

635.65:641.1

Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации

А. Л. Вебер*, С. А. Леонова

*Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, г. Омск, Россия;
e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
10.06.2024;

получена
после доработки
31.07.2024;

принята к публикации
05.08.2024

Ключевые слова:

горох,
фасоль,
пищевая ценность,
белково-углеводный
комплекс

Актуальность исследования обусловлена целесообразностью использования биоактивированного зерна гороха и фасоли отечественной селекции в технологиях альтернативных продуктов сложного сырьевого состава для здорового, функционального и специализированного питания различных групп населения. Цель работы – изучить влияние разработанных технологических режимов биоактивации на пищевую и биологическую ценность, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли. В работе рассмотрены результаты исследований технологических и биохимических свойств зерна гороха селекции Башкирского НИИСХ и фасоли селекции Омского ГАУ при его биоактивации с использованием установки смарт-спраутер "Росинка". Изучены аминокислотный состав, ингибирующая активность зерна исследуемых сортов, усвояемость белка *in vitro*, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна. Исследования осуществляли с использованием общепринятых, современных инструментальных методов анализа свойств сырья и готовой продукции. Установлено, что применение разработанных технологических параметров биоактивации приводит к модификации функционально-технологических свойств структурообразующих нутриентов зерна, интенсивному накоплению всех аминокислот за исключением треонина, позволяет увеличить содержание белка в зерне гороха на 15,32 % и фасоли на 14,96 % по отношению к исходным значениям, повысить степень соответствия белка зерна гороха и фасоли эталонному белку ФАО/ВОЗ на 4,48 и 17,53 %, снизить активность ингибиторов протеаз зерна на 19,76 и 26,12 %, повысить переваримость белка зерна на 7,77 и 5,85 %. Результаты исследований доказывают целесообразность использования биоактивированного зерна гороха и фасоли для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе и продуктов сегмента *dairy alternatives*.

Для цитирования

Вебер А. Л. и др. Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 282–293. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-282-293>.

Changes in the biological and nutritional value of pea and bean grains as a result of their bioactivation

Anna L. Veber*, Svetlana A. Leonova

*The Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia;
e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Article info

Received
10.06.2024;

received
in revised form
31.07.2024;

accepted
05.08.2024

Key words:

peas,
beans,
nutritional value,
protein-carbohydrate
complex

Abstract

The relevance of the study is due to the need to improve the technology for processing peas and beans of domestic selection into plant-based drinks and their use in technologies for alternative products of complex raw materials for healthy, functional and specialized nutrition of various population groups. The purpose of the work is to study the influence of the developed technological modes of bioactivation on the nutritional and biological value, functional and technological properties of the protein-carbohydrate complex of pea and bean grains. The work examines the results of studies of changes occurring in pea grains bred at the Bashkir Research Institute of Agriculture and beans bred at the Omsk State Agrarian University during their bioactivation using the Smart Sprouter "Rosinka" installation, in particular the biochemical composition and inhibitory activity of grain of the studied varieties, a protein complex and amino acid composition, protein digestibility *in vitro*, functional and technological properties of the protein-carbohydrate complex of grain. The research has been carried out using generally accepted, modern instrumental methods for analyzing the properties of raw materials and finished products. It has been established that the use of the developed technological parameters of bioactivation leads to modification of the functional and technological properties of the structure-forming nutrients of grain, intensive accumulation of all amino acids, with the exception of threonine, make it possible to increase the protein content in pea grain by 15.32 % and beans by 14.96 %, relative to the initial values increase the degree of compliance of pea and bean grain protein with the FAO/WHO reference protein by 4.48 and 17.53 %, reduce the activity of grain protease inhibitors by 19.76 and 26.12 %, increase the digestibility of grain protein by 7.77 and 5.85 %. The research results prove the feasibility of using bioactivated pea and bean grains for the production of alternative products with a complex raw material composition, including plant-based drinks and products in the "dairy alternatives" segment.

For citation

Veber, A. L. et al. 2024. Changes in the biological and nutritional value of pea and bean grains as a result of their bioactivation. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 282–293. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-282-293>.

Введение

Зернобобовые культуры (соя, фасоль, горох, нут, чечевица, люпин, вика яровая, бобы и др.), издавна широко культивируемые на территории Российской Федерации, являются стратегически важным резервом для решения проблемы дефицита белка у населения. Их особая ценность заключается не только в ликвидации дефицита белка, но и в улучшении фитосанитарного состояния полей за счет поддержания естественным путем плодородия почвы (обогащение ее доступными формами азота благодаря деятельности клубеньковых бактерий), сохранении растительного и подземного биоразнообразия. В отечественном земледелии в структуре посевных площадей, учитывая все типы хозяйств, зернобобовые культуры занимали в 2021 г. – 2,40 %, в 2022 г. – 2,31, в 2023 г. – 2,70 % от площади всех сельскохозяйственных культур. В указанной структуре посевных площадей зернобобовых культур 52,12–67,04 % удельного веса приходится на горох (без учета типа хозяйства населения) вследствие более высокой урожайности. Фасоль выращивается в небольших количествах в хозяйствах населения (валовый сбор составляет около 6 тыс. т). При этом самообеспеченность России фасолью составляет 22,7 %, 77,0 % приходится на импорт (*Зотиков и др., 2020; Зотиков и др., 2018*).

