

УДК 633.12:615.322

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ ИЗ ЛУЗГИ ГРЕЧИХИ

© С.М. Корпачева¹, А.Н. Сапожников^{1*}, И.О. Ломовский²

¹ Новосибирский государственный технический университет,
пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073 (Россия),
e-mail: a.sapozhnikov@corp.nstu.ru

² Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск, 630090 (Россия)

В работе представлены технологические аспекты получения пищевой добавки из лузги гречихи посевной. Лузга является основным вторичным сырьевым ресурсом, образующимся при переработке гречихи посевной. Ее выход составляет в среднем от 20 до 22%, при этом она ограничено используется для последующей переработки в пищевых и иных целях, несмотря на ряд проведенных исследований в данном направлении. Вместе с тем лузга гречихи является источником полифенольных соединений, представленных флавоноидами (2.2 мг/г), а также содержит в своем составе пищевые волокна (45.6%). В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что целесообразной является переработка лузги гречихи в порошок с использованием механохимической обработки (МХО), параметры которой были определены в процессе его получения. Также целесообразно в процессе МХО добавлять гидрокарбонат натрия (NaHCO₃) в количестве 5% от порошка. При данной дозировке достигается максимальный выход пигмента меланина (14.3%) и повышается антиоксидантная активность готового продукта (в 3.5 раза). Установлено, что при МХО грубодисперсного порошка из лузги гречихи изменяется доступность компонентов, в частности, увеличивается массовая доля растворимых веществ в 2.2 раза, повышается выход биологически активных веществ (БАВ): флавоноидов – в 3.6 раза, меланина – в 1.9 раза, и именно это обуславливает повышение пищевой ценности готового продукта. Полученный тонкодисперсный порошок рекомендуется использовать в качестве пищевой добавки при разработке рецептур новых видов продуктов, в том числе – продукции общественного питания.

Ключевые слова: вторичные сырьевые ресурсы, лузга гречихи, порошок из лузги гречихи, антиоксидантная активность, измельчение, механохимическая обработка, биологически активная добавка, меланин.

Работа выполнена в рамках ГосЗадания ИХТТМ СО РАН, проект № 121032500067-9.

Введение

В настоящее время Россия занимает первое место в мире по объемам производства гречневой крупы, сырьем для получения которой является зерновая культура гречиха посевная (*Fagopyrum sagittatum* Gilib.) [1]. Благодаря важному значению гречихи как зерновой сельскохозяйственной культуры, в том числе неприхотливости при выращивании, ее культивирование распространено практически по всей территории России, в т.ч. в Сибирском и Алтайском регионах, где гречиха считается местным растительным сырьем [2, 3].

При переработке зерна гречихи в гречневую крупу образуются отходы, которые представлены порошком – расколотыми на части ядрами гречихи, лузгой – цветочными и плодовыми оболочками, мукой – отрубями, а также соломой – стеблями. При этом среди всех отходов наибольший интерес представляет лузга гречихи. В зависимости от различных факторов – сорта гречихи, условий ее выращивания, параметров технологического процесса переработки – количество лузги при ее переработке составляет в среднем от 20 до 22% [4, 5]. От этих же факторов зависит и химический состав лузги.

Корпачева Светлана Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств,
e-mail: evtechova@mail.ru, korpacheva@corp.nstu.ru

Сапожников Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств,
e-mail: alexnsk@ya.ru, a.sapozhnikov@corp.nstu.ru

Ломовский Игорь Олегович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией,
e-mail: lomovsky@solid.nsc.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Известно, что лузга гречихи обладает высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ) – витаминов, минеральных веществ, полифенолов, среди которых в наибольшей степени выделяются рутин и пигмент меланин, имеющие высокую антиоксидантную активность [6, 7].

Несмотря на то, что лузга гречихи обладает полезными свойствами, производители гречневой крупы, как правило, ее выбрасывают или сжигают [8]. Вместе с тем наряду с описанными выше полезными свойствами лузга обладает низкой стоимостью как вторичный сырьевой ресурс, что также показывает целесообразность ее переработки с целью получения биологически активных пищевых ингредиентов [9].

Известно, что лузгу гречихи после предварительной обработки возможно использовать в качестве источника пищевых волокон, корма для сельскохозяйственных животных, сорбирующего или композиционного материала, удобрения для растений, ингибитора коррозии, красителя, дубильного вещества и др. [10]. Гемиллюлозы, выделенные из гречишной лузги путем щелочной экстракции, добавляемые в количестве 0.3–0.5% от пшеничной муки, могут улучшать реологические свойства теста и органолептические показатели готовых хлебобулочных изделий [11]. Также она может использоваться как ингредиент для приготовления напитков – кваса [12] и чая [13], а также кисломолочных продуктов, например йогурта [14]. Перспективным является использование лузги гречихи как источника меланина для его использования в качестве пищевого красителя [15]. Вместе с тем в доступных источниках информация о практическом применении предлагаемых способов большей частью отсутствует, несмотря на перспективность использования лузги как вторичного сырьевого ресурса. Также не рассматривалась возможность применения механохимического способа переработки лузги гречихи. Известно, что данный способ позволяет более полно извлечь вещества из растительного сырья с их минимальными потерями по сравнению с другими способами переработки [16, 17].

Все вышесказанное определяет актуальность проводимого исследования.

Цель работы – экспериментальное исследование технологического процесса получения, химического состава и технологических свойств пищевой добавки из лузги гречихи путем ее механохимической обработки.

Экспериментальная часть

Объекты исследования. Объектом исследования являлась лузга гречихи сорта «Дикуль», закупленная в ООО «Элеваторный комплекс Безменовский» (Новосибирская область, Черепановский район), урожая 2017–2020 гг., а также порошки из лузги гречихи, полученные механической и механохимической обработкой (МХО).

Организация эксперимента. На начальном этапе оценивали внешний вид, запах и вкус лузги гречихи, исследовали ее химический состав – влажность, содержание белка, жира, пищевых волокон (целлюлозы, лигнина, пектиновых веществ), полисахаридов (пентозанов), флавоноидов, зольность.

Далее из лузги гречихи в две стадии получали тонкодисперсный порошок. На первой стадии использовалась механическая обработка лузги, на второй – МХО полученного грубодисперсного порошка.

