 2004; Hou et al., 2019; Jonnalagadda et al., 2010). Широкий ассортимент бобовых в виде сырья (крупы, мука, сухие смеси) и продуктов их переработки (пасты, пюре) представлен на российском и международном рынке, которые являются функциональными компонентами для продуктов длительного хранения (Jeong et al., 2018; Taranathan & Mahadevamma, 2003). Такие же предположения относятся и к зерновому сырью: гречихе, полбе, ржи, ячменю и овсу. Поэтому зерновые и бобовые в последнее время привлекают все больше внимания в качестве основного и дополнительного сырья, или биологически активных добавок (Глаголева и соавт., 2022).

Выпускаемые промышленным способом продукты массового спроса (хлеб, макаронные изделия, крупяные блюда) в основном имеют дефицит по лизину, они содержат много глюкозы и крахмала, а также загустителей, ароматизаторов, структурообразователей, позволяющих получить при варке мягкие и рыхлые лапшу или макароны, но в тоже время бедных на такие нутриенты, как белок, витамины, антиоксиданты, пищевые волокна. Отмечен дефицит сбалансированного аминокислотного состава и биологически активных веществ, потери которых в основном связаны с усовершенствованием производства и кулинарной обработки (Thakur, 2019; Meng et al., 2019).

Повысить пищевую ценность мучных и хлебобулочных изделий можно за счет использования в качестве ингредиентов бобовых культур. Например, горох повсеместно используется в технологиях приготовления супов, пюреобразных продуктов в разных азиатских странах (Nair et al., 2013). Известны популярные технологии использования бобовых культур при изготовлении мучных кулинарных изделий, которые обогащены резистентным крахмалом, полифенолами и антиоксидантами (Hou et al., 2019). Но наряду с его положительными качественными показателями (превосходит остальные культуры по отдельным аминокислотам) (Liu et al., 2018), он, как

и остальные бобовые, угнетает деятельность ЖКТ, вызывая метеоризм, газообразование за счет большого содержания клетчатки и сахаров, которые медленно перевариваются. Лектин и фитиновая кислота, содержащиеся в бобовых даже в незначительных количествах, вызывает, рвоту и тошноту. Поэтому использование бобовых возможно при определенных технологических режимах (гидротермическая обработка), что приводит к инактивации данных раздражителей ЖКТ. Возможны также и другие способы, позволяющие более эффективно применять бобовые в кулинарии. Для получения более дисперсных фракций муки, использовались некоторые методы обработки, такие как проращивание (Shi et al., 2016), экструзия (Meng et al., 2019) и обычное измельчение (Zhang et al., 2019).

Наряду с горохом, чечевица входит в комбинированные смеси для изготовления хлебобулочных изделий профилактической направленности (Чижикина и соавт., 2017). Ее семена отличаются повышенной концентрацией белка, Са и Mg, витаминами (β-каротин, РР, В₁, В₂, В₆) и пищевыми волокнами. В отличие от гороха и других бобовых вкус чечевицы более мягкий. Чечевица имеет приятную ароматную вкусовую гамму с пряными нотками, немного напоминающими фасоль. Это позволяет использовать данную бобовую культуру в широком спектре пищевых технологий.

Известна поликомпонентная пищевая добавка в десертные блюда (мусс), в которой полезные ингредиенты овощной фасоли используются в составе продукта, в виде структурообразователя, получаемого путем обработки смеси стручков овощной фасоли с зерном пшеницы (Куручкин & Новикова, 2023).

Одним из основных ингредиентов для диетических хлебобулочных продуктов выступает гречка (Косован и соавт., 2011). Поскольку содержание клейковины в гречневой муке невелико, поэтому она не используется в качестве основного компонента для приготовления хлебобулочных смесей и хлебобулочных изделий на их основе.

Полба — зерновая культура, из которой готовят каши (Санжаровская & Галинский, 2024)¹. Особенности ее качественных показателей связаны с агротехнологией: засухостойкостью, выращиванию на любых почвах. Она стабильна к различным болезням и стрессам (Санжаровская и соавт., 2018). Применение ее в качестве ингредиента для СФС может быть перспективно.

Многокомпонентные смеси используются не только для приготовления мучных кулинарных и хлебобулочных

¹ Санжаровская, Н. С., & Галинский, А. В. (2024). *Перспективы использования муки из зерна полбы в хлебопечении*. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. <http://rep.bsatu.by/bitstream/doc/18850/1/Sanzharovskaya-N-S-Perspektivy-ispolzovaniya-muki-iz-zerna-polby-v-hlebopechenii.pdf> Дата обращения 21.09.2024.

изделий, но и в кашах, сухих завтраках. Так, в качестве зерновых хлопьев применяют пшенные и рисовые хлопья, а в качестве растительного комплекса — смесь, включающую муку льняную, порошок моркови, кусочки сушеной тыквы и петрушку сушеную (Текутьева и соавт., 2015).

Для ведения технологического процесса производства мучных кулинарных изделий важным является создание структуры, тактильных свойств с выраженным флейвором, свойственным данной группе пищевых продуктов.

Для замены всех сухих компонентов сырьевого набора или части муки из злаков для мучных и хлебобулочных продуктов с целью придания, им полезных свойств бобового или нетрадиционного зернового сырья требуется отличная смешиваемость данных ингредиентов у получаемой мучной композиции (Муратбаев и соавт., 2015a). Помол является основным и широко используемым методом, который может в большей степени регулировать степень измельчения сырья и позволяет хорошо смешивать полученные ингредиенты (Meng et al., 2019; Муратбаев и соавт., 2015b). Уменьшение размера частичек измельченной в муку зерновой смеси является основной операцией процесса в различных отраслях промышленности и значительно влияет на химический состав (содержание золы, пищевых волокон, белка и крахмала) (Муратбаев и соавт., 2015b), а также на питательные, функциональные и технологические свойства (Boukid et al., 2019). Однако не всегда измельчаемое сырье имеет требуемые мукомольные характеристики и полученная мука (мучная смесь) обладает хлебопекарными свойствами.

Существует три основных метода помола: мокрый, полусухой и сухой помол. Из-за высоких затрат и экологических проблем часто используется метод сухого помола, а обычное оборудование для помола включает шаровые, молотковые, штифтовые, лопастные и струйные мельницы (Mahasukhonthachat et al., 2009). Различные типы мельниц и методы помола (Постникова и соавт., 2015) значительно влияют на физико-химические и функциональные свойства муки, такие как поврежденный крахмал, содержание полифенолов, набухаемость и качество клейковины (Lazaridou et al., 2018; Rao et al., 2016; Raza et al., 2019; Yu et al., 2018). Это в свою очередь будет иметь различное и не всегда положительное воздействие на качество готовой продукции из измельченного сырья. Кроме того, существующие публикации, связанные с помолом зернобобового сырья, разноречивы, имеют большой процент колебаний выхода муки и отрубей, их степень дисперсности. Недостаточно исследований, связанных с помолом некондиционного сырья.