Несмотря на разнообразие сортов бобовых культур, увеличение их посевных площадей, в том числе в мировом масштабе, за исключением сои, по сравнению с зерновыми невелико. Во многом это обусловлено слабым развитием рынка продуктов питания, производимых из зерна бобовых, низкой информированностью потребителя о его пользе, специфичностью вкусовых качеств, повышенным содержанием антиалиментарных веществ, а также ряда ингибиторов протеиназ, которые снижают активность пищеварительных ферментов, усвояемость и технологические свойства белка.

В настоящее время учеными разработано достаточно методов, способов и технологических приемов, направленных на инактивацию антиалиментарных веществ, например, замачивание в различных растворителях, экструдирование, измельчение, термическая обработка (поджаривание, микронизация, автоклавирование, СВЧ-обработка и кипячение) (*Фролов и др., 2020*). Остаются актуальными традиционные методы селекции (*Зотиков и др., 2018*), применяются также геномные и постгеномные технологии, механохимические (*Голязимова, 2010; Горлов и др., 2018*) и механоферментативные (*Толкачева и др. 2017; Бычков и др., 2017; Витол и др., 2018*) технологии. Биоактивация (проращивание) зерна является альтернативой механоферментативной обработки, в результате которой возрастают пищевая и биологическая ценность, полностью инактивируется или значительно снижается активность антиалиментарных веществ, повышается полноценность аминокислотного состава и усвояемость белка (*Вебер и др., 2017; Антипова и др., 2017; Шаскольский и др., 2007; Kim et al., 2005; Kariluoto et al., 2006; Buriro et al., 2010; Samiya et al., 2020*). Подтверждена целесообразность использования пророщенного зерна в различных отраслях пищевой промышленности (*Пащенко, 2009; Самофалова и др., 2016; Цапалова и др., 1999; Антипова и др., 2001; Rotulo et al., 2022; Ерофеева, 2023*). Однако данные о качественных и количественных изменениях биохимического состава, модификации белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли сортов отечественной селекции, как и данные о целесообразности использования пророщенного зерна для получения альтернативных продуктов весьма немногочисленны.

Таким образом, целью работы явилось изучение влияния технологических режимов биоактивации на пищевую и биологическую ценность, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли с целью его дальнейшей переработки в альтернативные продукты питания.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента использовали зерно гороха сорта Памяти Хангильдина (селекция БНИИСХ, Республика Башкортостан) и фасоли сорта Омичка (селекция ФГБОУ ВО Омского ГАУ, г. Омск), качество которых соответствовало требованиям ГОСТ 28674-2019¹ "Горох. Технические условия" и ГОСТ 7758-2020 "Фасоль продовольственная. Технические условия". Технологические режимы биоактивации зерна бобовых культур исследуемых сортов представлены на рис. 1 (*Leonova et al., 2023*). Для биоактивации использовали установку смарт-спраутер "Росинка", в основу которой заложена технология aeroponics (*Устройство..., 2016*).

Для оценки биохимического состава зерна исследованных сортов до и после биоактивации определяли: содержание белка методом Къельдаля по ГОСТ 10846-91, соотношение белковых фракций в зерне по методу Ермакова – Дурыниной²; влажность зерна – по ГОСТ 13586.5-2015, содержание жира в зерне – ГОСТ 29033-91, углеводов – ГОСТ 26176-2019 и ГОСТ 10845-98. Переваримость белка оценивали по общепринятой методике *in vitro* (*Покровский и др., 1965*).

Микроскопические исследования проведены с использованием электронного микроскопа MF-BGU-LED-NE620 (Китай) с флуоресцентным осветителем и камерой для микроскопирования (модель FL-20) при общем увеличении микроскопа в видимой области спектра в пределах от 2000X до 4000X. Для обработки полученных микрофотографий использовали программу Capture 2.4.

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

² Практикум по агрохимии / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. Москва : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

Аминокислотный состав белка определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе LC-20AB Shimadzu. Разделение проводили на колонке Zorbax Eclipse XDB-C18 4.6×150 mm, 5µm (Agilent). Градиентный режим элюирования от 1 до 65 % за 40 мин. Скорость потока – 1,4 мл/мин, элюент А – 0,02М раствор ацетата натрия, элюент В – метанол. Температура 35 °С, аналитическая длина волны – 338 нм. Погрешность определения менее 6 %. Также использовали систему капиллярного электрофореза "Капель – 105/105 М" по ГОСТ 31480-2012; ГОСТ Р 55569-2013 с последующим детектированием по методике М.04-38-2009 (ФР.1.31.2010.07015).