На первой стадии производили очистку лузги гречихи от сорной и зерновой примесей, после чего очищенную лузгу дозировали и измельчали в дезинтеграторе DESI-11 (DESI, Эстония), предназначенном для измельчения сыпучих, порошковых и зернистых материалов до порошкообразного состояния. Измельчение осуществляли до размера частиц не более 1 мм при частоте вращения роторов 12000 мин⁻¹. При этом на выходе получали продукт с температурой не выше 70 °С за счет настройки системы охлаждения устройства. Полученный грубодисперсный порошок исследовали по физико-химическим показателям в сравнении с лузгой гречихи: влажности, массовой доле белка, жира, полисахаридов (пентозанов), пищевых волокон, флавоноидов, зольности. Также порошок исследовали на выход меланина, антиоксидантную активность (по кверцетину) (АОА) и по технологическим свойствам: массовой доле водорастворимых экстрактивных веществ, линейному и удельному размерам частиц, углу естественного откоса, сыпучести, насыпной плотности и влагоудерживающей способности.

На второй стадии грубодисперсный порошок из лузги гречихи дозировали, пропускали через металлоуловитель, перемешивали с гидролизующим компонентом, а затем снова пропускали через металлоуловитель. МХО полученной смеси проводили в воздушно-сухом состоянии в проточно-центробежной мельнице-активаторе RM-50 (Retsch, Германия) при частоте вращения ротора 1050 мин⁻¹ в течение 2 мин. В качестве гидролизующего компонента использовали гидрокарбонат натрия (NaHCO₃), в количестве 1–9% от массы грубодисперсного порошка. Полученный тонкодисперсный порошок исследовали по физико-химическим показателям, аналогичным для грубодисперсного порошка, в сравнении с ним и лузгой гречихи и по технологическим свойствам, аналогичным для грубодисперсного порошка, в сравнении с ним. Также

для тонкодисперсного порошка из лузги гречихи, полученного в результате МХО, исследовалась морфология выделенного из него меланина.

Методы исследований. Отбор проб и образцов объектов исследования осуществлялся в количествах, необходимых для получения достоверных результатов исследований по ГОСТ 27668-88. Влажность образцов определяли воздушно-тепловым методом по ГОСТ 26312.7-88. Массовую долю белка в образцах определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 26889-86. Массовую долю жира определяли с помощью автоматического экстрактора жира SER 148/6 (VELP Scientifica, Италия) по ГОСТ 29033-91. Массовую долю клетчатки определяли методом Кюршнера и Ганека по ГОСТ 13496.2-91, лигнина – методом ИК-Фурье в среднем инфракрасном диапазоне [18], пектиновых веществ – в соответствии с патентом РФ №2434532 [19], пентозанов – по ГОСТ 10820.75. Зольность (массовую долю золы) определяли по ГОСТ 26312.5-84. Определение АОА проводили в соответствии с утвержденной методикой в соответствии со свидетельством № 31-07 от 04.05.2007 [20]. Для определения количественного содержания флавоноидов (по рутину) был выбран способ, предусматривающий спектрофотометрический анализ по реакции комплексообразования с хлоридом алюминия [21].

Для выделения меланина из навесок образцов порошков массой 10 г экстрагировали 0.1 М водным раствором гидроксида натрия (NaOH) с гидромодулем 1 : 10 при 60 °С в течение 60 мин. Полученный экстракт отфильтровывали путем центрифугирования, далее pH раствора доводили до состояния слабокислой среды 0.2 М водным раствором соляной кислоты (HCl). Выделившийся осадок – меланин – отфильтровывали, промывали водой и высушивали при 105–110 °С.

С целью подтверждения наличия меланина в экстрактах образцов проводили качественные реакции [22]: с KMnO_4 – изменение коричневого цвета раствора на зеленый; с FeCl_3 – выпадение хлопьевидного осадка рыжего цвета; с H_2O_2 – незначительное обесцвечивание раствора.

Выход меланина (B , %) рассчитывали как отношение массы выделившегося меланина к массе навески порошка по формуле:

$$B = \frac{m_m}{m_n} \times 100\% \quad (1)$$

где m_m – масса выделившегося меланина, г; m_n – масса навески образца, г.

Анализ линейных и удельных размеров частиц образцов порошков проводили на приборе CamSizer X2 (Retsch, Германия) в режиме диспергации частиц образцов воздушным потоком. Подачу образцов в область измерения осуществляли по окончании процессов механической обработки и МХО без дополнительной пробоподготовки.

Частицы образцов по линейным размерам и форме также анализировали на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 (Япония). Перед микроскопированием пробоподготовку осуществляли следующим образом: образцы высушивали при 105–110 °С для их максимальной дегидратации, после чего помещали на специальную смотровую площадку, имеющую вид металлической таблетки. Для этого на площадку наклеивали двустороннюю липкую ленту-держатель, на которой закрепляли исследуемые объекты. После этого смотровую площадку с объектами исследования устанавливали на устройство с винтом для настройки высоты, а само устройство – на приспособление для измерения высоты образца. Вращением фиксирующей гайки высоту держателя устанавливали таким образом, чтобы зазор между самой верхней частью исследуемого объекта и нижней поверхностью приспособления для измерения высоты попал в диапазон от 0.5 до 1.5 мм. Далее устройство со смотровой площадкой с объектом исследования устанавливали в вакуумную рабочую камеру микроскопа, после чего проводили просмотр образцов и запись данных.

Морфологический анализ меланина исследовали путем анализа его частиц и полутонкого среза в отраженном свете на световом микроскопе DM 2500 (Leica, Германия). Фотосъемку проводили с помощью цифровой камеры DFC420 C (Leica, Германия). Анализ морфологии частиц производили путем помещения образца меланина на предметное стекло с последующей фиксацией покровным стеклом при 10-кратном увеличении объектива.

Для морфологического анализа полутонкого среза меланина его замачивали в дистиллированной воде в течение 12 ч, затем фиксировали в течение 6 ч в 4%-ном растворе параформальдегида, после чего проводили дофиксацию в 1%-ном растворе четырехоксида осмия в течение 3 ч, обезвоживали в растворах этилового спирта и ацетоне и заключали в эпоксидную смолу (смесь SPI-PON 812, Araldite 502, DDSA с добавлением катализатора DMP 30). Полимеризацию материала проводили в термостате 6 ч при 30 °С. Из

полученного блока на ультрамикротоме EM UC7 (Leica, Германия) изготавливали полутонкие срезы толщиной около 1 мкм, которые монтировали на предметные стекла, окрашивали красителем «Азур-П» и заключали в вышеупомянутую смолу под покровные стекла. Исследование проводили при 40-кратном увеличении объектива.