Инновационные технологии помола сыпучих смесей используются в фармацевтической промышленности

(Lazaridou et al., 2018; Palavecino et al., 2019). Однако в разработке продуктов питания было достигнуто лишь несколько успехов. Вибрационное измельчение представляет собой высокоскоростную технологию измельчения, которая перерабатывает порошок в микрочастицы. Измельчение осуществляется в камере дробления путем резки, измельчения и трения между высокопрочными измельчающими стержнями. Кроме того, оно также имеет преимущества большой производительности помола зернобобового сырья и непрерывного производства. Недавние исследования в области пищевых систем были сосредоточены на измельчении муки из злаков и бобовых с использованием вибрационной мельницы и ее влиянии на свойства микронизированной муки из пророщенного коричневого риса (Lee et al., 2018), рожкового дерева (Tsatsaragkou et al., 2017), ячменя и ржи (Drakos et al., 2017), пшеницы (He et al., 2014; Lazaridou et al., 2018; Yu et al., 2018), copro (Palavecino et al., 2019), овсяных отрубей (Kurnia & Foster, 2018), нута (Raza et al., 2019), льняной муки (Типсина & Селезнева, 2015).

Установлено, полученные геометрические характеристики измельчаемого зерна, реологические и физико-химические показатели полученных муки и растительных порошков представляют интерес для создания многокомпонентной композиции применительно к пищевым системам.

Интересные результаты получены при измельчении зерна струйным диспергатором (Алексеев и соавт., 2017; Романчиков и соавт., 2017). Основным и самым важным требованием при использовании данной технологии является минимальное загрязнение измельчаемого сырья. Получаемые продукты помола — тонкие и сверхтонкие частички за счет высокочастотного удара в противоточной струйной камере (Романчиков и соавт., 2017).

Анализ полученной информации показывает, что созрели предпосылки к комплексной переработке растительных компонентов в существующей безотходной технологии получения специализированных продуктов, совершенному использованию зернового и бобового сырья, получению из него различных видов муки и СФС, что позволит расширить существующие представления о многокомпонентных пищевых системах, обладающих функциональными свойствами.

Однако в этом направлении опубликованы ограниченные исследования о сочетаемости зернового и бобового сырья в составе смеси, влиянии различных методов помола на физико-химические и функциональные свойства муки из маша, нута, риса, ячменя, овса, ржи, семян льна, сорго. Цель данного исследования заключается в выявлении взаимосвязи сухих функциональных смесей, их свойств от физико-химических показателей зернобобового сырья, а также влиянии СФС на качество

мучных кулинарных изделий. Задачи исследования: (1) научно обосновать состав сухой многокомпонентной смеси; (2) подобрать режимы помола и разработать схему измельчения 7–10 компонентов зернобобового сырья и пряно ароматических растений для создания СФС; (3) разработать рецептуры СФС для обогащения мучных кулинарных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

При разработке рецептуры и технологии помола зернобобового сырья и пряно ароматических растений для создания СФС использовалась чечевица, горох, пшено, крупа перловая, полба, рожь, овес, гречиха, семена кориандра и душистый перец в соответствии с действующими нормативными документами: ГОСТ 9353–2016 Пшеница; ГОСТ 34702–2020. Пшеница хлебопекарная; ГОСТ ISO 24333 Зерно и продукты его переработки; СТО 46715365–002–2008. Бобовые (фасоль); ГОСТ 35050–2023. Маш; ГОСТ 7066–2019. Чечевица продовольственная; ГОСТ 5550–2021 Крупа гречневая; ТУ 9294–005–54844059–02. Крупа перловая; ГОСТ 572–2016. Межгосударственный стандарт крупа пшено шлифованное; СТО 21318887–004–2013. Полба, крупа цельнозерновая; ГОСТ Р 70794–2023. Семена овса голозерного; ГОСТ 16990–2017. Рожь (зерно); ГОСТ 29055–91. Пряности. Кориандр (семена); ГОСТ ISO 973–2016. Пряности. Перец душистый; ГОСТ Р 52809–2007. Мука ржаная хлебопекарная; ГОСТ Р 54731–2011. Дрожжи хлебопекарные прессованные; ГОСТ Р 51574–2018. Соль пищевая; СанПин 2.1.4.1074–01. Вода питьевая; ГОСТ 1129–2013. Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное; ГОСТ 33222–2015. Сахар белый.

Объектами исследований являлось сырье урожая 2024 года. Зерновые и бобовые культуры выращены в Ростовской и Московской области.

Свойства объектов исследования определяли по ГОСТ 10840–64; ГОСТ 10987–76; ГОСТ 13586.5–93 и ГОСТ 8.434–81. Аминокислотный состав определяли по МВИ.МН 1363–200. Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (blueberrydry биотика VWD1A, длина волны 254–262 нм). Расчет пищевой ценности хлебобобовых изделий проводили в соответствии с ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» по методике ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности». Технологические

разработки осуществляли на основе ГОСТ 31691–2014 Услуги общественного питания. На основании данного нормативного документа проведена органолептическая оценка разработанных булочек «Триумф».

Математическую обработку выравненности зерна зернобобовых культур (среднее арифметическое, геометрическое и гармоническое, мм) осуществляли по формулам, предложенным Д.В. Лычагиным и О.Б. Переваловой (2008)².

Методом математического моделирования получено 2 варианта рецептур СФС. Разработаны сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2, состоящие из 7–10 компонентов растительного сырья.

Методологической базой послужили труды отечественных ученых (Косован А.П., 2011; Алексеев Г. В., 2017; Романчиков С. А., 2017; Божко С.Д., 2020; Санжаровская Н.С., 2024; Курочкин А.А., 2023 и др.) и зарубежных авторов (Dhital S., 2016; Yu D., 2018; Boukid F., 2019; Hou D., 2019 и др.), а также собственные исследования, проведенные ранее (Васюкова А.Т., Сусликов А.В., 2001; Васюкова А.Т., Пучкова В.Ф., 2007–2010; Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кандроков Р.Х., 2023–2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения максимального выхода муки из многокомпонентной системы надо определить выравненность геометрических размеров зернобобовых культур. В этой связи изучен химический состав и функциональные свойства растительного сырья, произведен анализ и выявлены показатели, являющиеся критериями при формировании помольных партий (Васюкова и соавт., 2001а; Васюкова и соавт., 2001б; Васюкова и соавт., 2002). Установлено, что основным критерием является выравненность зерна или семян по крупности. Высокая выравненность предполагает наличие в партии более 80 % крупных зерен и низкая, в случае от 50 до 60 % этих экземпляров. Выявление указанных критериев позволило обеспечить эффективность измельчения и получить СФС 4/ДС-3 и 3/ВС-2.