Рис. 1. Технологическая схема производства биоактивированного зерна гороха и фасоли исследуемых сортов
 Fig. 1. Technological scheme for the production of bioactivated grain peas and beans of the studied varieties

Биологическую ценность белков оценивали путем расчета аминокислотного сора по формуле с использованием шкалы ФАО/ВОЗ³

$$AK = \frac{\text{мг АК в 1 г белка}}{\text{мг АК в 1 г эталона}} \cdot 100 \%$$

Активность протеаз определяли методом Эрлангера с модификациями (Соломинцев и др., 2009). К буферному раствору (Трис-НСI, pH 8) в ячейке иммунологического планшета добавляли такие же объемы раствора синтетического субстрата БАПНА – N, α-бензоил-DL-аргинин-4-нитроанилида (1 мг/мл) и исследуемого препарата и выдерживали при t = 30 °C в течение 30 мин, затем в реакционную смесь добавляли равный объем 10%-й уксусной кислоты для остановки реакции. Контрольная проба вместо БАПНА содержала воду. Оптическое поглощение полученного раствора выявляли на фотоколориметре Labsystems Uniskan (Финляндия) при длине волны 405 нм. Активность фермента выражали в оптических единицах (условные единицы ферментативной активности, Е). Активность ингибиторов трипсина определяли по методике Гофмана – Вайсбля с модификациями. Определение проводили аналогично ферментативной активности, буферный раствор содержал 1 мг/мл трипсина. Устанавливалась протеолитическая активность раствора (экстракт зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина). При этом в прогретых образцах ферменты находились в денатурированном состоянии, т. е. собственной протеолитической активности в экстрактах не было. Во все пробы вносили равное количество трипсина. Исходя из того что значение протеолитической активности раствора (экстракт зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина) напрямую зависит от подавляющей

³ Dietary protein quality evaluation in human nutrition / Report of an FAO Expert Consultation. Rome : FAO, 2013. 66 p.

активности ингибиторов трипсина, был сделан вывод об ингибирующей активности зерна исследуемых сортов.

При определении активности уреазы в единицах рН на рН-метре использовался метод ГОСТ 13979.9-69. Статистическую обработку данных проводили, используя методы математической статистики с применением программного обеспечения Microsoft Excel (версия 2019 г.). При статистической обработке результатов исследований для каждого опытного образца стандартное отклонение не превышало 3,0 % при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных ранее исследований по комплексной оценке качества сортов гороха (Чишминский 95, Чишминский 229 и Памяти Хангильдина) селекции Башкирского НИИСХ и фасоли сортов Омичка и Лукерья селекции Омского ГАУ осуществлена дифференциация сортов по целевому назначению. Установлено, что для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе рекомендуется сорт гороха Памяти Хангильдина и фасоль сорта Омичка (Вебер и др., 2022). Как уже отмечено ранее, биоактивация является этапом, влияющим на изменение биологической и пищевой ценности, органолептических показателей растительного сырья (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Характеристика и органолептические показатели биоактивированного зерна гороха и фасоли исследуемых сортов
 Table 1. Characteristics and organoleptic characteristics bioactivated grain of peas and beans of the studied varieties

Показатель	Нативное зерно		Биоактивированное зерно	
	Горох, сорт Памяти Хангильдина	Фасоль, сорт Омичка	Горох, сорт Памяти Хангильдина	Фасоль, сорт Омичка
Внешний вид	Форма шаровидная (семядоли желтые, рубчик светлый, закрыт остатком семядоли)	Форма овальная	Зерно выровненное, сферической формы	Зерно шарообразной формы
			Ростки белого цвета длиной 2–3 мм; поверхность зерен – матовая, влажная	
Консистенция	Мучнистая, к моменту готовности (обработки) сохраняется целостность оболочек	Мягкая, легко разжевывается, к моменту готовности (обработки) сохраняется целостность оболочек	Мучнистая	
Цвет	Желтый (с просвечивающими через семенную кожуру семядолями)	Белый с серыми штрихами	Ярко-желтый	Бежевый
Вкус	Сладкий	Сладковатый	Сладковатый с солодовым послевкусием	Солодовый с легким бобовым привкусом
Запах	Слабовыраженный запах гороха	Слабовыраженный, специфический запах фасоли	Легкий травянистый	Легкий бобовый

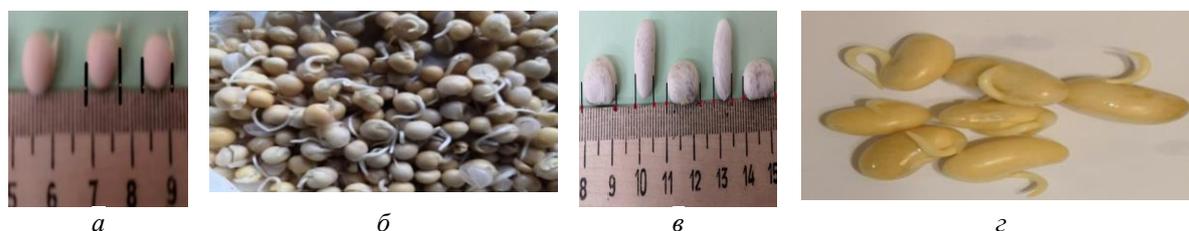


Рис. 2. Зерно фасоли и гороха исследуемых сортов:
 а – Памяти Хангильдина до биоактивации; б – Памяти Хангильдина после биоактивации;
 в – Омичка до биоактивации; г – Омичка после биоактивации
 Fig. 2. Bean and pea grains of the studied varieties:
 а – Memory of Khangildin before bioactivated; б – Memory of Khangildin after bioactivated;
 в – Omichka before bioactivated; г – Omichka after bioactivated

В результате применения разработанных технологических режимов биоактивации установлены глубокие изменения биохимического состава зерна бобовых культур исследуемых сортов (табл. 2), протекающие под действием ферментного комплекса.