Массовую долю водорастворимых экстрактивных веществ в образцах порошков определяли путем однократной экстракции 70%-ным раствором этилового спирта по ОФС.1.5.3.0006.15. Угол естественного откоса, сыпучесть и насыпную плотность определяли по ОФС.1.4.2.0016.15.

Для определения влагоудерживающей способности (ВУС) образцов порошков навески образцов массой 5 г помещали во взвешенные центрифужные пробирки, добавляли 20 см³ дистиллированной воды, перемешивали и оставляли на 30 мин, периодически перемешивая содержимое пробирки стеклянной палочкой. Затем содержимое пробирки центрифугировали на центрифуге лабораторной ОПН-16 (Лабтех, Россия) при 8000 об./мин. После центрифугирования неадсорбированную воду сливали и взвешивали пробирки. ВУС, %, рассчитывали по формуле:

$$ВУС = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% , \quad (2)$$

где m_1 – масса влажной навески, г; m – масса сухой навески, г.

Все эксперименты проводились в пятикратной повторности.

Результаты и обсуждение

Внешний вид лужги гречихи посевной сорта «Дикуль» представлен на рисунке 1. Оценка внешнего вида лужги гречихи посевной показала, что она окрашена в темно-коричневый цвет, не имеет дефектов и признаков порчи. Запах и вкус лужги – ярко выраженные, свойственные гречихе, без посторонних привкусов и запахов.

В результате анализа данных, полученных при микроскопировании (рис. 2), были определены следующие параметры частиц лужги: линейный размер составил 2.0 мм, толщина стенок – от 160 до 180 мкм.

Результаты определения химического состава лужги гречихи посевной представлены в таблице 1.

Установлено, что отличительной особенностью лужги гречихи является высокое содержание флавоноидов (58–62 мг) и пищевых волокон (21.8–22.8 г) на 100 г. При этом показатели химического состава лужги по годам колеблются в небольших пределах в зависимости от условий выращивания.

Продукт механической обработки лужги гречихи представлял собой грубый порошок серовато-коричневого цвета, который далее подвергали МХО.

МХО представляет собой сложный физико-химический процесс накопления потенциальной энергии вещества и повышения его химической активности за счет увеличения поверхностной энергии и энергии внутреннего строения. Этот процесс определяется изменением энергетического состояния, физического строения и химических свойств природных полимеров вследствие приложения к ним значительных механических сил. Так, при интенсивном механическом воздействии реализуются большие скорости изменения механической нагрузки на исходное растительное сырье и возникают явления, которые в корне отличаются от процессов «мягкой» обработки. В результате в исходном продукте наблюдается значительная деструкция, происходят различные нарушения структуры компонентов исходных биополимеров (клетчатки, крахмала, пектинов и др.). Это, в свою очередь, приводит к существенному изменению свойств вещества, особенно растворимости, устойчивости дисперсий, способности к набуханию полученного с помощью МХО порошка [23–25].



Рис. 1. Внешний вид лужги гречихи посевной

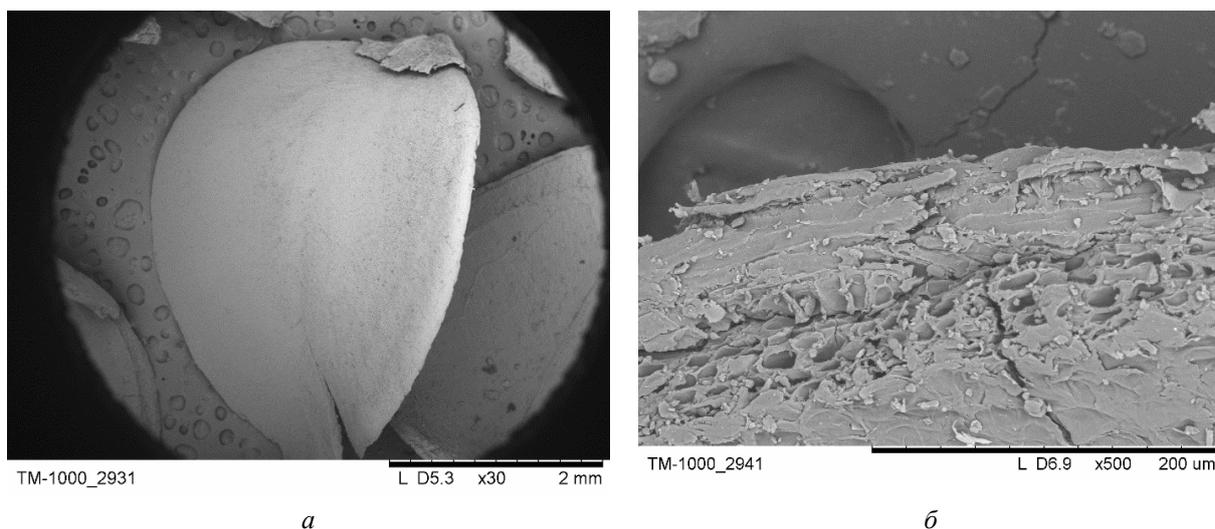


Рис. 2. Внешний вид лузги гречихи посевной под микроскопом: *а* – увеличение в 30 раз, *б* – увеличение в 500 раз

Таблица 1. Химический состав лузги гречихи сорта «Дикуль» урожая 2017–2020 гг. (Черепановский район, Новосибирская область) ($n = 5$)

Наименование показателя	Значение			
	2017	2018	2019	2020
Влажность, %	13.2±0.5	13.6±0.5	13.4±0.5	12.8±0.5
Массовая доля белка, %	4.0±0.1	3.8±0.1	4.1±0.1	4.4±0.1
Массовая доля жира, %	0.41±0.02	0.45±0.02	0.42±0.02	0.42±0.02
Пищевые волокна, г/100 г				
Целлюлоза	22.4±0.2	22.8±0.2	21.8±0.2	22.2±0.2
Лигнин	20.14±0.06	20.52±0.06	20.59±0.06	21.31±0.06
Пектиновые вещества	3.22±0.06	3.13±0.06	3.21±0.06	3.74±0.06
Полисахариды (пентозаны), %	18.17±0.6	19.13±0.6	19.1±0.6	19.3±0.6
Зольность, %	1.68±0.05	1.62±0.03	1.66±0.05	1.61±0.08
Флавоноиды, мг/100 г	62±1.1	58±1.0	61±1.1	61±1.1

