



Обзорная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.7:62-98

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021



ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

Дмитрий Викторович Чашилов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Бийск, Россия
dmitry.chashchilov@mail.ru

Аннотация. При получении гречневой крупы и гречневой муки используют гидротермическую обработку. При этом проводят влаготепловую обработку – пропаривание и сушку или увлажнение с отволаживанием. При увлажнении с отволаживанием полнее сохраняется белковый состав зерна, проще реализуется технологический процесс. Пропаривание и сушка позволяют обеспечить технологические свойства гречневого зерна – прочность и упругость ядра при шелушении. Различными режимами пропаривания регулируются и потребительские и нутрицевтические свойства будущего продукта: цветность, хранимость, усваиваемость и питательная ценность. При пропаривании используют различные теплоносители – насыщенный или перегретый водяной пар, горячий воздух. Некондиционное гречневое сырье – сырое, сухое, перезимовавшее под снегом, также может быть переработано в кондиционный продукт модифицированными способами гидротермической обработки. Режимы обработки – длительность экспозиции и температура – варьируются в зависимости от назначения конечной продукции – товарная гречневая крупа, гречневая мука. Гречневое зерно обладает нутрицевтическим потенциалом использования в качестве функционального продукта, обладая антиоксидантными свойствами, что может быть обеспечено специфическими режимами гидротермической обработки. Представлены возможности использования гречневой лузги, типичного отхода переработки зерна гречихи.

Ключевые слова: влаготепловая обработка, пропаривание, увлажнение, отволаживание, режим обработки, гречневая крупа, гречневая мука, гречневая лузга, температура.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ для ИПХЭТ СО РАН, № государственной регистрации 124021200031-4.

Автор выражает благодарность за ценные советы Марьину В.А., к.т.н., главному технологу ООО «Алтай», Верещагину А.Л., д.х.н., профессору, заведующему кафедрой общей химии и экспертизы товаров Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова»; а также за техническую помощь при проведении исследований, Пляко И.В., директору ООО «Курай Агро плюс», и Смирнову Н.С., технологу ООО «Курай Агро плюс».

Для цитирования: Чашилов Д. В. Гидротермическая обработка зерна гречихи. Формирование технологических, потребительских и нутрицевтических свойств ядра. Возможности использования лузги // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 139–148. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021, EDN: <https://elibrary.ru/XEFPIM>.

Original article

HYDROTHERMAL TREATMENT OF BUCKWHEAT GRAIN. FORMATION OF TECHNOLOGICAL, CONSUMER AND NUTRICEUTICAL PROPERTIES OF CORE. POSSIBILITY OF USING HUSKS

Dmitry V. Chashchilov

Federal State Budgetary Institution of Science "Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPHET SB RAS), Biysk, Russia
dmitry.chashchilov@mail.ru

Abstract. When producing buckwheat and buckwheat flour, hydrothermal treatment is used. For this, heat moisture treatment is used - steaming and drying or moistening with dampening. When moistened with dampening, the protein composition of the grain is more fully preserved, and the technological process is easier to implement. Steaming and drying allows you to ensure the technological properties of buckwheat grain - the strength and elasticity of the kernel during peeling. Various steaming modes regulate the consumer and nutraceutical properties of the future product - color, storage, digestibility, nutri-

© Чашилов Д. В., 2024

tional value. When steaming, various coolants are used - saturated or superheated water vapor, hot air. Substandard buckwheat raw materials - raw, dry, overwintered under snow, can also be processed into a standard product using modified methods of hydrothermal treatment. Processing modes - exposure duration and temperature - vary depending on the purpose of the final product - commercial buckwheat cereals, buckwheat flour. Buckwheat cereals has nutraceutical potential for use as a functional product, possessing antioxidant properties, which can be provided by specific regimes of hydrothermal treatment. The possibilities of using buckwheat hulls, a typical waste product from buckwheat cereals processing, are presented.

Keywords: heat moisture treatment, steaming, humidification, dampening, processing mode, buckwheat cereals, buckwheat flour, buckwheat hulls, temperature.

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state task on of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, state registration number 124021200031-4.