Таблица 2. Изменение биохимического состава зерна исследуемых сортов в результате процесса биоактивации
Table 2. Changes in the biochemical composition of grain studied varieties as a result of the bioactivation process

Показатель	Горох, сорт Памяти Хангильдина		Фасоль, сорт Омичка	
	до	после	до	после
	биоактивации		биоактивации	
Массовая доля влаги, %	14,07 ± 0,110	43,65 ± 0,650	16,07 ± 0,110	43,43 ± 0,570
Массовая доля жира, % на с.в.	1,56 ± 0,482	2,24 ± 0,010	1,67 ± 0,416	2,24 ± 0,192
Массовая доля крахмала, % на с.в.	45,09 ± 2,141	37,26 ± 0,645	51,26 ± 0,475	43,20 ± 0,262
Массовая доля редуцирующих сахаров, % на с.в.	0,84 ± 0,115	3,11 ± 0,159	0,44 ± 0,101	2,49 ± 0,012
Протеолитическая активность экстракта зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина, Е	167 ± 4,93	200 ± 7,50	111 ± 1,15	140 ± 2,00
Активность уреазы, ед. рН	0,00	0,00	0,01	0,00
Переваримый белок, %	52,48 ± 1,80	56,56 ± 0,10	49,48 ± 1,60	52,37 ± 0,11
Массовая доля белка, % на с.в.	24,01 ± 2,493	27,69 ± 0,451	23,65 ± 0,437	27,19 ± 0,536
Фракционный состав белка, % от общего белка				
Водорастворимый белок	18,52 ± 0,45	25,56 ± 0,56	14,91 ± 0,30	19,00 ± 0,30
Солерастворимый белок	77,85 ± 1,05	73,10 ± 1,05	82,82 ± 1,58	80,00 ± 1,60
Щелочерастворимый белок	3,63 ± 0,04	1,34 ± 0,03	2,25 ± 0,05	1,00 ± 0,01

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют о различиях между образцами. Увеличение содержания редуцирующих сахаров, снижение количества крахмала на 17,36 и 15,72 % соответственно по отношению к исходным значениям свидетельствуют о деструкции и модификации крахмала.

Ингибирующая способность зерна фасоли существенно превышает ингибирующую активность зерна гороха как до, так и после биоактивации.

Применение разработанных методов позволяет полностью инактивировать фермент уреазу, снизить ингибиторную активность в пророщенном зерне гороха и фасоли на 19,76 и 26,12 % по отношению к исходным значениям, повысить переваримость белка зерна гороха на 7,77 и фасоли на 5,85 % по отношению к исходным значениям, а также, как было показано ранее, увеличить долю полиненасыщенной линолевой жирной кислоты (Вебер и др., 2023). Аналогичные результаты, отражающие изменение активности ингибиторов трипсина в зерне фасоли в результате биоактивации, были обнаружены и другими учеными (Катюк и др., 2019; Возиян и др., 2013).

Убедительным подтверждением модификации белкового комплекса является увеличение содержания белка в биоактивированном зерне гороха и фасоли на 15,32 и 14,96 % по отношению к исходным значениям, увеличение содержания водорастворимых белков на 38,01 % в зерне гороха и на 27,43 % в зерне фасоли по отношению к исходным значениям, снижение доли солерастворимой и щелочерастворимой фракций на 6,10 и 63,09 % по отношению к исходным значениям в горохе и на 3,40 и 55,55 % по отношению к исходным значениям в фасоли. Деструкция зерна в результате проращивания показана на фотографиях его микроструктуры (рис. 3).

Белки зерна при биоактивации набухают, становятся подвижными и переходят в раствор в виде коллоидов. Крахмальные гранулы теряют структуру и форму, разрушаются вследствие неоднородного набухания биополимеров. Появляется незначительное количество мелких и крупных скоплений декстринизированного крахмала, исчезают оформленные белково-жировые гранулы. Структурные изменения клеточных полимеров исследуемых сортов гороха и фасоли в результате биоактивации приводят к изменениям функционально-технологических свойств крахмала.

Учитывая, что в процессе биоактивации происходит увеличение протеолитической активности эндо- и экзопептидаз, белок бобовых культур структурно модифицируется, расщепляется до аминокислот и переходит в легкоусвояемое состояние. При исследовании аминокислотного состава нативного и биоактивированного зерна гороха и фасоли установлено, что у исследуемых сортов происходит интенсивное

накопление всех аминокислот за исключением треонина. В результате определения биологической ценности белка исследуемых сортов до и после биоактивации путем расчета аминокислотного сора (АК) относительно стандартной шкалы ФАО/ВОЗ установлены количественные изменения лимитирующих аминокислот (табл. 3).