МХО полученной смеси проводили в воздушно-сухом состоянии в проточно-центробежной мельнице-активаторе РМ-50 при частоте вращения ротора 1050 мин^{-1} в течение 2 мин. При этом обеспечивался выход продукта с температурой не выше $70 \text{ }^\circ\text{C}$ за счет эффективной системы охлаждения мельницы-активатора во избежание пересушивания продукта. В процессе МХО частицы компонентов порошка из лузги гречихи и гидрокарбоната измельчаются и перемешиваются, вследствие чего легко реагируют между собой.

Параметры процесса МХО были определены опытным путем. Варьировались следующие параметры: частота вращения ротора мельницы-активатора, время пребывания в каждой обработке – 0–3 мин. На основании предварительного эксперимента были установлены следующие параметры этапов процесса МХО и характеристики получаемого продукта, представленные в таблице 2.

В результате МХО был получен тонкодисперсный порошок коричневого цвета. Было установлено, что время пребывания в зоне обработки менее 0.5 мин не позволяет получить качественный тонкодисперсный порошок. В свою очередь, время пребывания более 2.5 мин не приводит к дальнейшему увеличению эффективности обработки. Следовательно, 2 мин является оптимальным временем для МХО.

Таким образом, МХО приводит к существенному уменьшению размеров частиц до 56 мкм и увеличению удельной поверхности от 0.5 до $2.3 \text{ м}^2/\text{г}$.

Визуальное влияние МХО на линейный размер частиц порошка из лузги гречихи представлено на рисунке 3.

Установлено, что дисперсность порошка из лузги гречихи составляет 56 мкм (не менее 92% массы порошка), что соответствует размеру частиц тонкодисперсных порошков (размер частиц менее 300 мкм), и является оптимальной для включения в пищевую матрицу. Ввиду того, что порошок планировалось использовать в том числе при производстве продукции общественного питания, в т.ч. мучных кондитерских изделий, степень дисперсности порошка должна быть приближена к степени помола муки высшего сорта.

В процессе МХО было изучено варьирование дозировки NaHCO_3 от 1 до 9% с шагом 2 и ее влияние на выход меланина и АОА порошка из лузги гречихи. NaHCO_3 является безопасным и разрешенным к применению пищевым ингредиентом с индексом E500 и применяется в производстве пищевой продукции в качестве разрыхлителя. В присутствии NaHCO_3 происходит повышение pH среды и разупорядочение структуры клеточных стенок лузги, а меланин, содержащийся в лузге, переходит в солевую форму, которая хорошо растворяется в воде [26, 27]. На рисунке 4 представлена химическая реакция меланина с NaHCO_3 , в результате которой меланин выделяется в виде соли натрия. Стрелка на рисунке указывает продолжение полимера.

Влияние дозировки NaHCO_3 на выход (доступность к извлечению) меланина из тонкодисперсного порошка их лузги гречихи и его АОА представлены на рисунке 5.

Установлено, что максимальная эффективность выхода меланина (14.3%), и АОА (10.1 мг/г) для тонкодисперсного порошка из лузги гречихи достигается при добавлении 5% NaHCO_3 к грубодисперсному порошку из лузги гречихи. Введение NaHCO_3 в концентрации менее 1% нецелесообразно, так как дает незначительный эффект и в концентрации более 5% также является нецелесообразным, так как не приводит к значительному увеличению эффекта.

Проведенные качественные реакции с KMnO_4 , FeCl_3 и H_2O_2 подтвердили наличие меланина в экстрактах образцов порошков. Очищенный и высушенный препарат меланина по внешнему виду представлял собой порошок черно-коричневого цвета без вкуса и запаха.

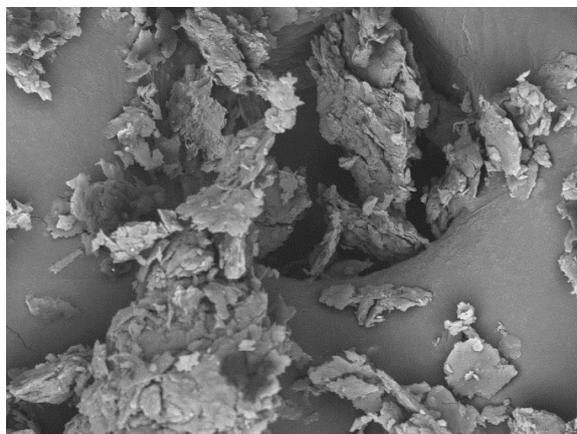
Увеличение выхода меланина при МХО грубодисперсного порошка лузги гречихи обусловлено его переходом в растворимую форму в виде соли натрия в результате химической реакции и большей степенью разрушения клеточных стенок лузги гречихи при тонкодисперсном измельчении, что свидетельствует о целесообразности применяемого метода МХО.

Фотографии меланина, сделанные световым микроскопом, представлены на рисунке 6. На рисунке 6а можно наблюдать морфологическое строение кристаллов меланина, на рисунке 6б – полутонкий срез меланина, окрашенный красителем «Азур-П», на котором видна его слоистая структура.

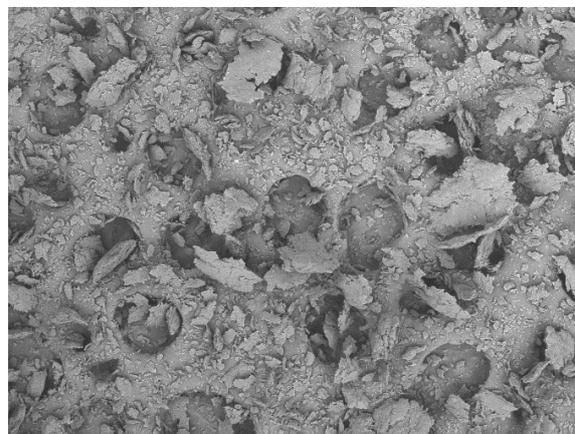
Данные по физико-химическим показателям порошка из лузги гречихи до и после МХО в сравнении с показателями лузги гречихи представлены в таблице 3.