The author expresses gratitude to the distinguished colleagues who gave valuable recommendations and suggestions that made it possible to significantly improve the manuscript of this article - V.A. Maryin, PhD, technologist LLC "Altai"; A.L. Vereshchagin, PhD, Professor, Head of the Department of General Chemistry and Examination of Goods of the Bysk Institute of Technology (branch) of the Federal State Budgetary educational institution of Higher Education "Polzunov Altai State Technical University"; I.V. Plyako, Director of Kurai Agro Plus LLC; N.S. Smirnov, technologist of Kurai Agro Plus LLC.

For citation: Chashchilov, D.V. (2024). Hydrothermal treatment of buckwheat grain. Formation of technological, consumer and nutraceutical properties of core. Possibility of using husks. Polzunovskiy vestnik. (4), 139-148. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021, EDN: <https://elibrary.ru/XEFPIM>.

ВВЕДЕНИЕ

Гречиха – одна из основных крупяных культур. В 2023 году валовой сбор гречихи в России составил 1484,9 тыс. т [1], это высшее значение за весь постсоветский период. Алтайский край – один из лидеров по производству гречихи, валовой сбор после доработки составил 840,1 тыс.т, т.е. 56,5 % от общероссийского урожая.

Мировой урожай гречихи, по данным FAO, в 2022 году составил 2236,5 тыс. т [2], в России в том же году – 1222,4 тыс.т. Россия является многолетним мировым лидером по урожаю гречихи [3]. Доля страны в мировом производстве составляет порядка 56,7 % (данные за 2022 год). Таким образом, можно считать, что почти треть всего мирового производства зерна гречихи сосредоточена в Алтайском крае.

Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum Moench*) относится к группе псевдозерновых культур, как амарант или киноа [4]. На Алтае гречиха является ведущей крупяной культурой [4]. Однако, например, в Китае, Индии также выращивается и используется татарская гречиха (*Fagopyrum tataricum Gaertn.*) [5].

В последнее время активизировался интерес исследователей, особенно зарубежных, к использованию зёрен псевдозлаков, в т.ч. и гречихи для получения функциональных продуктов питания. В гречневом зерне нет глютена [6], что обуславливает его специфические диетические свойства. В зерне гречихи тоже есть антиоксиданты [7]. Также заслуживают внимания исследователей флавоноиды, фенольные кислоты, пищевые волокна, ненасыщенные жирные кислоты и т.п., содержащиеся в зернах псевдозлаков [3, 8].

Специфической особенностью зерен гречихи является высокое содержание рутина – витамина Р. Особенно оно высоко в зернах одного из подвидов – гречихи татарской [5]. Однако в сельском хозяйстве России наиболее распространена именно гречиха посевная, поэтому акцент в настоящем исследовании сделан именно на зернах гречихи посевной.

Активно ведётся изучение свойств гречевого крахмала. Исследуются свойства крахмала и его поведение при различной обработке [9]. Крахмал является одним из компонентов комплексных пищевых продуктов. Свойства крахмала позволяют обеспечи-

вать требуемые физико-механические свойства составных пищевых продуктов. Частичная модификация крахмала происходит ещё при гидротермической обработке гречевого зерна, если таковая производится, что несколько ограничивает возможности использования гречевого крахмала.

Особенность переработки гречевого зерна связана с гидротермическим воздействием, в первую очередь, для технологической цели – улучшения качества шелушения зерна [10]. При этом происходит изменение биохимического и химического состава зерна, что влияет на его питательные свойства. Режимы гидротермической обработки по условиям проведения могут быть как щадящими, так и весьма жёсткими. Есть несколько вариантов гидротермической обработки. Наряду с классической гидротермической обработкой методом пропаривания проводятся исследования и альтернативных способов, имеющих ряд преимуществ.

При переработке зерна гречихи в России в последнее время сильно ухудшилось качество отдельных партий исходного сырья [11]. В основном, это может быть связано с изменением климата – осадки нарушают привычный график уборки урожая фермерами и сельскохозяйственными предприятиями. Зерно после уборки урожая иногда не проходит своевременную послеуборочную обработку (очистку, сушку), в ряде случаев хранится в ненадлежащих условиях (под снегом).

В связи с этим возросла доля сырого и влажного зерна, поступающего на переработку. В такой зерновой массе встречается проросшее зерно. В этом случае обычные режимы гидротермической обработки [10] снижают качество крупы, растёт доля отходов, повышается себестоимость переработки. Для переработки такого зерна в крупу требуется изменение обычных режимов переработки.