Вариационные кривые распределения линейных размеров различных видов зерна показаны на Рисунках 1–3.

Сравнительная характеристика геометрических показателей (длина и ширина, мм) исследуемой партии гороха (нут) приведена на Рисунке 1.

² Лычагин, Д. В., & Перевалова, О. Б. (2008). *Определение размера зерна поликристаллов: методические указания к лабораторной работе*. Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета.

Рисунок 1
Вариационные кривые распределения линейных размеров зерна гороха
Figure 1
Variation Curves of Distribution of Pea Grain Linear Sizes

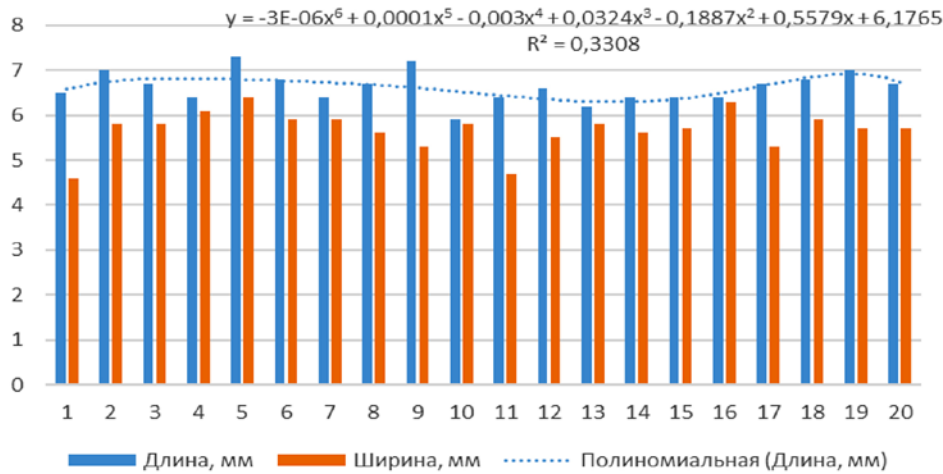
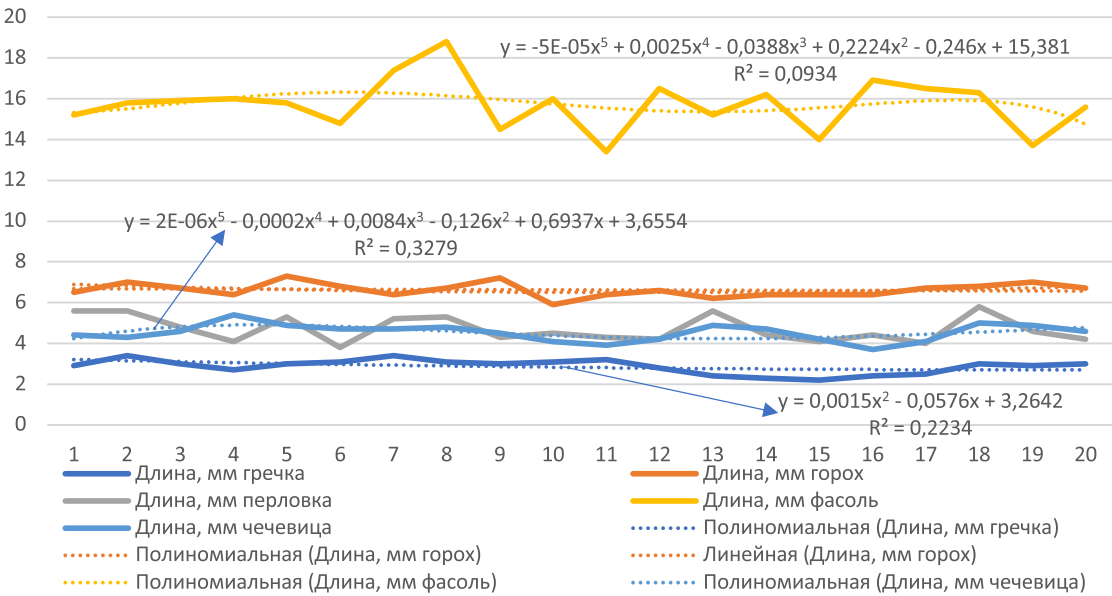


Рисунок 2
Вариационные кривые распределения длины зерна бобовых и зерновых культур: горох, фасоль, чечевица и гречка с перловкой
Figure 2
Variation Curves of Grain Length Distribution of Legumes and Cereal Crops: Peas, Beans, Lentils and Buckwheat with Pearl Barley



Геометрические показатели зерен гороха (длины, мм) писаны следующей математической зависимостью:

$Y = -3E - 0,6x^6 + 0,0001x^5 - 0,003x^4 + 0,0324x^3 - 0,1887x^2 + 0,5579x + 6,1765$

Основываясь на установленной полиномиальной зависимости длины зерен при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3308$ выравнивание все же данного сырья высокая и составляет 85 %.

Для более оперативного исследования полученных результатов замеров геометрических показателей зерновых и бобовых культур и их наглядности приведены графики вариационных кривых распределения отдельно длины зерна бобовых и зерновых культур (Рисунок 2)

и ширины (Рисунок 3) и установлены соответствующие зависимости.

Геометрические показатели зерен фасоли (длины, мм) писаны следующей математической формулой:

$$y = -5E - 0,5x^5 + 0,0025x^4 - 0,0388x^3 + 0,2224x^2 - 0,246x + 15,381,$$

характеризующей полиномиальную зависимость длины зерен фасоли при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,0934$. Полученная математическая зависимость подчеркивает недостаточную выравненность зерен фасоли, которая составляет 63 %. Разброс показателей длины зерен данной культуры находится в пределах от +1,5 до -0,8 относительно среднестатистических данных.

Геометрические показатели зерен чечевицы (длины, мм) писаны следующей математической формулой:

$$y = 2E - 0,6x^5 - 0,0002x^4 + 0,0084x^3 - 0,126x^2 + 0,6937x + 3,6554,$$

характеризующей полиномиальную зависимость длины зерен чечевицы при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3279$. Выравненность данного зерна высокая.

Показатели длины гречки среди зерен исследуемой партии описаны математической зависимостью — полиномиальной:

$$y = 0,0015x^2 - 0,0576x + 3,2642,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,2234$. Выравненность данного зерна высокая.