Таблица 2. Параметры этапов процесса МХО и характеристики получаемого тонкодисперсного порошка из лузги гречихи (частота вращения ротора – 1050 об/мин)

Время активации, мин	Удельная поверхность частиц, м ² /г	Размеры частиц, мкм
0 (порошок до МХО)	0.5±0.02	500–1000
0.5	0.5±0.02	500–1000
1.0	0.9±0.05	130–180
1.5	1.6±0.08	100–130
2.0	2.3±0.05	56±2
2.5	2.3±0.12	56±2
3.0	2.3±0.12	56±2



а



б

Рис. 3. Фотографии порошка из лузги гречихи, полученные электронным микроскопированием, до и после МХО: а – до МХО, б – после МХО

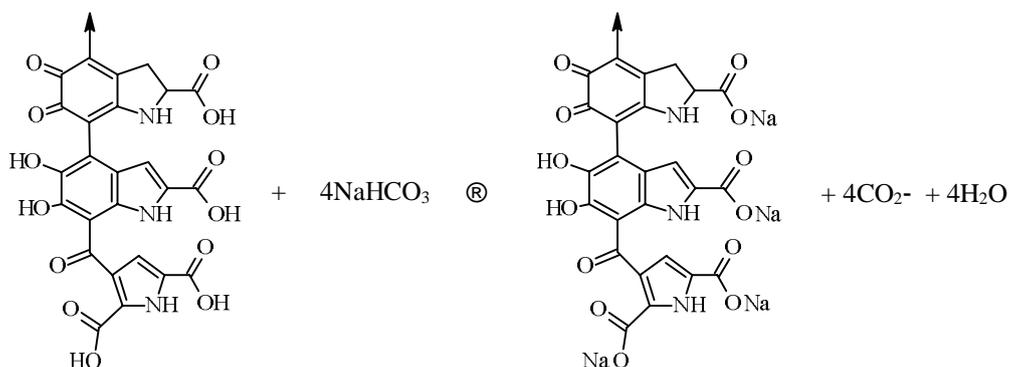
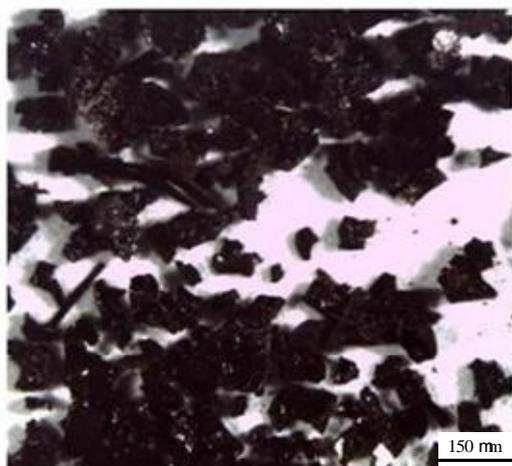
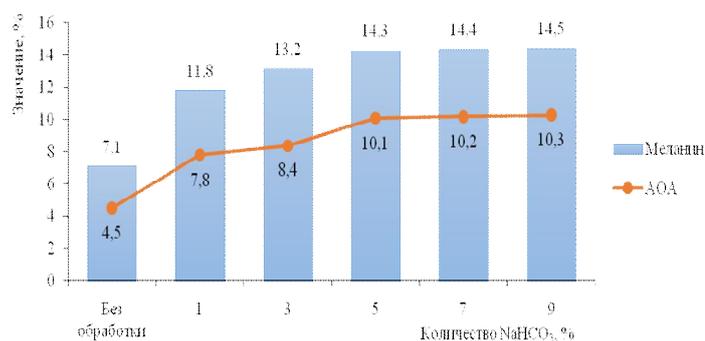


Рис. 4. Реакция меланина с гидрокарбонатом натрия

Рис. 5. Выход меланина из порошка из лузги гречихи и АОА порошка в зависимости от дозировки NaHCO₃ при МХО грубодисперсного порошка из лузги гречихи



a



б

Рис. 6. Морфология меланина, выделенного из тонкодисперсного порошка из лузги гречихи после МХО: *a* – частицы меланина при 10-кратном увеличении в отраженном свете, *б* – полутонкий срез меланина, окрашенный красителем «Азур-II» при 40-кратном увеличении в отраженном свете

Таблица 3. Физико-химические показатели порошков из лузги гречихи в сравнении с лузгой гречихи (n=5)

Показатель	Лузга гречихи	Грубодисперсный порошок из лузги гречихи до МХО	Тонкодисперсный порошок из лузги гречихи после МХО
Влажность, %	13.4±0.7	13.4±0.7	13.2±0.6
Массовая доля белка, %	4.1±0.1	4.1±0.1	3.8±0.1
Массовая доля жира, %	0.42±0.02	0.42±0.02	0.42±0.02
Полисахариды (пентозаны), %	19.1±0.6	19.1±0.5	19.1±0.5
Пищевые волокна, г/100 г	45.6±1.8	45.6±1.8	45.6±1.9
Зольность, %	1.6±0.1	1.6±0.1	1.7±0.1
Флавоноиды, мг/г	0.61±0.02	0.61±0.02	2.2±0.1
АОА, мг/г образца	–	4.5±0.2	10.3±0.5
Выход меланина, %	–	7.1±0.2	14.3±0.3

Установлено, что механическое измельчение лузги гречихи не меняет его химический состав и доступность содержащихся в нем веществ. При этом МХО грубодисперсного порошка снижает содержание белка в полученном тонкодисперсном порошке на 0.3%, что может быть объяснено его частичным разрушением при нагреве во время МХО. Содержание жира в образцах порошков осталось одинаковым, так как он содержится в лузге в незначительном количестве и изменение его содержания не было зафиксировано используемым прибором.

Содержание пищевых волокон, пентозанов и влажность порошка остаются неизменными. Повышение зольности тонкодисперсного порошка на 0.1% объясняется добавлением к исходному грубодисперсному порошку 5% NaHCO_3 и его вступлением в реакцию с меланином.