При переработке зерна гречихи обычно выпускается гречневая крупа различных сортов. На рынке востребована как обычная пропаренная гречневая крупа, так и непропаренная крупа – так называемая «зелёная» гречка [12]. Ряд потребителей зерна интересуется крупа определённой цветовой окраски. Цвет крупы, в основном, регулируется режимом гидротермической обработки. Также находит применение и гречневая мука из цельного или шелушённого зерна – для выпечки хлебобулочных изделий, производства макаронных изделий и т.п.

Переработка зерна гречихи и производство крупы и муки являются энергоёмкими процессами. Основ-

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

ные затраты энергии связаны как раз с гидротермической обработкой – пропариванием и сушкой зерна. Снижение энергетических затрат при обработке зерна гречихи – актуальная задача совершенствования технологий и оборудования крупяного производства. Это требует специфических требований к технологическому оборудованию для гидротермической обработки [13] и различных конструкций генераторов пара.

В зерне присутствуют и могут образовываться или выделяться при технологической переработке компоненты, затрудняющие усвоение белка, таким образом, проявляются антинутриционные факторы [14]. Учёт этого обстоятельства важен при производстве функциональных продуктов на основе ядра или зерна гречихи, а также продуктов на основе их переработки.

Гречневая лузга является типичным отходом при переработке гречневого зерна. Как правило, лузга выделяется на крупозаводах в больших количествах. Представляют интерес варианты использования лузги в качестве вторичного сырья.

Разнообразие описанных обстоятельств обуславливает важность процесса гидротермической обработки как для технологического процесса переработки гречневого зерна, так и для формирования потребительских качеств продуктов на его основе. Значимость данного исследования заключается в обобщении частных случаев практики. Представляется влияние основных факторов гидротермической обработки на свойства обработанного зерна гречихи. В зависимости от предполагаемой области применения продуктов переработки гречихи могут быть целесообразны те или иные условия гидротермической обработки гречневого зерна, что представляет несомненный практический интерес.

Несмотря на большой накопленный массив исследований по гидротермической обработке зерна гречихи, в последние годы нет каких-либо опубликованных работ, аналогичных данному исследованию. Имеются обзоры по влаготепловой обработке различных крахмалов, в т.ч. по гречневому крахмалу [15, 16]. Также имеются обзоры по гречневому ядру, как пищевому продукту в целом [17, 18]. Но вопросы гидротермической обработки гречневого зерна в этих работах освещаются очень слабо.

Также в опубликованных работах практикуются различные подходы, основанные, как правило, на эмпирических исследованиях. Как правило, исследования зарубежных и большинства отечественных авторов выполнены с применением аппаратов и стендов лабораторного масштаба. Особенно выделяются на этом общем фоне ряд работ В.А. Марьина, которые проведены с использованием промышленного оборудования на действующем производстве гречневой крупы.

Можно отметить, что гидротермическая обработка может быть реализована следующими методами – пропариванием или увлажнением с последующим отволаживанием и дальнейшей сушкой. Формально процессы сушки зерна, находящегося во влажном состоянии, также являются отдельными этапами гидротермической обработки. Вариантом гидротермической обработки является обжарка зерна на греющих поверхностях или посредством излучения. В настоящем исследовании акцент сделан на гидротермической обработке методом пропаривания для зерен посевной гречихи.

Цель данного исследования – обобщить сведения о гидротермической обработке зерна гречихи. Задачи настоящего исследования:

- описать взаимодействие водной влаги с компонентами зерна гречихи;

- показать влияние условий гидротермической обработки на технологические и физико-механические свойства зерна гречихи;

- отразить формирование потребительских и нутрицевтических качеств гречневой крупы в зависимости от режимов гидротермической обработки;

- отметить изменение свойств шелухи гречихи при гидротермической обработке;

- обобщить тенденции совершенствования процесса гидротермической обработки зерна гречихи;

- сформулировать возможные темы для перспективных исследований гидротермической обработки зерна гречихи;

- представить перспективные области использования гречневой лузги.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Морфология и состав зерна гречихи

Зерно гречихи имеет форму трёхгранного орешка и состоит из ядра и плодовой оболочки. Ядро зерна гречихи часто представляют в качестве трёхгранной пирамиды [15]. Ядро состоит из зародыша и эндосперма и покрыто защитной семенной оболочкой. Зародыш имеет S-образную форму и является зачатком будущего растения. Эндосперм состоит из различных по размеру крахмальных зёрен, расположенных в белковой матрице, являясь природным композиционным материалом. Эта часть ядра снаружи покрыта алейроновым слоём – несколькими слоями уплотнённых зёрен крахмала. Эндосперм является хранилищем запаса питательных веществ, необходимых для роста, и содержит также ферменты, предназначенные для перевода запаса питательных веществ в потребную для роста форму [3].