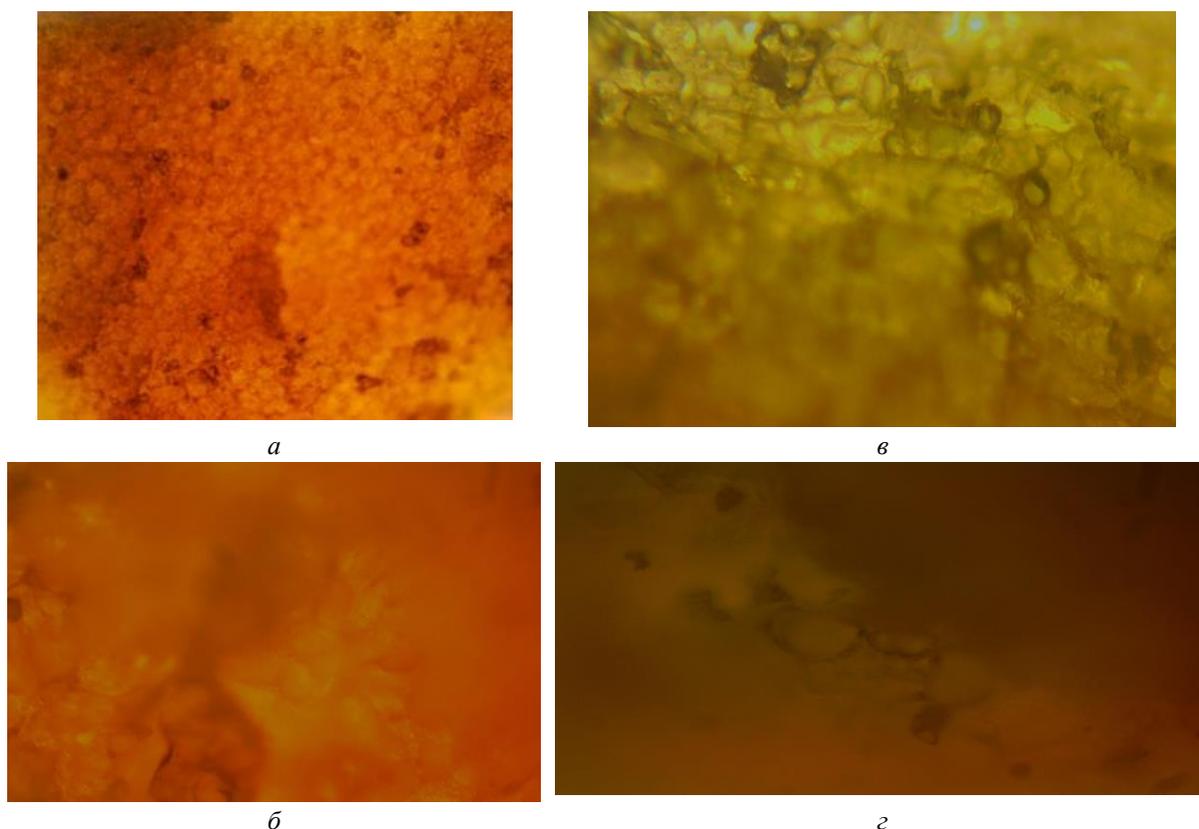


Рис. 3. Микроструктура зерна гороха и фасоли исследуемых сортов: *а* – Памяти Хангильдина до биоактивации; *б* – Памяти Хангильдина после биоактивации; *в* – Омичка до биоактивации; *г* – Омичка после биоактивации

Fig. 3. Microstructure of pea and bean grains of the studied varieties: *a* – Memory of Khangildin before bioactivation; *б* – Memory of Khangildin after bioactivation; *в* – Omichka before bioactivation; *г* – Omichka after bioactivation

Таблица 3. Аминокислотный сора белка исследуемых сортов до и после биоактивации
 Table 3. Amino acid score of the protein of the studied varieties before and after bioactivation

Незаменимые аминокислоты (НАК)	Горох, сорт Памяти Хангильдина		Фасоль, сорт Омичка	
	до	после	до	после
	биоактивации		биоактивации	
	Аминокислотный сора, %			
Треонин	119,90	86,33	123,05	58,30
Метионин + цистеин	70,75	111,86	79,66	93,54
Валин	87,59	91,18	13,38	15,72
Триптофан	80,70	151,65	114,60	156,70
Фенилаланин + тирозин	83,69	96,95	46,42	78,80
Изолейцин	143,83	95,78	132,00	107,39
Лейцин	89,39		88,82	
Лизин	93,23	101,33	60,50	127,88
Гистидин	28,23	32,23	24,22	26,64

Степень соответствия белка зерна гороха и фасоли эталонному белку ФАО/ВОЗ (рис. 4) увеличилась на 4,48 и 17,53 % соответственно, что позволяет говорить о большей полноценности белка биоактивированного

зерна в сравнении с нативным, а также о целесообразности и эффективности использования разработанных параметров биоактивации.