В свою очередь, МХО грубодисперсного порошка из лузги гречихи повышает выход флавоноидов в 3.6 раза, меланина – в 1.9 раза и АОА – в 3.5 раза.

Ранее проводились исследования по получению порошка из лузги гречихи и экстрактов из него различными способами. Так, имеются исследования по получению тонкодисперсного порошка из лузги гречихи путем его простого помола [28]. Указанный способ является технически простым по осуществлению, но не обеспечивает высокого выхода БАВ. Имеются способы по получению меланина и других БАВ из лузги гречихи путем экстракции при различных режимах [29–31]. Также порошок из лузги гречихи может быть получен путем замачивания лузги в присутствии комплексного ферментного препарата с последующей сушкой и помолом [32]. Недостатком данных процессов является их сложность и многостадийность, в том числе наличие жидкофазных стадий и сушки, и низкий выход БАВ. При этом МХО в данных способах не применялась. В то же время предлагаемый способ является более простым за счет исключения жидкофазных стадий и сушки и обеспечивающим более высокий выход БАВ, что свидетельствует о перспективности его использования.

Результаты исследования технологических свойств порошков из лузги гречихи представлены в таблице 4.

Из полученных данных следует, что в результате МХО порошка из лузги гречихи незначительно уменьшилась влажность и угол естественного откоса, содержание водорастворимых экстрактивных веществ в полученном порошке после МХО увеличивается на 6%.

Полученный порошок из лузги гречихи МХО обладает очень хорошей сыпучестью, чем меньше угол откоса, тем выше сыпучесть. После МХО уменьшился размер частиц, увеличилась дисперсность, вследствие этого насыпная плотность порошка стала больше.

Порошок из лузги гречихи содержит пищевые волокна, целлюлозу, лигнин и пектиновые вещества, которые хорошо поглощают влагу. При этом тонкодисперсный порошок имеет более высокую ВУС вследствие большей суммарной поверхности частиц.

Таким образом, полученный тонкодисперсный порошок рекомендуется использовать в качестве пищевой добавки при разработке рецептур новых видов продуктов, в том числе – продукции общественного питания.

Таблица 4. Технологические свойства порошков из лузги гречихи ($n=5$)

Показатель	Грубодисперсный порошок из лузги гречихи до МХО	Тонкодисперсный порошок из лузги гречихи после МХО
Массовая доля водорастворимых экстрактивных веществ, %	5±1	11±1
Размер частиц, мкм	500–1000	56±2
Угол естественного откоса, градус	31–33	29–30
Сыпучесть, г/с	6.6±0.2	8.1±0.2
Насыпная плотность, г/см ³	0.57±0.02	0.68±0.02
Влагоудерживающая способность, %	70.0	110.0

Выводы

1. В результате изучения химического состава лузги гречихи посевной установлено, что ее отличительной особенностью является содержание в 100 г пищевых волокон (21.8–22.8 г) и флавоноидов (58–62 мг).

2. В результате экспериментальных исследований определены параметры процесса получения порошка из лузги гречихи с применением МХО. Установлены оптимальные режимы: частота вращения роторов дезинтегратора – 12000 мин⁻¹; ротора мельницы-активатора – 1050 мин⁻¹, время пребывания в каждом режиме – 2 мин.

3. Максимальная эффективность выхода меланина и АОА достигаются при добавлении 5% NaHCO₃ при МХО грубодисперсного порошка из лузги гречихи. Введение NaHCO₃ в концентрации менее 1% нецелесообразно, так как дает незначительный эффект, и в концентрации более 5% также является нецелесообразным, так как не приводит к увеличению эффекта.

4. МХО грубодисперсного порошка из лузги гречихи определяет повышение его пищевой ценности за счет увеличения выхода флавоноидов в 3.6 раза, меланина – в 1.9 раза и повышения антиоксидантной активности в 3.5 раза. За счет увеличения выхода БАВ данный способ является более эффективным по сравнению с существующими способами.

5. В тонкодисперсном порошке из лузги гречихи после МХО уменьшился размер частиц, увеличилась дисперсность, вследствие этого насыпная плотность порошка стала больше, увеличилось содержание водорастворимых экстрактивных веществ и ВУС порошка. При этом не менее 92% частиц порошка из лузги гречихи имеет линейный размер – 56 мкм и насыпную плотность – 0.68±0.02 г/см³.

Список литературы

1. Поспелова И.Н. Статистическое исследование мирового рынка гречихи // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. №5-2 (56). С. 255–258. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-255-258.
2. Маслов С.И., Бердникова М.В. О ситуации с ресурсами гречихи и гречневой крупы в России и в Алтайском крае // Хлебопродукты. 2021. №6. С. 16–19.
3. Поспелова И.Н. Факторы и предпосылки развития производства гречихи в регионе // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. №4-3 (62). С. 22–24. DOI: 10.24411/2411-0450-2020-10328.
4. Холодилина Т.Н., Антимонов С.В., Ханин В.П. Исследование возможностей повышения питательной ценности гречневой лузги // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. №10 (35). С. 153–156.
5. Марьин В.А., Верещагин А.Л. Пищевая ценность отходов переработки зерна гречихи // Хлебопродукты. 2014. №7. С. 51–53.
6. Dziadek K., Kopec A., Pastucha E., Piatkowska E., Leszczyńska T., Pisulewska E., Witkowicz R., Francik R. Basic chemical composition and bioactive compounds content in selected cultivars of buckwheat whole seeds, dehulled seeds and hulls // Journal of Cereal Science. 2016. Vol. 69. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.02.004.
7. Танашкина Т.В., Семенюта А.А., Приходько Ю.В., Клыков А.Г. Функциональные пищевые ингредиенты в зерне гречихи и продуктах ее переработки // Пищевая промышленность. 2019. №2. С. 18–21.
8. Шекуров В.Н., Таренко Б.И., Шекуров К.В. Углубленная переработка шелухи гречихи // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №5. С. 205–207.
9. Заболотная А.М., Лим Л.А., Реутов В.А., Ануфриев А.В., Руденко А.А., Ярыгин Д.В., Хребтов А.А. Некоторые аспекты комплексной технологии переработки лузги гречихи // Вестник Югорского государственного университета. 2015. №52(37). С. 99–101.
10. Клинецвич В.Н., Флюрик Е.А. Способы использования лузги гречихи посевой: обзор // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. №1 (229). С. 68–81.
11. Ebringerová Z., Stavova A., Ebringerová A., Hirsch J. Effect of buckwheat hull hemicelluloses addition on the bread-making quality of wheat flour // Journal of food and nutrition research. 2007. Vol. 46. Pp. 158–166.
12. Коростылева Л.А., Парфенова Т.В., Текутьева Л.А. Квас с использованием гречишной лузги // Пиво и напитки. 2015. №5. С. 50–52.
13. Zielinska D., Szawara-Nowak D., Zielinski H. Antioxidative and anti-glycation activity of buckwheat hull tea infusion // International journal of food properties. 2013. Vol. 16. Pp. 228–239. DOI: 10.1080/10942912.2010.551308.
14. Znamirowska A., Sajnar K., Kowalczyk M., Kluz M., Buniowska M. Effect of addition of spelt and buckwheat hull on selected properties of yoghurt // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. 2020. Vol. 10. Pp. 296–300. DOI: 10.15414/jmbfs.2020.10.2.296-300.
15. Школьникова М.Н., Кадрицкая Е.А. Обоснование использования лузги гречихи для получения функциональных пищевых красителей // Научный журнал ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2020. №4. С. 22–28. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28.
16. Lomovsky O.I., Lomovskiy I.O., Orlov D.V. Mechanochemical solid acid/base reactions for obtaining biologically active preparations and extracting plant materials // Green Chemistry Letters and Reviews. 2017. Vol. 10. Pp. 171–185. DOI: 10.1080/17518253.2017.1339832.
17. Lomovskiy I., Bychkov A., Lomovsky O., Skripkina T. Mechanochemical and size reduction machines for biorefining // Molecules. 2020. Vol. 25. 5345. DOI: 10.3390/molecules25225345.