Плодовая оболочка состоит из трёх лепестковчешуек, сомкнутых по боковым кромкам и в вершинах и покрывающих ядро. Каждая из граней плодовой оболочки – это тонкая пространственная изогнутая пластинка. Практически плодовая оболочка выполняет функции естественной природной упаковки ядра зерна гречихи. Она защищает ядро от механических повреждений, воздействия влаги, микробиологического поражения, насекомых и т.п. Обычно плодовая оболочка имеет коричневый цвет, различных оттенков – от светло-коричневого до почти черного. После отделения от ядра (при шелушении зерна) обычно образуются как одиночные пластинки, так и соединенные попарно. В ряде случаев, например, при получении муки из цельного зерна, оболочка не отделяется от ядра, а размалывается вместе с ядром [20].

Толща пластинок плодовой оболочки – капиллярно-пористая. Это весьма существенное обстоятельство при гидротермической обработке, поскольку при воздействии водяного пара или жидкой воды влага быстро проходит через толщу плодовой оболочки к ядру зерна [21]. При сушке, наоборот, влага движется, от ядра к внешней поверхности оболочки. Плодовая оболочка в таких условиях сравнительно быстро высыхает.

Ядро гречихи содержит белок – от 5,7 до 14,2 %, здесь и далее – масс. % на абсолютно сухой вес (а.с.в.), углеводы – от 63,1 до 82,1 %, в т.ч. крахмал – от 54,5 до 57,4 %, жиры – от 3,2 до 4,0 %, общее содержание пищевых волокон – 17,8 %.

Содержание рутина – 4058 ± 107 мкг/г а.с.в., кемпферо-3-О-рутинозид – $1852 \pm 54,3$ мкг/г а.с.в., кверцетин – $312 \pm 3,69$ мкг/г а.с.в. Плодовые оболочки также содержат белок – от 4,2 до 5,6 %, углеводы – от 21,2 до

31,2 %, жиры – от 1,0 до 1,3 % [22]. Диапазоны содержания компонентов в химическом составе объясняются различными сортами гречихи, а также различными условиями выращивания.

Таким образом, зерно гречихи включает в себя ядро и плодую оболочку. Ядро содержит ряд ценных питательных компонентов, также ряд других элементов – микронутриентов, в т.ч. и с высокой антиоксидантной активностью. Подовая оболочка выполняет защитную функцию для ядра зерна. Продукты из ядра гречихи обладают широким комплексом функционального оздоровительного воздействия на организм человека.

Воздействие воды и тепла на зерно гречихи

Вид и глубина воздействия воды на компоненты зерна гречихи зависит от влажности зерна, величины температуры и длительности экспозиции. При комбинированном воздействии влаги и тепла имеет место влаготепловая или гидротермическая обработка.

Ядро зерна гречихи является капиллярно-пористым телом [19]. Равновесная влажность при комнатной температуре и нормальной влажности воздуха составляет около 13,5 %, что достаточно для длительного хранения, без признаков микробиологической порчи и без прорастания зародыша. С увеличением влажности вода с поверхности ядра проникает внутрь ядра. Происходит значительное набухание белков (вплоть до 250 %) и крахмала (до 30 %) [24]. Изначально рыхлая структура эндосперма уплотняется. Происходит увеличение размера ядра.

Также изменяются структурно-механические свойства ядра зерна. При увеличении влажности зерна гречихи понижается модуль упругости и снижается прочность [25]. Длительное воздействие влаги при определённом диапазоне температур и доступа воздуха активирует ферменты [23] и создаёт условия для усиления дыхания зерна и прорастания ростка из зародыша.

При воздействии тепла происходит изменение состава основных компонентов ядра зерна [26]. Происходит денатурация белков [27, 28], при температурах выше 45...60 °С. Изменяется аминокислотный состав и фракционный состав белков ядра [29]. Происходит частичная деградация флавоноидов [30].