Полученные зависимости выравненности ширины зерна бобовых и зерновых культур: фасоль, чечевица и гречка с перловкой описаны полиномиальными уравнениями, имеющими следующий вид:

— для фасоли:

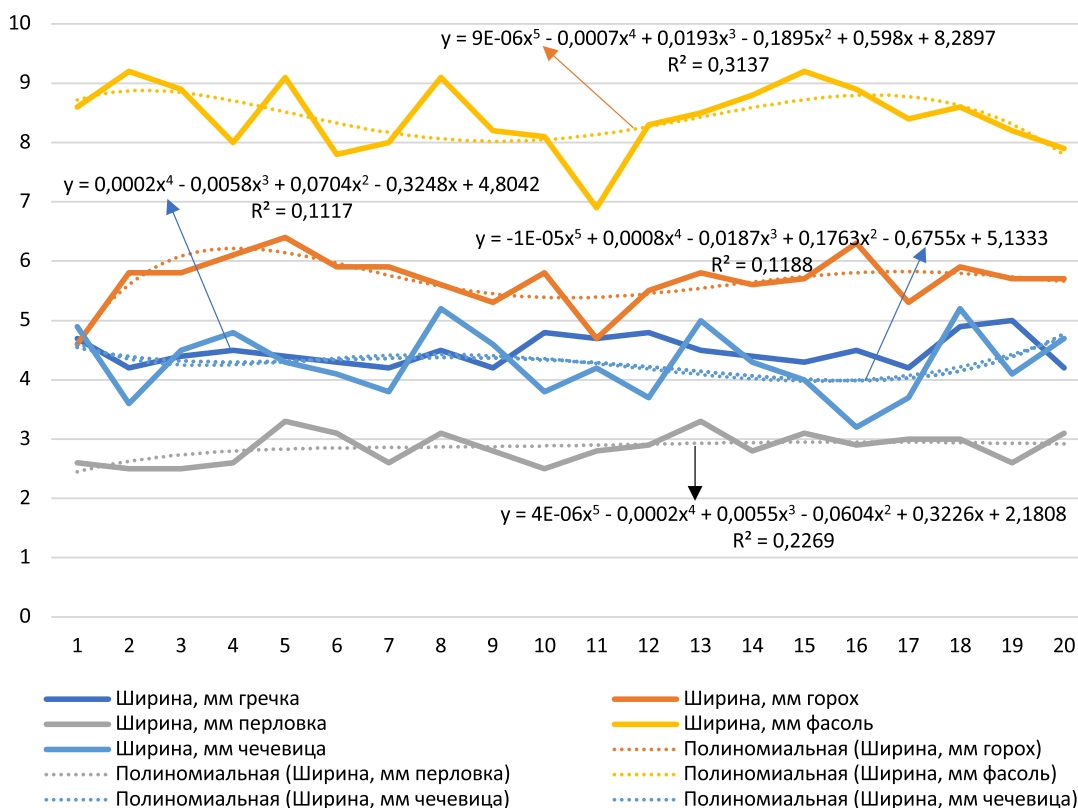
$$y = 9E - 0,6x^5 - 0,0002x^4 + 0,0193x^3 - 0,1895x^2 + 0,598x + 4,8042,$$

Рисунок 3

Вариационные кривые распределения ширины зерна бобовых и зерновых культур: горох, фасоль, чечевица и гречка с перловкой

Figure 3

Variation Curves of Grain Width Distribution of Legumes and Cereal Crops: Peas, Beans, Lentils and Buckwheat with Pearl Barley



при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,3137$.
Выравненность данного зерна высокая.

— для зерен гречки:

$$y = 0,0002x^4 - 0,0058x^3 + 0,0704x^2 - 0,2348x + 8,2897,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,1117$.
Выравненность данного зерна недостаточно высокая.

— для чечевицы:

$$y = -1E - 0,5x^5 + 0,0008x^4 - 0,01878x^3 + 0,1763x^2 - 0,6755x + 5,1333,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,1188$.
Выравненность данного зерна недостаточно высокая.

— для перловки:

$$y = 4E - 0,6x^5 - 0,0004x^4 + 0,0055x^3 - 0,0604x^2 + 0,3226x + 2,1808,$$

при величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,2269$.
Выравненность данного зерна высокая.

Таким образом, динамика изменений длины и ширины зерна видна на основании вариационных кривых, приведенных на Рисунке 1 для гороха и Рисунке 2 и 3 для гречки, перловки, чечевицы, фасоли и для сравнения — гороха. Засушливое лето на юге России сказалось на выравнивании размерных и весовых характеристик используемого сырья. Было в наличии щупло и плохо выполненное зерно (2–4 %), отдельные экземпляры бобовых деформированы, сморщены (1–2 %). Наибольшие отклонения отмечены по длине в исследуемых образцах. Наиболее однородными являются показатели ширины. Это говорит о том, что на разрезе зерно приближается к окружности.

Таким образом, установлено влияние климатических и региональных условий на геометрические размеры внутри вида и между различными культурами.

Оценка размерных характеристик зернобобовых культур приведена в Таблице 1.

Полученные значения отклонений внутри одного вида зерновой или бобовой культуры позволяют установить влияние геометрических размеров на качество муки. Процесс помола показал, что стекловидное ядро зерна, особенно бобовых культур, достаточно прочное и лучше вымалывается, чем с низко стекловидным ядром.

Исследуемые геометрические характеристики и дополняющая их масса 1000 зерен, обосновывают показатель

Таблица 1
Отклонение размеров зерна исследуемых культур от среднего показателя данного сорта

Вид математического отклонения	Наименование образцов	
	гречка	горох (нут)
	отклонения по длине	
Среднее арифметическое, мм	4,60 ± 0,01	6,61 ± 0,04
Среднее геометрическое, мм	5,04 ± 0,07	6,56 ± 0,10
Среднее гармоническое, мм	4,57 ± 0,03	6,51 ± 0,02
	отклонения по ширине	
	Среднее арифметическое, мм	2,80 ± 0,02
	Среднее геометрическое, мм	2,73 ± 0,03
	Среднее гармоническое, мм	2,68 ± 0,01

выравниности. Высокая масса отмечена у фасоли и гороха, а остальные образцы (перловка и чечевица) имеют невысокую массу и соответственно различную выравниность.

Натура, наряду с другими показателями качества, является важным критерием оценки технологических и мукомольных свойств зерна. Полученные значения натуры пяти образцов зернобобовых культур неодинаковые. Высокие показатели натуры у бобовых объясняются выполненностью зерна. Перловка, чечевица и гречка имеют различную выполненность, что указывает на их раздельное измельчение при осуществлении помола многокомпонентной помольной смеси.

Полученные значения выравниности и крупности зерна имеют большие колебания между видами зерновых и бобовых культур, что при изготовлении помольных партий многокомпонентных систем требует фракционирования. Целесообразность осуществления данного процесса на решетных ситах с круглыми отверстиями. Это обеспечит лучшее фракционирование и эффективное использование полученных оптимальных размерных характеристик измельчаемого сырья.