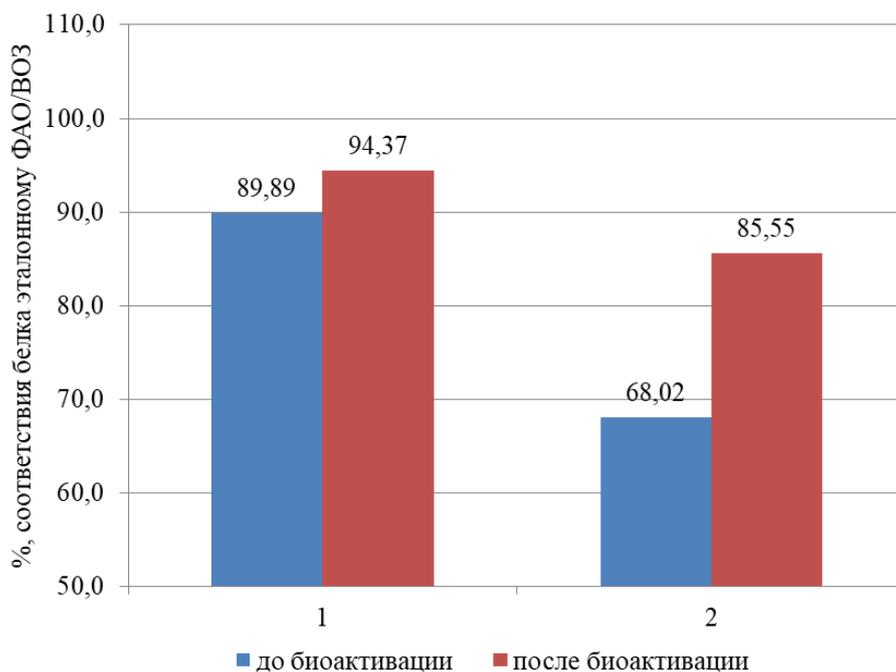


Рис. 4. Соответствие белка зерна эталонному белку ФАО/ВОЗ (1 – горох сорт Памяти Хангильдина, 2 – фасоль сорт Омичка)

Fig. 4. Correspondence of grain protein to the FAO/WHO reference protein (1 – pea variety Memory of Khangildin, 2 – bean variety Omichka)

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что биоактивированное зерно гороха и фасоли является весьма перспективным сырьем для производства альтернативных продуктов питания сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе.

Заключение

Установлены различия биохимического состава зерна гороха и фасоли исследуемых сортов до и после биоактивации.

Достигнутое в результате биоактивации зерна гороха и фасоли увеличение содержания белка на 15,32 и 14,96 % по отношению к исходным значениям, заменимых и незаменимых аминокислот за исключением треонина, водорастворимых белков на 38,01 и на 27,43 % по отношению к исходным значениям, снижение доли солерастворимой и щелочерастворимой фракций белка на 6,10 и 63,09 % по отношению к исходным значениям в горохе и на 3,40 и 55,55 % по отношению к исходным значениям в фасоли, а также снижение активности ингибиторов протеаз на 19,76 в горохе и на 26,12 % в фасоли по отношению к исходным значениям и повышение переваримости белка зерна гороха на 7,77 и фасоли на 5,85 % по отношению к исходным значениям способствует достижению повышенной пищевой и биологической ценности зерна.

Учитывая достигнутую степень модификации белково-углеводного комплекса, повышенную пищевую и биологическую ценность биоактивированного зерна гороха и фасоли, рекомендовано его применение в качестве основного сырья для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе.

Благодарности

Выражаем благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заместителю директора по научной работе Башкирского НИИ сельского хозяйства Ф. А. Давлетову за предоставленные селекционные сорта гороха и доктору сельскохозяйственных наук, профессору Омского ГАУ Н. Г. Казыдуб за предоставленные селекционные сорта фасоли.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Антипова Л. В., Гребенщиков А. В., Мищенко А. А., Осипова Н. А. [и др.]. Пророщенные семена чечевицы – источник пищевых веществ и средств для восстановления работоспособности спортсменов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 4(18). С. 69–79. EDN: ZWNPNQ.
- Антипова Л. В., Курчаева Е. Е., Перельгин В. М. Исследование процесса замачивания семян чечевицы при получении из них водных дисперсий // Известия вузов. Пищевая технология. 2001. № 5–6(264–265). С. 54–55. EDN: QCPHRR.
- Бычков А. Л., Ломовский О. И. Современные достижения в механоферментативной переработке растительного сырья // Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021546>. EDN: ZFANWP.
- Вебер А. Л., Леонова С. А. Изменения жирнокислотного состава и липидного профиля зерна гороха и фасоли при прорастивании // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 72–89. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>. EDN: RBMRSF.
- Вебер А. Л., Казыдуб Н. Г., Леонова С. А., Жиарно М. Получение биологически активного компонента из пророщенных бобов фасоли с целью его последующего использования // Хлебопродукты. 2017. № 6. С. 35–38. EDN: YTAMUJ.
- Вебер А. Л., Леонова С. А., Кондратьева О. В. Потребительские свойства и потенциальная востребованность продукции "Dairy Alternatives" из отечественных сортов гороха и фасоли // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 1. С. 108–123. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-108-122>. EDN: KGQULO.
- Витол И. С., Мелешкина Е. П. Протеолитические ферментные препараты в биотрансформации продуктов переработки зерновых и бобовых культур // Актуальная биотехнология. 2018. № 3(26). С. 306–310. EDN: HEIBOP.
- Возиян В. И., Таран М. Г., Якобуца М. Д., Авадэний Л. П. Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитательных веществ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 1(5). С. 26–29. EDN: QCSQJN.
- Голязимова О. В. Механическая активация ферментативного гидролиза целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2010. 23 с.
- Горлов И. Ф., Семенова И. А., Мосолов А. А., Сложенкин А. Б. [и др.]. Новый метод снижения содержания антипитательных веществ в бобовых культурах // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 3. С. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/3/71-73>. EDN: XUJTHF.
- Ерофеева А. В., Бурмасова М. А., Сысоева М. А. Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 249–256. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256>. EDN: XSYMM.
- Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В., Сидоренко В. С. [и др.]. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 5–17. DOI: [10.24411/2309-348X-2020-11198](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198). EDN: BPRYFH.
- Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2(26). С. 4–10. DOI: [10.24411/2309-348X-2018-10008](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008). EDN: UQRBKK.
- Катюк А. И., Шаболкина Е. Н., Васин А. В., Булатова К. А. [и др.]. Пищевые достоинства семян фасоли, сои и гороха сортов селекции Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4. С. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13>. EDN: DDPRTA.
- Пашенко Л. П. Разработка технологии хлеба, обогащенного семенами нута // Успехи современного естествознания. 2009. № 1. С. 24–38. EDN: KUNDUT.
- Покровский А. А., Ертанов И. Д. Атакуемость белков пищевых продуктов // Вопросы питания. 1965. № 3. С. 38–44.
- Самофалова Л. А., Сафронова О. В. Анализ физико-химических основ технологии растительных заменителей молока // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2016. № 2(37). С. 60–64. EDN: VTRCTV.
- Соломинцев М. В., Могильный М. П. Определение активности ингибиторов протеолитических ферментов в пищевых продуктах // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. № 1(307). С. 13–16. EDN: JWSBFJ.