При совместном воздействии влаги и тепла, характерном именно для гидротермической обработки, картина изменений усиливается. Протекает гидролиз крахмала и жиров [31]. Крахмал, предварительно вобравший водную влагу, клейстеризуется, при температуре не ниже температуры желатинизации. Температура желатинизации нативного гречневого крахмала составляет от 55 до 60 °С. При увеличении длительности гидротермической обработки температура желатинизации повышается [32]. При этом происходит разрушение структуры крахмальных зёрен. Снижается кристалличность гречневого крахмала [9]. Происходит также образование декстринов. Продукты клейстеризации и декстринизации, расширяясь, заполняют собой микротрещины, поры и пустоты в ядре зерна. Благодаря этому ядро становится более однородным, плотным, а также значительно упрочняется.

При гидротермическом воздействии цельного, нешелушенного зерна происходит миграция части водорастворимых компонентов из плодовой оболочки в поверхностные слои ядра. При обработке паром изменяется минеральный состав и ядра, и плодовой оболочки [29, 33]. Этим частично объясняется потем-

нение поверхности ядра из-за притока в него тёмноокрашенных пигментов [34].

При гидротермической обработке в гречневом ядре вследствие гидролиза полифенолов происходит выделение фенольных кислот [35, 36], увеличивается антиоксидантная активность [37, 38]. Это может быть обусловлено частичным разрушением клеточных стенок при обработке и последующим высвобождением и гидролизом полифенолов [39]. Также в ядре повышается общее содержание пищевых волокон [40].

Однако нужно отметить и негативный фактор – при гидротермической обработке происходит выделение фитина и дубильных соединений. Эти компоненты затрудняют переваривание пищи, проявляя антипитательное действие [17].

Действие влаги, таким образом, приводит к обратимому набуханию ядра. Тепловое воздействие выше 60 °С вызывает необратимые изменения, в частности, денатурацию белков, декстринизацию крахмала. Совместное воздействие влаги и тепла при гидротермической обработке приводит к желатинизации крахмала, частичному гидролизу жиров и углеводов. Механические свойства ядра значительно изменяются. Также усиливается выделение полифенолов, с ростом антиоксидантной активности, образуется ряд антипитательных элементов.

Задачи гидротермической обработки

Основные задачи гидротермической обработки определяются группами свойств продуктов или полупродуктов, формируемыми на этой стадии обработки. В частности, можно условно выделить группы технологических, потребительских и нутрицевтических свойств.

Технологические свойства пропаренного гречневого зерна обуславливают пригодность к последующей технологической обработке с минимальными потерями. Потребительские свойства формируют удобство потребителя при использовании, например, при хранении продукта или при приготовлении из него различных блюд. Нутрицевтические свойства обеспечивают улучшение усваиваемости питательных веществ, содержащихся в продукте или образующихся в нем при приготовлении блюд. Сопоставление групп свойств продуктов и задач гидротермической обработки представлено в таблице 1.

Одно из основных назначений гидротермической обработки – подготовка зерна к последующему шелушению – снятию плодовой оболочки. Как было выше отмечено, исходное ядро гречневого зерна при нормальной влажности является хрупким и может легко раскалываться. При гидротермической обработке зерна и достижении определённой степени влажности ядро упрочняется, вследствие протекающих в нём процессов, описанных выше, происходит пластификация ядра [41].

При последующей сушке влага испаряется, в первую очередь, из тонкой плодовой оболочки, быстро пропускающей влагу [21]. Из ядра удаление влаги замедляется вследствие малой скорости процесса диффузии. Вследствие сравнительно малого времени сушки плодовая оболочка оказывается сухой и хрупкой, а ядро – упругим и вязким, с определённым уровнем влажности. Для повышения жёсткости подсушенной оболочки зерно охлаждается.

При последующем шелушении оболочка легко скалывается с ядра. Само ядро при этом практически не повреждается, при правильном подборе размеров

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

зерна и зазора рабочих органов шелушителя. Поэтому при гидротермической обработке зерна гречихи так необходимо достичь требуемые механические характеристики частей зерна – плодовой оболочки и ядра.