На основании проведенных исследований по выравниности партий зерна, его физических особенностей для помола от 7 до 10 наименований сырья и получения сбалансированной по аминокислотному составу смеси 4/ДС-3, состоящей из крупы гречневой в количестве 37,9 %, пшена шлифованного в количестве 24,0 %, гороха в количестве 15,0 %, крупы перловой в количестве 9,0 %, зерна ржи в количестве 9,0 %, зерна полбы в количестве 5,0 %, душистого перца в количестве 0,1 %, необходимо помольную смесь последовательно измельчать на 3-х

дробильных системах с частотой вращения молотков в 3000 об/мин. Затем измельчение продолжается на 3-х последовательных размольных системах. Используются вальцовые станки с расположением рифлей спинка по спинке со скоростью вращения быстрого вальца 6,0 м/с. При помоле необходимо регулировать соотношение круговых скоростей быстро- и медленно вращающихся вальцов 2,5, при этом плотностью нарезки вальцов от 8 штук на 1 см, с уклоном рифлей 11 %. Помол заканчивается сортированием продуктов размола и высеиванием СФС на ситах с ячейками в 224 мкм.

На основании проведенных исследований по выравниванию партий зерна, его анатомических характеристик и получения сбалансированной по аминокислотному составу СФС 3/ВС-2, состоящей из 26,3 % чечевицы, 24,9 % пшена, 23 % гороха, 12 % перловой крупы, 6 % овса, 11 % полбы, 0,2 % перца душистого и 0,3 % семян кориандра разработана схема размола многокомпонентной смеси 3/ВС-2, показанная на Рисунке 5.

Рецептуры функциональной мучной смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 приведены в Таблице 2.

Проходом сит с ячейками 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 27,3 %, а сходовый продукт поступает на молотковую дробилку 2-ой дробильной системы. После измельчения сходового продукта на 2-ой дробильной системе и просеивания на рассеве проходом сита с но-

минальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 25,6 %, а сходовый продукт поступает на молотковую дробилку 3-ой дробильной системы.

После измельчения и просеивания на рассеве сходового продукта 3-ой дробильной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 19,0 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 1-ой размольной системы. После измельчения сходового продукта на 1-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 11,7 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 2-ой размольной системы. После измельчения сходового продукта на 2-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 7,2 %, а сходовый продукт поступает на вальцовый станок 3-й размольной системы. После измельчения сходового продукта на 3-ой размольной системе проходом сита с номинальным размером отверстий ячеек в 224 мкм получаем многокомпонентную функциональную мучную смесь 4/ДС-3 в количестве 5,1 %, а сходовый продукт в количестве 4,9 % поступает в бункер для отрубей.

Общий выход многокомпонентной функциональной мучной смеси 4/ДС-3 составил 94,9 %, что свидетельствует о высокой эффективности разработанной технологии для получения цельнозерновой муки.

В такой же последовательности осуществлен помол многокомпонентной смеси 3/ВС-2 с получением цельнозерновой муки. Общий выход функциональной мучной смеси 3/ВС-2 составил 93,8 %.

Таким образом, размол многокомпонентного состава зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья осуществлен на агрегате РСА-4-2 для выработки в производственных условиях мукомольного предприятия функциональной мучной смеси.

Полученная смесь 4/ДС-3 по пищевой и биологической ценности по отдельным нутриентам превосходит пшеничную муку (Таблице 3).

Качественные характеристики сухой функциональной смеси 3/ВС-2 по пищевой и биологической ценности по отдельным нутриентам лучше пшеничной муки, а по стоимости даже дешевле пшеничной муки высшего сорта (Таблице 4).

Таблица 2

Рецептуры сухих функциональных смесей 4/ДС-3 и 3/ВС-2 для мучных изделий в г на 100 г продукта

Table 2

Recipes for Dry Functional Mixtures 4/DS-3 and 3/VS-2 for Flour Products in g per 100 g of Product

Наименование компонентов рецептуры	СФС, г	
	4/ДС-3	3/ВС-2
Крупа гречневая	37,9 ± 0,01	0,0
Чечевица	0,0	26,3 ± 0,02
Крупа пшено шлифованное	24,0 ± 0,03	24,9 ± 0,01
Крупа гороховая	15,0 ± 0,05	23,0 ± 0,02
Крупа перловая	9,0 ± 0,02	12,0 ± 0,04
Овес	0,0	6,0 ± 0,02
Рожь	9,0 ± 0,03	0,0
Полба	5,0 ± 0,04	11,0 ± 0,01
Перец душистый, молотый	0,1 ± 0,01	0,2 ± 0,05
Кориандр, семена	0,0	0,3 ± 0,01
Итого	100	

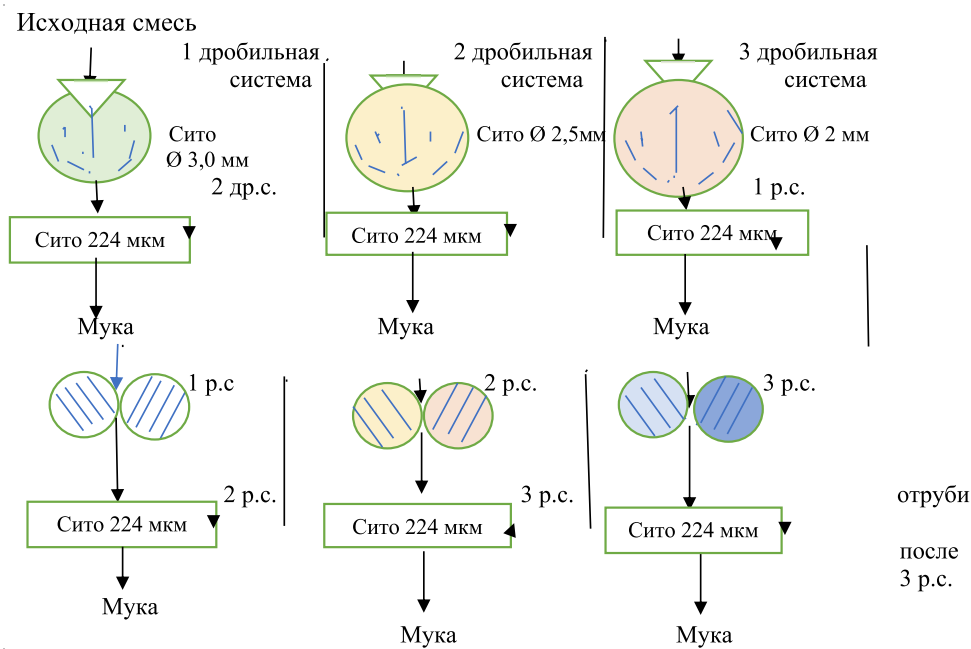
Таблица 3
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г
Table 3
Amino Acid Composition per 100 g of Products, g

Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК
4/ДС-3	0,168	0,468	0,515	1,067	0,613	0,198	0,224	0,621	0,337	0,655	0,309	5,175
мука пшеничная	0,113	0,264	0,327	0,627	0,260	0,150	0,243	0,399	0,127	0,390	0,197	3,097
Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка												
Итого в 4/ДС-3	79	241	245	490	288	122	65	331	180	332	136	2508
На 1 г белка	9,7	29,3	29,8	59,7	35,1	14,8	7,9	40,3	21,9	40,5	16,5	306