18. Кострюков С.Г., Малов Н.А., Матякубов Х.Б., Конушкин И.А. Количественное определение лигнина в растительных материалах с помощью ИК-спектроскопии // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12. №1. С. 5–16. DOI: 10.17072/2223-1838-2022-1-5-16.
19. Патент №2434532 (РФ). Способ определения массовой доли пектиновых веществ в растительном сырье / Е.А. Ольховатов, Л.Я. Родионова, Е.В. Щербакова. – 2011.
20. Методика выполнения измерений антиоксидантов для водорастворимых проб: свидетельство № 31-07 от 04.05.2007.
21. Peřkal A., Pyrzynska K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay // Food Analytical Methods. 2014. Vol. 9. Pp. 1776–1782. DOI: 10.1007/s12161-014-9814-x.
22. Агаджанян А.Е., Асатурян Р.А., Амбарцумян А.А., Саргисян Л.Б., Овсепян А.С., Варданян А.А., Сагян А.С. Микробиологическое получение водорастворимого меланина и изучение его физико-химических свойств // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. №5. С. 551–557.
23. Ошкордин О.В., Лаврова Л.Ю., Усов Г.А. Кинетика и динамика измельчения растительного сырья для производства пищевых продуктов // Ползуновский вестник. 2011. №2/2. С. 202–206.
24. Перевозчиков П.А., Карбань О.В., Самарцев В.С. Механоактивация как метод получения наномодифицированных биологических материалов // Фундаментальные исследования. 2013. №9-3. С. 429–434.
25. Попов В.И. Механоактивация процесса переноса в полимерных системах // Прикладная механика и техническая физика. 2012. Т. 53. №6. С. 88–97.
26. Патент №2747688 (РФ). Пищевой пигмент-краситель из лузги гречихи и способ его получения / С.Ю. Абрамов, О.И. Ломовский, И.О. Ломовский. – 2021.
27. Riley P.A. Melanin // The International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 1997. Vol. 29. Pp. 1235–1239. DOI: 10.1016/S1357-2725(97)00013-7.
28. Wang L., Tang H., Li Y., Guo Z., Zou L., Li Z., Qiu J. Milling of buckwheat hull to cell-scale: Influences on the behaviors of protein and starch in dough and noodles // Food Chemistry. 2023. Vol. 423. 136347. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136347.
29. Park B.I., Kim J., Lee K., Lim T., Hwang K.T. Flavonoids in common and tartary buckwheat hull extracts and antioxidant activity of the extracts against lipids in mayonnaise // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. Pp. 2712–2720.
30. Патент №2222995 (РФ). Способ получения биологически активных веществ из лузги гречихи / М.Н. Дадашев, А.М. Алиев, Р.А. Рустамов, Р.З. Гасанов. – 2004.
31. Школьникова М.Н., Кадрицкая Е.А. Обоснование использования лузги гречихи для получения функциональных пищевых красителей // Научный журнал ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2020. №4. С. 22–28. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28.
32. Кузнецова Е.А., Климова Е.В., Шаяпова Л.В., Шуваева Е.Г., Фесенко А.Н. Производство порошка из гречневой лузги – путь к созданию безотходных высокоэффективных технологий // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №1 (37). С. 69–75. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-69-75.

Поступила в редакцию 6 марта 2023 г.

После переработки 19 мая 2023 г.

Принята к публикации 27 июня 2023 г.

Для цитирования: Корпачева С.М., Сапожников А.Н., Ломовский И.О. Технологические аспекты получения пищевой добавки из лузги гречихи // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 375–386. DOI: 10.14258/jcrpm.20230412640.

*Korpacheva S.M.*¹, *Sapozhnikov A.N.*^{1*}, *Lomovsky I.O.*² TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OBTAINING OF FOOD ADDITIVE FROM BUCKWHEAT HUSK¹ *Novosibirsk State Technical University, K. Marksa ave., 20, Novosibirsk, 630073 (Russia),**e-mail: a.sapozhnikov@corp.nstu.ru*² *Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Kutateladze str., 18, Novosibirsk, 630090 (Russia)*

The paper shows technological aspects of obtaining of biologically active food additive from buckwheat hull. Husk is the main secondary raw material resource emerged during buckwheat processing. Its yield varies from 20 to 22%. Despite several studies, it is not used in subsequent processing for food and other purposes. At the same time, buckwheat husk is a source of polyphenolic compounds, which are presented by flavonoids (2.2 mg/g), and dietary fibers (45.6%). As a result of the experimental studies, it was found that it is advisable to process buckwheat husk into powder using mechanochemical treatment. The parameters of processing were determined during research. It is also advisable to add sodium bicarbonate in the amount of 5% from the powder during mechanochemical treatment. This amount allows to achieve maximum yield of melanin pigment (14.3%) and maximum improvement in the antioxidant activity of the finished product (3.5 times). It has been established that mechanochemical treatment of buckwheat husk coarse powder changes the availability of its ingredients. Mass fraction of soluble substances increases in 2.2 times. The yield of biologically active substances also increases in 3.6 times for flavonoids and in 1.9 times for melanin. This is what determines the increase of nutritional value of finished product. The obtained fine powder is recommended to be used as an additive in producing of new types of food products, including public catering production.