Таблица 1 – Соответствие задач гидротермической обработки и групп свойств продуктов из зерна гречихи

Table 1 – Correspondence of hydrothermal treatment tasks and groups of properties of buckwheat grain products

Задачи	Группы свойств		
	технологические	потребительские	нутрицевические
Обеспечение требуемой прочности и упругости ядра и оболочки	+		
Формирование цветовой окраски ядра		+	
Инактивация ферментов и зародыша ядра		+	
Обеззараживание зерна		+	
Ускорение процесса кулинарной обработки продукта		+	
Повышение питательной ценности ядра			+

При получении муки желательнее обеспечить хорошую размалываемость ядра или исходного зерна в целом (при получении цельномолотой муки). Данные характеристики также могут быть обеспечены гидротермической обработкой. При необходимости может быть реализован ступенчатый помол с получением различных продуктов размола и разного состава [17]. Гидротермическая обработка размягчает и частично разрушает клеточную стенку в ядре и плодовой оболочке зерна гречихи, как это было описано выше, и при дальнейшем внешнем механическом воздействии это облегчает размол [42]. При этом в ядре высвобождается больше крахмальных гранул, средний размер частиц муки снижается, что положительно сказывается на качестве такой муки.

Другая возможная задача гидротермической обработки – придание желаемого цвета ядру гречихи. Как было отмечено выше, при тепловом воздействии вследствие диффузии пигментов из плодовой оболочки в ядро происходит изменение окраски поверхности и толщи ядра. Потемнение (покоричневение) ядра также может быть обусловлено взаимодействием сахаров и белков при высокой температуре – реакцией Майяра. Продукты этой реакции также формируют характерный «поджаренный» вкус и аромат ядра гречихи. Цвет и запах могут быть целенаправленно сформированы варьированием режимов гидротермической обработки [43, 44].

Варьирование режимов гидротермической обработки – температуры и длительности экспозиции – позволяют обеспечить формирование того или иного цветового оттенка. Цвет может быть от светло-жёлтого до тёмно-коричневого [44, 45]. Как правило, более темный цвет соответствует большей длительности гидротермической обработки или воздействию более высокого давления пара или сочетанию этих двух факторов. Цвет ядра является дополнительным маркетинговым инструментом, позволяя позиционировать товарный продукт – гречневую крупу или продукты не ее основе на рынке. Также у потребителя есть возможность выбрать продукт того или иного цветового оттенка.

При гидротермической обработке в зерне гречихи

происходит ряд биохимических изменений. Происходит инактивация ферментов – липазы, липоксигеназы, амилазы. Необратимо теряет способность к прорастанию зародыш. Ядро, прошедшее гидротермическую обработку и имеющее определённую влажность, лучше хранится [46]. Таким образом, гидротермическая обработка направлена на подготовку будущего пищевого продукта к последующему хранению, а также на увеличение сроков его свежести и годности [47].

На поверхности зерна присутствуют споры естественной микрофлоры. При чрезмерном увлажнении на поверхности зерна гречихи могут развиваться плесневые грибы [11]. Как следствие, ядро может иметь, в определённых случаях, локальные очаги микробиологического поражения. В частности, анализ выявляет афлатоксин В1 и микотоксин Т2 [36].

При гидротермической обработке вследствие действия высокой температуры, повышенного давления и определённой длительности обработки происходит гибель вегетативной формы микрофлоры (и, возможно, частично – спор) [48]. Таким образом, происходит обеззараживание зерна, что также способствует обеспечению сохранности, пищевой безопасности и качества ядра зерна гречихи при хранении.

При гидротермической обработке происходят изменения питательных компонентов ядра [31]. Ряд аналогичных изменений имеют место при кулинарной обработке готового продукта из гречневого зерна – гречневой крупы. Обработанное паром ядро быстрее разваривается. Таким образом, можно гидротермическую обработку считать частью кулинарной обработки пищевого продукта – её первым этапом.

Крупа из расколотых при шелушении пропаренных зерен гречихи – продел – является продуктом быстрого приготовления. Обнаженные внутренние структуры ядра быстрее взаимодействуют с водой при варке в условиях потребителя, и поэтому продукт быстро готовится.

Плющение пропаренного ядра позволяет получить гречневые хлопья. Баротермическая обработка позволяет получить вспученные ядра гречихи. Высокотемпературная микронизация действует аналогично. Таким образом, могут быть получены различные виды быстрорастворивающихся гречневых круп [49].

В целом, после гидротермической обработки улучшается усваиваемость пищевых компонентов, в частности, благодаря лучшей сорбции пищевой желчных кислот [50]. При влаготепловой обработке понижается гликемический индекс гречневого крахмала [51]. Повышается доступность биофлавоноидов, растёт антиоксидантная активность продукта. Именно высокая антиоксидантная активность является одним из основных достоинств пропаренного гречневого зерна.