Таблица 4
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г
Table 4
Amino Acid Composition per 100 g of Products, g

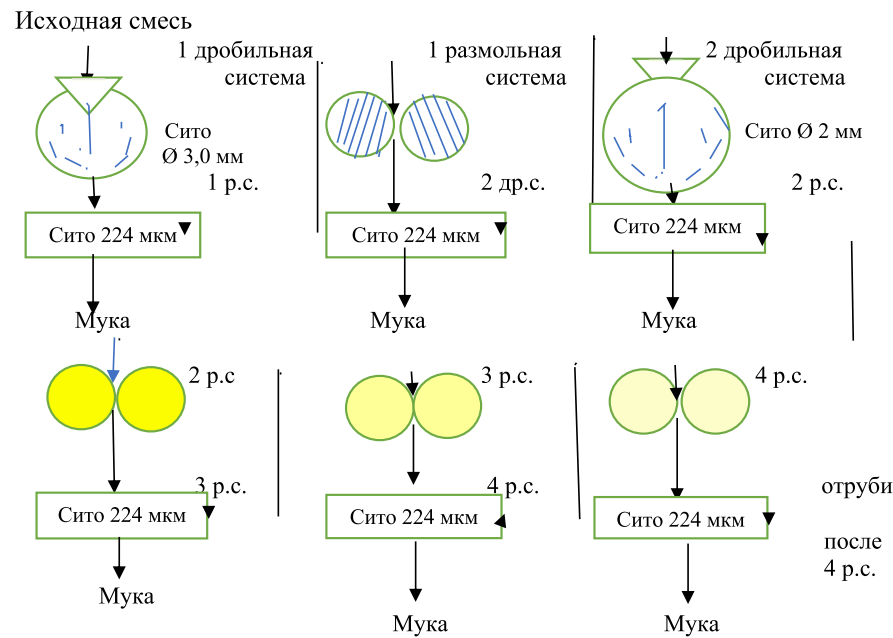
Продукт	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	Мет	Цис	Фен	Тир	Вал	Гис	НАК
3/ВС-2	0,115	0,346	0,415	0,797	0,518	0,144	0,186	0,511	0,294	0,506	0,251	4,0858
мука пшеничная	0,113	0,264	0,327	0,627	0,260	0,150	0,243	0,399	0,127	0,390	0,197	3,097
Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка												
Итого в 3/ВС-2	192	621	746	1 430	1 016	226	297	890	510	886	453	7267
На 1 г белка	10,8	34,9	42,0	80,5	57,2	12,7	16,7	50,1	28,7	49,9	25,5	409

Рисунок 4
Схема размола многокомпонентной функциональной мучной смеси 4/ДС-3
Figure 4
Scheme of Grinding Multi-Component Functional Flour Mixture 4/DS-3



Примечание: др.с. — дробильная система; п.с. — размольная система
Note: др.с. — crushing system; п.с. — grinding system

Рисунок 5
Схема размола многокомпонентной функциональной мучной смеси 3/BC-2
Figure 5
Scheme of Grinding Multi-Component Functional Flour Mixture 3/BC-2



Примечание: др.с. — дробильная система; п.с. — размольная система
Note: др.с. — crushing system; п.с. — grinding system

Схема размола многокомпонентной смеси 4/ДС-3 показана на Рисунке 4.

Способ получения многокомпонентной функциональной мучной смеси 3/BC-2 показан на Рисунке 5.

Разработанная технология измельчения многокомпонентных смесей на основе зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья может быть использована на фермерских хозяйствах, мукомольных предприятиях.

Полученные СФС использовали в рецептурах булочек «Триумф». В рецептурах использовалась пшеничная мука с влажностью 14,5 %. Введение СФС осуществлялось с целью повышения биологической ценности изделий. Активация дрожжевых клеток смесями 4 ДС/3 и 3 ВС/2 способствует повышению эффективности данного технологического приема: подъемная сила дрожжей улучшается на 10,21 %. Модельный опыт включал замену пшеничной муки на СФС в количестве 15–20 % (Таблица 5).

При приготовлении дрожжевого теста по модельной рецептуре проведено определение исходных параметров для корректирования технологического процесса. Показатели функционально-технологических свойств основ-

Таблица 5
Модельные рецептуры дрожжевого теста для булочек, г
Table 5
Model Recipes of Yeast Dough for Buns, g

Наименование сырья	1 об-разец	2 об-разец	3 об-разец	4 об-разец	Контрольный
Мука пшеничная	35	40	40	35	40
Сахар белый	7	7	7	7	7
Масло растительное	9	9	9	9	9
Яйцо (меланж)	4	4	4	4	4
Соль	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Дрожжи	2	2	2	2	2
Вода	20	20	20	20	20
4 ДС/3	20	—	—	—	—
3 ВС/2	—	15	—	—	—
4 ДС/3	—	—	15	—	—
3 ВС/2	—	—	—	20	—
Масса полуфабриката	95	95	95	95	80
Выход:	76,0	76,1	75,8	75,5	74

ного и дополнительного сырья, влияющие на качество булочек из обогащенного дрожжевого теста отмечены в процессе дегустации. Установлено, что максимальное количество СФС без ухудшения функционально-технологических свойств составляет 20 % для двух смесей: 4/ДС-3 и 3/ВС-2. Увеличение концентрации СФС приводит к изменению цвета, пористости, внешнего вида, черствению.

Разработанные функциональные мучные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 могут быть использованы для улучшения потребительских свойств и расширения ассортимента мучных кулинарных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности размола многокомпонентного состава зерновых, бобовых культур и пряно-ароматического сырья на агрегате РСА-4–2 для выработки в производственных условиях мукомольного предприятия функциональной мучной смеси. Проанализированы физико-химические свойства цельнозерновой муки из данного сырья.

Получены сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2, состоящие из чечевицы, гороха, пшена, крупы перловой, полбы, ржи, овса, гречихи, семян кориандра и душистого перца, степень измельчения которых составила 224 мкм и выход муки от 93,8 до 94,9 %.

Разработанные сухие функциональные смеси 4/ДС-3 и 3/ВС-2 имеют высокую биологическую ценность. Они

превосходят муку пшеничную по содержанию треонина, изолейцина, лейцина, лизина, фенилаланина, тирозина, валина, гистидина и общей концентрации незаменимых аминокислот (НАК) в пределах от 26,9 до 31,0 %

Разработанные схемы помола многокомпонентных зерновых смесей с использованием агрегата РСА-4–2 могут осуществляться на мукомольных предприятиях пищевой промышленности и миницехах.

ОПИСАНИЕ АВТОРСКОГО ВКЛАДА

Васюкова А.Т.: концептуализация; методология, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Кусова И. У.: верификация данных, создание рукописи и ее редактирование.