Keywords: secondary raw material, buckwheat husk, buckwheat husk powder, antioxidant activity, milling, biologically active additive, melanin.

References

1. Pospelova I.N. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*, 2021, no. 5-2 (56), pp. 255–258. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-255-258. (in Russ.).
2. Maslov S.I., Berdnikova M.V. *Khleboпродукты*, 2021, no. 6, pp. 16–19. (in Russ.).
3. Pospelova I.N. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2020, no. 4-3 (62), pp. 22–24. DOI: 10.24411/2411-0450-2020-10328. (in Russ.).
4. Kholodilina T.N., Antimonov S.V., Khanin V.P. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2004, no. 10 (35), pp. 153–156. (in Russ.).
5. Mar'in V.A., Vereshchagin A.L. *Khleboпродукты*, 2014, no. 7, pp. 51–53. (in Russ.).
6. Dziadek K., Kopeć A., Pastucha E., Piątkowska E., Leszczyńska T., Pisulewska E., Witkowicz R., Francik R. *Journal of Cereal Science*, 2016, vol. 69, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.02.004.
7. Tanashkina T.V., Semenyuta A.A., Prikhod'ko Yu.V., Klykov A.G. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2019, no. 2, pp. 18–21. (in Russ.).
8. Shekurov V.N., Tarenko B.I., Shekurov K.V. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, no. 5, pp. 205–207. (in Russ.).
9. Zabolotnaya A.M., Lim L.A., Reutov V.A., Anufriyev A.V., Rudenko A.A., Yarygin D.V., Khrebtov A.A. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. S2(37), pp. 99–101. (in Russ.).
10. Klintsevich V.N., Flyurik Ye.A. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskiye tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya*, 2020, no. 1 (229), pp. 68–81. (in Russ.).
11. Ebringerová Z., Stavova A., Ebringerová A., Hirsch J. *Journal of food and nutrition research*, 2007, vol. 46, pp. 158–166.
12. Korostyleva L.A., Parfenova T.V., Tekut'yeva L.A. *Pivo i napitki*, 2015, no. 5, pp. 50–52. (in Russ.).
13. Zielinska D., Szawara-Nowak D., Zielinski H. *International journal of food properties*, 2013, vol. 16, pp. 228–239. DOI: 10.1080/10942912.2010.551308.
14. Znamirowska A., Sajnar K., Kowalczyk M., Kluz M., Buniowska M. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 2020, vol. 10, pp. 296–300. DOI: 10.15414/jmbfs.2020.10.2.296-300.
15. Shkol'nikova M.N., Kadritskaya Ye.A. *Nauchnyy zhurnal ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2020, no. 4, pp. 22–28. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28. (in Russ.).
16. Lomovsky O.I., Lomovskiy I.O., Orlov D.V. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2017, vol. 10, pp. 171–185. DOI: 10.1080/17518253.2017.1339832.
17. Lomovskiy I., Bychkov A., Lomovsky O., Skripkina T. *Molecules*, 2020, vol. 25, 5345. DOI: 10.3390/molecules25225345.
18. Kostryukov S.G., Malov N.A., Matyakubov Kh.B., Konushkin I.A. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya»*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 5–16. DOI: 10.17072/2223-1838-2022-1-5-16. (in Russ.).
19. Patent 2434532 (RU). 2011. (in Russ.).
20. *Metodika vypolneniya izmereniy antioksidantov dlya vodorastvorimyykh prob: svidetel'stvo № 31-07 ot 04.05.2007*. [Methodology for measuring antioxidants for water-soluble samples: certificate No. 31-07 dated 04.05.2007]. (in Russ.).
21. Pełal A., Pyrzynska K. *Food Analytical Methods*, 2014, vol. 9, pp. 1776–1782. DOI: 10.1007/s12161-014-9814-x.
22. Agadzhanyan A.Ye., Asaturyan R.A., Ambartsumyan A.A., Sargisyan L.B., Ovsepyan A.S., Vardanyan A.A., Sagiyan A.S. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 551–557. (in Russ.).
23. Oshkordin O.V., Lavrova L.Yu., Usov G.A. *Polzunovskiy vestnik*, 2011, no. 2/2, pp. 202–206. (in Russ.).

* Corresponding author.

24. Perevozchikov P.A., Karban' O.V., Samartsev V.S. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2013, no. 9-3, pp. 429–434. (in Russ.).
25. Popov V.I. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, 2012, vol. 53, no. 6, pp. 88–97. (in Russ.).
26. Patent 2747688 (RU). 2021. (in Russ.).
27. Riley P.A. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 1997, vol. 29, pp. 1235–1239. DOI: 10.1016/S1357-2725(97)00013-7.
28. Wang L., Tang H., Li Y., Guo Z., Zou L., Li Z., Qiu J. *Food Chemistry*, 2023, vol. 423, 136347. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.136347.
29. Park B.I., Kim J., Lee K., Lim T., Hwang K.T. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, vol. 56, pp. 2712–2720.
30. Patent 2222995 (RU). 2004. (in Russ.).
31. Shkol'nikova M.N., Kadritskaya Ye.A. *Nauchnyy zhurnal ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2020, no. 4, pp. 22–28. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28. (in Russ.).
32. Kuznetsova Ye.A., Klimova Ye.V., Shayapova L.V., Shuvayeva Ye.G., Fesenko A.N. *Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury*, 2021, no. 1 (37), pp. 69–75. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-69-75. (in Russ.).

Received March 6, 2023

Revised May 19, 2023

Accepted June 27, 2023

For citing: Korpacheva S.M., Sapozhnikov A.N., Lomovsky I.O. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 375–386. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230412640.