С точки зрения воздействия на здоровье человека отмечаются следующие виды воздействия продуктов из ядра гречихи на здоровье человека: этогипохолестеринимическое, гипоглюкемическое, противовоспалительное, нейропротекторное, противораковое, антиоксидантное, гепатопротекторное, антибактериальное, противогрибковое, антивирусное. Проявляются и противовоспалительное, иммунорегуляторное, антидиабетическое, кардиопротекторное, антивозрастное, антитромбическое, противовоспалительное воздействия. Также наблюдается действие продукта против усталости [3].

Важность гидротермической обработки состоит в том, что такая обработка позволяет сформировать технологические свойства ядра зерна – прочность и упругость. Эти свойства необходимы для эффективного шелушения и обеспечения высокого выхода

цельного ядра. Также именно гидротермическая обработка позволяет сформировать и ряд потребительских свойств ядра зерна. К этим свойствам ядра относятся окраска, конечная влажность, микробиологическая стерильность. Гидротермическая обработка также позволяет получить продукты быстрого приготовления на основе ядра зерна гречихи. Нутрицевтические свойства ядра, такие как усвояемость питательных компонентов, действие биологически активных компонентов, антиоксидантная активность, также повышаются при гидротермической обработке.

Способы подвода тепла и воды к зерну гречихи, виды теплоносителей

К факторам гидротермической обработки, влияющим на технологические, потребительские и нутрицевтические свойства ядра зерна, относятся температура зерна, влажность зерна в целом и отдельных частей зерна (при неравномерном увлажнении), длительность экспозиции, энергия, подводимая к поверхности зерна, размер зерна.

Гидротермическая обработка зерна гречихи, как было сказано выше, проводится, в основном, по одной из двух схем. По первой схеме зерно пропаривают, сушат и охлаждают [10]. По второй схеме проводят предварительное увлажнение зерна с последующим отволаживанием. При нем происходит перераспределение влаги по толще ядра зерна [52]. Далее следует сушка. То есть эти схемы отличаются тем, что в первом случае влага и тепло подводятся одновременно, а во втором – вначале подводится влага, которая равномерно распределяется в толще зерна, а тепло подводится значительно позже – при сушке.

Как было сказано выше, при сушке преимущественно удаляется влага из оболочки, что делает последнюю хрупкой и облегчает последующее шелушение зерна. При повышенной влажности шелушение зерна затруднено. Низкая влажность обуславливает высокую хрупкость и дробимость зерна при шелушении.

Подвод тепла к зерну гречихи при гидротермической обработке может быть конвективным, кондуктивным или посредством излучения. При конвективном способе подачи тепла важную роль играет теплоноситель. Варианты используемого теплоносителя – горячий воздух, водяной пар, горячая вода.

Водяной пар, в свою очередь, может быть насыщенным или перегретым [41]. Различные режимы гидротермической обработки отличаются давлением пара – от атмосферного давления или близкого к нему, до 0,6 МПа. В ряде случаев в роли теплоносителя выступает парогазовая смесь, в т.ч. продукты сгорания топлива. Для сушки, как этапа гидротермической обработки, типичным теплоносителем является горячий воздух.

При контакте водяного пара с неподвижной зерновой массой, менее нагретой, чем пар, происходит интенсивная конденсация пара, в области точки росы [53]. Когда зерно или зерновая масса нагреется до точки росы, то интенсивность конденсации пара будет лимитироваться скоростью диффузионного процесса переноса влаги внутри зерна [54]. Поэтому по мере прогрева зёрен интенсивность конденсации пара падает. Основное такое поведение является описанный выше двухступенчатый механизм взаимодействия зерна гречихи и водяного пара [55].

Наличие воздуха в паровой среде пропаривателя обусловлено, во-первых, наличием воздуха в межзерновом пространстве, вследствие скважности зерновой массы. Во-вторых, воздух вытесняется из пространства под плодовой оболочкой. В-третьих, воздух десорбируется из пор и пустот ядра прогреваемого зерна. Поэтому

наличие воздуха (неконденсирующейся фазы) в греющем паре, внутри пропаривателя, вполне обоснованно. Как следствие, в присутствии воздуха в паре имеет место уменьшение интенсивности конденсации пара и снижение коэффициента теплопередачи в целом [56].