Мошкин А. В.: анализ, разработка и получение исследуемого материала, проведение исследований.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT:

Anna T. Vasyukova: conceptualization, methodology, resources, writing — review and editing

Irina U. Kusova: validation, writing — review and editing

Aleksandr V. Moshkin: formal analysis, resources, investigation

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

Алексеев, Г. В., Пальчиков, А. Н., Карпачев, В. Н., & Золотарева, А. А. (2017). Патент РФ на полезную модель № 170192. Струйный диспергатор пищевых добавок Университет ИТМО; № 2016144539.

Alekseev, G. V., Palchikov, A. N., Karpachev, V. N., & Zolotareva, A. A. (2017). Russian Federation Patent for Utility Model No. 170192. Jet disperser of food additives ITMO University; No. 2016144539. (In Russ.)

Божко, С. Д., Ершова, Т. А., Чернышева, А. Н., & Черногор, А. М. (2020). Бобовые культуры — перспективное сырье для пищевой промышленности. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (2), 59–64. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043>

Bozhko S.D., Ershova T.A., Chernysheva A.N., Chernogor A.M. (2020) Legumes are a promising raw material for the food

industry. *Technologies for the food and processing industry of AIC — healthy food*, (2), 59–64. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10043> (In Russ.)

Васюкова, А. Т., Сусликов, А. В., & Филипенко, Т. А. (2001а). Исследование влияния качества измельчения зерна и выхода муки на свойства хлебобулочных изделий. В *Сборнике трудов ДонГУЭТ* (с. 103–107).

Vasyukova, A. T., Suslikov, A. V., & Filipenko, T. A. (2001a). Study of the influence of grain grinding quality and flour yield on the properties of bakery products. In *Collection of works of DonSUET* (p. 103–107). (In Russ.)

Васюкова, А. Т., Сусликов, А. В., Ярошева, А. И., & Макаренко, Л. И. (2001б). Исследование влияния качества измельчения зерна и выхода муки на свойства хлебобулочных изделий. В *Сборнике трудов ПКИ* (с. 68–71).

- Vasyukova, A. T., Suslikov, A. V., Yarosheva, A. I., & Makarenko, L. I. (2016). Study of the influence of grain grinding quality and flour yield on the properties of bakery products. In *Collection of works of PKI* (p. 68–71). (In Russ.)
- Васюкова, А. Т., Ключев, Б. Н., Корнейко, А. А., Моргунов, В. А., Сусликов, А. В., & Ярошева, А. И. (2002). *Нетрадиционные технологии переработки и использования зерновых культур*. Донбасс.
- Vasyukova, A. T., Klyuzov, B. N., Korneiko, A. A., Morgun, V. A., Suslikov, A. V., & Yarosheva, A. I. (2002). *Non-traditional technologies for processing and using grain crops*. Donbass. (In Russ.)
- Глаголева, Л. Е., Зацепилина, Н. П., Ковалева, Е. Н., & Санберг, А. В. (2022). Рецептурно-технологические решения сухой смеси с заданными функциональными свойствами. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (2), 25–28. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-25-31>
- Glagoleva, L. E., Zatsopilina, N. P., Kovaleva, E. N., & Sanberg, A. V. (2022) Formulation and technological solutions for a dry mix with specified functional properties // *Technologies for the food and processing industry of AIC — healthy food*, (2), 25–28. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-25-31> (In Russ.)
- Косован, А. П., Шлеленко, Л. А., Тюрина, О. Е., & Шарафетдинова, Х. Х. (2011). Патент РФ № 2434438С1 Смесь диабетическая для хлебобулочных изделий с использованием гречневой муки (варианты). ГНУ ГОСНИИХП Россельхозакадемии.
- Kosovan, A. P., Shlelenko, L. A., Tyurina, O. E., & Sharafetdinova, H. H. (2011). Russian Federation Patent No. 2434438C1 Diabetic mixture for bakery products using buckwheat flour (variants). State Scientific Institution State Research Institute of Bakery Products of the Russian Agricultural Academy. (In Russ.)
- Курочкин, А. А., & Новикова, О. А. (2023). Поликомпонентная пищевая добавка на основе овощной фасоли. *Инновационная техника и технология*, 10(2), 19–24.
- Kurochkin, A. A., & Novikova, O. A. (2023). Multicomponent food additive based on vegetable beans. *Innovative Machinery and Technology*, 10(2), 19–24. (In Russ.)
- Муратбаев, А. М., Асенова, Б. К., Нурумхан, Г. Н., & Арпнова, Э. Ж. (2015а). Исследование композитной муки. *Вестник ГУ имени Шакарима города Семей*, 4(72), 42–46.
- Muratbaev, A. M., Asenova, B. K., Nurumkhan, G. N., & Arpnova, E. Zh. (2015a). Study of composite flour. *Bulletin of the Shakarim State University of Semey*, 4(72), 42–46 (In Russ.)
- Муратбаев, А. М., Асенова, Б. К., Касымов, С. К., Нурымхан, Г. Н., & Нургазезова, А. Н. (2015б). Обогащение муки зерновыми культурами. В *Пища и экология качество*, 1, (с. 638–642).
- Muratbaev, A. M., Asenova, B. K., Kasymov, S. K., Nurymkhan, G. N., & Nurgazezova, A. N. (2015). Enrichment of flour with grain crops. In *Food and ecology quality*, 1, (p. 638–642). (In Russ.)
- Постникова, И. В., Блиничев, В. Н., & Кравчик, Я. (2015) Струйные мельницы. Современные наукоемкие технологии. *Региональное приложение*, (2(42)), 144–146.
- Postnikova, I. V., Blinichev, V. N., & Kravchik, Ya. (2015). Jet mills. *Modern science-intensive technologies. Regional supplement*, (2(42)), 44–146. (In Russ.)
- Романчиков, С. А., Алексеев, Г. В., Лей, А. Г., & Карпачев, Д. В. (2017). Измельчение пищевого сырья нетрадиционными способами. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 24–29.
- Romanchikov, S. A., Alekseev, G. V., Leu, A. G., & Karpachev, D. V. (2017). Grinding food raw materials by non-traditional methods. *Storage and processing of farm products*, (9), 24–29. (In Russ.)
- Санжаровская, Н. С., Сокол, Н. В., Храпко, О. П., Мамедов, К. С., & Романова, Н. Н. (2018). Хлебопекарные свойства композитных смесей муки из зерна пшеницы и полбы. *Новые технологии / New technologies*, (3), 60–65.
- Sanzharovskaya, N. S., Sokol, N. V., Khrapko, O. P., Mamedov, K. S., & Romanova, N. N. (2018). Bakery properties of composite mixtures of wheat and spelt flour. *New Technologies*, (3), 60–65. (In Russ.)
- Текутьева, Л. А., Ершова, Т. А., Божко, С. Д., Сон, О. М., & Фищенко, Е. С. (2015). Патент РФ № 2562221С1. Состав каши быстрого приготовления. Дальневосточный Федеральный Университет (ДФУ).
- Tekutyeva, L. A., Ershova, T. A., Bozhko, S. D., Son, O. M., & Fishchenko, E. S. (2015). Russian Federation Patent No. 2562221C1. Composition of instant porridge. Far Eastern Federal University (FEFU). (In Russ.)
- Типсина, Н. Н., & Селезнева, Г. К. (2015). Льняная мука как биологически активная пищевая добавка. *Вестник КрасГАУ*, (3), 57–58.
- Tipsina, H. N. (2015). Flaxseed flour as a biologically active food additive. *Vestnik KrasSAU*, (3), 57–58. (In Russ.)
- Чижикова, О. Г., Коршенко, Л. О., & Павлова, М. А. (2017). Разработка композитных мучных смесей с использованием измельченных семян чечевицы. *Техника и технология пищевых производств*, 46(3), 89–94.
- Chizhikova, O. G., Korshenko, L. O., & Pavlova, M. A. (2017). Development of composite flour mixtures using crushed lentil seeds. *Food Processing: Techniques and Technology* 46(3), 89–94. (In Russ.)
- Boukid, F., Vittadini, E., Lusuardi, F., Ganino, T., Carini, E., Morreale, F., & Pellegrini, N. (2019). Does cell wall integrity in legume flour affect the physicochemical quality and in vitro starch hydrolysis of gluten-free bread? *Journal of Functional Foods*, 59, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.034>
- Yu, D., Chen, Y. D., Ma, J., Sun, H., Yuan, Yu., Ju, Q., Teng, Yu., Yang, M., Li, W., Fujita, K., Tatsumi, E., & Luan, G. (2018). Effect of different milling methods on the physicochemical properties