- Толкачева А. А., Черенков Д. А., Корнеева О. С., Пономарев П. Г. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 4(74). С. 197–203. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>. EDN: YRTTZE.
- Устройство для выращивания растений : пат. на полезную модель 160896 Рос. Федерация / Алгазин Д. Н., Воробьев Д. А., Забудский А. И., Забудская Е. А. ; № 2015150588/13 ; заявл. 25.11.2015 ; опубл. 10.04.16, Бюл. № 10.
- Фролов В. Ю., Класнер Г. Г., Тарасов В. С., Баранов В. П. Анализ способов обработки зернобобовых культур с последующим получением кормов на их основе // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 157(03). С. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-157-016>.
- Цапалова И. Е., Сотников О. М. Повышение биологической ценности хлеба путем биоактивации зерна пшеницы. Влияние проращивания на химический состав и качество клейковины // Хлебопечение России. 1999. № 6. С. 26–27.
- Шаскольский В. В., Шаскольская Н. Д. Антиоксидантная активность прорастающих семян // Хлебопродукты. 2007. № 8. С. 58–59. EDN: IAIJSJ.
- Buriro M., Oad F. C., Keerio M. I., Tunio S. [et al.]. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes // Sarhad Journal of Agriculture. 2010. Vol. 27, Iss. 4. P. 539–543.
- Kariluoto S., Liukkonen K.-H., Myllymäki O., Vahteristo L. [et al.]. Effect of germination and thermal treatments on folates in rye // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54, Iss. 25. P. 9522–9528. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf061734j>.
- Kim Y.-S., Kim J.-G., Lee Y.-S., Kang I.-J. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout // Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2005. Vol. 34, N 1. P. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.1.081>.
- Leonova S., Veber A., Kalugina O., Badamshina E. [et al.]. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2023. Vol. 51, Iss. 2. Article number: 13088. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha51213088>.
- Romulo A., Sadek N. F. Antioxidant and nutritional analysis of organic black rice (*Oryza sativa* L.) milk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 998. Article number: 012055. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012055>.
- Samtiya M., Aluko R. E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2. Article number: 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.

References

- Antipova, L. V., Grebenshchikov, A. V., Mishchenko, A. A., Osipova, N. A. et al. 2017. Sprouted lentil seeds are a source of nutrients and means for restoring the performance of athletes. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-healthy Food Products*, 4(18), pp. 69–79. EDN: ZWNPNQ. (In Russ.)
- Antipova, L. V., Kurchaeva, E. E., Perelygin, V. M. 2001. Study of the process of soaking lentil seeds to obtain aqueous dispersions from them. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 5–6(264–265), pp. 54–55. EDN: QCPHRR. (In Russ.)
- Bychkov, A. L., Lomovskii, O. I. 2017. Modern achievements in mechanoenzymatic processing of plant raw materials. *Chemistry of Plant Raw Material*, 2, pp. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprn.2017021546>. EDN: ZFAHWP. (In Russ.)
- Veber, A. L., Leonova, S. A. 2023. Changes in the fatty acid composition and lipid profile of pea and bean grains during germination. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 72–89. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>. EDN: RBMRSF. (In Russ.)
- Veber, A. L., Kazydub, N. G., Leonova, S. A., Zhiarno, M. 2017. Obtaining a biologically active component from sprouted beans for the purpose of its subsequent use. *Khleboproducty*, 6, pp. 35–38. EDN: YTAMUJ. (In Russ.)
- Veber, A. L., Leonova, S. A., Kondrat'eva, O. V. 2022. Consumer properties and potential demand for "Dairy Alternatives" products from domestic varieties of peas and beans. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(1), pp. 108–123. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-108-122>. EDN: KGQULO. (In Russ.)
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. 2018. Proteolytic enzyme preparations in the biotransformation of processed products of grains and legumes. *Aktualnaya Biotekhnologiya*, 3(26), pp. 306–310. EDN: HEIBOP. (In Russ.)
- Voziyaniy, V. I., Taran, M. G., Yakobutsa, M. D., Avadeniy, L. P. 2013. Nutritional value of varieties of soybeans, peas, beans and the content of antinutrients in them. *Leguminous and Cereal Crops*, 1(5), pp. 26–29. EDN: QCSQJN. (In Russ.)