- of common buckwheat flour. *LWT*, 92, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.033>
- Dhital, S., Bhattarai, R. R., Gorham, J., & Gidley, M. J. (2016). Intact cell wall structure controls in vitro starch digestion in legumes. *Food & Function*, 7, 1367–1379. <https://doi.org/10.1039/C5FO01104C>
- Drakos, A., Kyriakakis, G., Evageliou, V., Protonotariou, S., Mandala, I., & Ritzoulis, C. (2017). Effect of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flour. *Food Chemistry*, 215, 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.169>
- He, S., Qin, Y., Walid, E., Li, L., Cui, J., & Ma, Y. (2014) The influence of ball milling on the physicochemical properties of corn starch. *Biotechnology Reports*, 3, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.06.004>
- Hou, D., Yousaf, L., Xue, Y., Hu, J., Wu, J., Hu, X., Feng, N., & Shen, Q. (2019). Mung bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits. *Nutrients*, 11(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/nu11061238>
- Jeong, D., Han, J. A., Liu, Q., & Chung, H. J. (2019) Effect of processing, storage and modification on in vitro starch digestion characteristics of legumes: a review. *Food Hydrocolloids*, 90, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.039>
- Jonnalagadda, S. S., Harnack, L., Hai Liu, R., McKeown, N., Seal, C., Liu, S., & Fahey, G. C. (2011). Putting the whole grain puzzle together: Health benefits associated with whole grains – Summary of the 2010 American Society of Nutrition Satellite Symposium. *Journal of Nutrition*, 141, 1011S–1022S. <https://doi.org/10.3945/jn.110.132944>
- Kurnia, R., & Foster, T. J. (2018). Effect of ball milling on the structural, thermal and rheological properties of oat bran protein flour. *Journal of Food Engineering*, 229, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.024>
- Lazaridou, A., Vouris, D. G., Zoumpoulakis, P., & Biliaderis, C. G. (2018). Physicochemical properties of flour and dough from jet flour from wheat. *Food Hydrocolloids*, 80, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.044>
- Lee, Y. T., Shim, M. J., Goh, H. K., Mok, C., & Puligundla, P. (2018). Effect of jet milling on the physicochemical properties, gelatinization properties and starch digestibility in vitro of germinated brown rice flour. *Food Chemistry*, 282, 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.07.179>
- Liu, Yi., Xiu, M., Wu, H., Jing, L., Gong, B., Gou, M., Zhao, K., & Li, W. (2018). Compositional, physicochemical and functional properties of sprouted mung bean flour and its addition to the quality of wheat flour noodles. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 5142–5152. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3460-z>
- Mahasukhonthachai, K., Sopade, P. A., & Gidley, M. J. (2009). Particle size-dependent kinetics of starch digestion in sorghum. *Journal of Food Engineering*, 96, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.051>
- Meng, Yi, Guan, H., Liu, H., & Zhang, H. (2019). Rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour. *LWT*, 109, 378–86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.095>
- Nair, R. M., Yang, R. Y., Easdown, W. J., Thavarajah, D., Thavarajah, P., Hughes, J. D. A., & Keatinge, J. D. H. (2013). Biofortification of mung bean (*Vigna radiata*) as a whole food for improving human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1805–1813. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6110>
- Palavecino, P. M., Penci, M. K., & Ribotta, P. D. (2019). Effect of planetary ball milling on the physicochemical and morphological properties of sorghum flour. *Journal of Food Engineering*, 262, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.007>
- Rao, B. D., Anis, M., Kalpana, K., Sunoj, K.V., Patil, J.V., & Ganesh, T. (2016). Effect of milling methods and particle size on hydration properties of sorghum flour and quality of sorghum biscuits. *LWT – Food Science and Technology*, 67, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.033>
- Raza, H., Ameer, K., Zaaboul, F., Sharif, H. R., Ali, B., Shoaib, M., Akhtar, W., & Zhang, L. (2019). Effect of ball milling on physicochemical, thermal and functional properties of extruded chickpea powder (*Cicer arietinum* L.). *CyTA – Journal of Food*, 17, 563–573. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1617352>
- Shi, Z., Yao, Y., Zhu, & Ren, G. (2016). Nutritional composition and antioxidant activity of twenty mung bean cultivars in China. *Crop Journal*, 4, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.011>
- Taranathan, R. N., & Mahadevamma, S. (2003). Pulses – A boon to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 507–518. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>
- Thakur, S., Scanlon, M. G., Tyler, R. T., Milani, A., & Paliwal, J. (2019). Miller's characteristics of bean flour: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 775–97. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12413>
- Tsatsaragkou, K., Kara, T., Ritzoulis, C., Mandala, I., & Rosell, C.M. (2017). Improving the characteristics of carob flour for the production of gluten-free bread by particle size fractionation and jet milling. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 831–841. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1863-x>
- Zhang, K., Dai, Y., Hou, H., Li, H., Dong, H., Wang, W., & Zhand, H. (2019). Effect of milling on the structure and properties of mung bean starch and the quality of acetylated starch. *Food Chemistry*, 294, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.055>