- Golyazimova, O. V. 2010. Mechanical activation of enzymatic hydrolysis of cellulose and lignocellulosic materials. Abstract of Ph.D. dissertation. Novosibirsk. (In Russ.)
- Gorlov, I. F., Semenova, I. A., Mosolov, A. A., Slozhenkin, A. B. et al. 2018. A new method for reducing the content of antinutrients in legumes. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 3, pp. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/3/71-73>. EDN: XUJTHF. (In Russ.)
- Erofeeva, A. V., Burmasova, M. A., Sysoeva, M. A. 2023. Preparation of oat-based drinks with herbal additives. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 249–256. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256>. EDN: XSYMM. (In Russ.)
- Zotikov, V. I., Polukhin, A. A., Griadunova, N. V. et al. 2020. Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements. *Legumes and Groat Crops*, 4(36), pp. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198. EDN: BPRYFH. (In Russ.)
- Zotikov, V. I., Sidorenko, V. S., Griadunova, N. V. 2018. Development of the production of grain legumes in the Russian Federation. *Legumes and Groat Crops*, 2(26), pp. 4–10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008. EDN: UQRBKK. (In Russ.)
- Katyuk, A. I., Shabolkina, E. N., Vasin, A. V., Bulatova, K. A. et al. 2019. Nutritional benefits of bean, soybean and pea seeds of varieties selected by the Samara Research Institute of Agriculture. *Grain Economy of Russia*, 4, pp. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13>. EDN: DDPRTA. (In Russ.)
- Pashchenko, L. P. 2009. Development of technology for bread enriched with chickpea seeds. *Advances in Current Natural Sciences*, 1, pp. 24–38. EDN: KUHDUT. (In Russ.)
- Pokrovsky, A. A., Ertanov, I. D. 1965. Attackability of food proteins. *Voprosy Pitaniya*, 3, pp. 38–44. (In Russ.)
- Samofalova, L. A., Safronova, O. V. 2016. Analysis of the physical and chemical foundations of the technology of plant-based milk substitutes. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 2(37), pp. 60–64. EDN: VTRCTV. (In Russ.)
- Solomintsev, M. V., Mogil'nyi, M. P. 2009. Determination of the activity of proteolytic enzyme inhibitors in food products. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 1(307), pp. 13–16. EDN: JWSBFJ. (In Russ.)
- Tolkacheva, A. A., Cherenkov, D. A., Korneeva, O. S., Ponomarev, P. G. 2017. Enzymes for industrial use – review of the market for enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(4(74)), pp. 197–203. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>. EDN: YRTTZE. (In Russ.)
- Algazin, D. N., Zabudsky, A. I., Vorobev, D. A. et al. Omsk SAU. 2015. Device for growing plants, Russian Federation, Pat. 160896. (In Russ.)
- Frolov, V. Yu., Klasner, G. G., Tarasov, V. S., Baranov, V. P. 2020. Analysis of methods for processing leguminous crops with subsequent production of feed based on them. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 157(03), pp. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-157-016>. (In Russ.)
- Tsapalova, I. E., Sotnikov, O. M. 1999. Increasing the biological value of bread by bioactivation of wheat grain. The influence of germination on the chemical composition and quality of gluten. *Bakery of Russia*, 6, pp. 26–27. (In Russ.)
- Shaskol'skii, V. V., Shaskol'skaya, N. D. 2007. Antioxidant activity of germinating seeds. *Khleboproducty*, 8, pp. 58–59. EDN: IAIJSJ. (In Russ.)
- Buriro, M., Oad, F. C., Keerio, M. I., Tunio, S. et al. 2010. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(4), pp. 539–543.
- Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vahteristo, L. et al. 2006. Effect of germination and thermal treatments on folates in rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), pp. 9522–9528. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf061734j>.
- Kim, Y.-S., Kim, J.-G., Lee, Y.-S., Kang, I.-J. 2005. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 34(1), pp. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.1.081>.
- Leonova, S., Veber, A., Kalugina, O., Badamshina, E. et al. 2023. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2). Article number: 13088. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha51213088>.
- Romulo, A., Sadek, N. F. 2022. Antioxidant and nutritional analysis of organic black rice (*Oryza sativa* L.) milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 998. Article number: 012055. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012055>.
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T. 2020. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2. Article number: 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.

Сведения об авторах

Вебер Анна Леонидовна – Институтская пл., 1, г. Омск, Россия, 644008;
Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Anna L. Veber – 1 Institutskaya Sq., Omsk, Russia, 644008;
The Stolypin Omsk State Agrarian University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: anna.web@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Леонова Светлана Александровна – ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, Россия, 450054;
Башкирский государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: s.leonova@inbox.ru

Svetlana A. Leonova – 34, 50-letiya Oktyabrya Str., Ufa, Russia, 450054;
Bashkir State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: s.leonova@inbox.ru

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10845-98	Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. М., 2001.
ГОСТ 10846-91	Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М., 2009.
ГОСТ 13586.5-2015	Зерно. Метод определения влажности. М., 2019.
ГОСТ 13979.9-69	Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы. М., 2017.
ГОСТ 26176-2019	Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М., 2019.
ГОСТ 28674-2019	Горох. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ 29033-91	Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. М., 1992.
ГОСТ 31480-2012	Комбикорма, комбикормовое сырье. Определение содержания аминокислот (лизина, метионина, треонина, цистина и триптофана) методом капиллярного электрофореза. М., 2012.
ГОСТ 7758-2020	Фасоль продовольственная. Технические условия. М., 2020.
ГОСТ Р 55569-2013	Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза. М., 2014.
М.04-38-2009	Определение протеиногенных аминокислот в комбикормах и сырье. М., 2014.