Другой вариант – передача тепла при движении зерновой массы. Такой способ реализуется, например, при сушке зерна в зерносушилках. Движущийся нисходящий зерновой поток перекрёстно продувается потоком сушильного агента – горячего воздуха, топочных газов или их смеси. При этом происходит равномерное распределение газа по всему объёму зерновой массы [57]. Известно использование в качестве теплового агента парогазовой смеси – смеси пара и воздуха при атмосферном давлении. Это же явление происходит при обработке зерна в непрерывно действующем пропаривателе [58].

В ряде случаев обработку зерна гречихи проводят перегретым паром [59]. При контакте с зерновой массой происходит охлаждение перегретого пара, не ниже температуры насыщения, вернее, не ниже точки росы при данной температуре зерна. В противном случае будет происходить обратный сушке процесс – увлажнение зерна.

Горячая вода используется, в основном, при увлажнении зерна гречихи с последующим отволаживанием и без его пропаривания паром [21]. Впрочем, сушка горячим воздухом все же присутствует. Воздействии горячей воды более мягкое и бережное по отношению к термолабильным компонентам зерна гречихи.

Также возможна передача тепла другими способами. Например, кондуктивным способом – обрабатываемый объём зерна располагается на греющей поверхности. Форма греющей поверхности может быть плоская или коническая [60]. При этом может проводиться дополнительное механическое перемешивание толщи зерна, во избежание локального перегрева и для обеспечения выравнивания температурных полей по толще зерновой массы. Таким способом возможна сухотепловая (ксеротермическая) обработка, или обжарка зерна. Если же зерно предварительно увлажнено, то при этом происходит гидротермическая обработка. Применяют также высокотемпературный обжиг зерна [61].

Излучение, как способ подвода энергии, может быть реализовано при помощи инфракрасных волн, микроволн, гамма-облучения. Инфракрасная микронизация позволяет быстро нагреть зерно [49]. Это позволяет сократить время обработки, сократив потери термолабильных витаминов.

Известно использование энергии микроволнового излучения для гидротермической обработки зёрен гречихи [62]. Микроволновая обработка зерен гречихи улучшает качество получаемого из них безглютенового хлеба, увеличивая вязкость теста [63]. Сочетание воздействия микроволновой и влажностной обработки повышает водопоглотительную способность гречневой муки [64].

Обработка зерна гречихи гамма-облучением позволяет повысить антиоксидантную активность ядра и муки из нее. Увеличивается содержание полифенолов, рутина, флавоноидов. Одновременно происходит эффективное обеззараживание зерна [65].

Таким образом, гидротермическая обработка зерна гречихи может быть проведена с использованием различных способов передачи тепла. При конвективном нагреве используются такие тепловые агенты, как водяной насыщенный или перегретый пар, горячая вода, горячий воздух или парогазовая смесь. Кондуктивный нагрев проводится на плоских или конических поверхностях, при

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

этом удобно реализуется движение зерновой массы. Передача тепла излучением может быть выполнена посредством инфракрасных волн, микроволнового излучения или гамма-облучения, отличается малым временем обработки и высоким сохранением термолabileльных компонентов.

Возможности использования плодовых оболочек – гречневой лузги

В соответствии с принципом «циркулярной» экономики [66], не только ядро или продукты его переработки являются целевыми продуктами обработки зерна гречихи. Так называемые отходы производства являются ценным вторичным сырьем для получения востребованных экономикой продуктов [67]. Поэтому плодовые оболочки, отделенные от ядра после шелушения зерна гречихи, гречневая лузга, также может быть использована с пользой [22]. Количество такого вторичного сырья – гречневой лузги – довольно велико, доля лузги составляет от 20 до 30 % от массы перерабатываемого гречневого зерна [68].

При гидротермической обработке плодовые оболочки наряду с ядром зерна гречихи также подвергаются воздействию влаги и тепла. При этом происходит двусторонний обмен некоторыми компонентами как при увлажнении на первом этапе обработки, так и при высушивании на втором этапе обработки. Состав плодовых оболочек после гидротермической обработки также изменяется [27, 29, 33].

В настоящее время одним из наиболее распространенных способов использования (утилизации) гречневой лузги является ее сжигание в качестве топлива для паровых котлов [69]. Сжигание лузги позволяет обеспечить потребности крупяного производства в технологическом водяном паре, а также использовать это тепло для нужд отопления.

Зола после сжигания гречневой лузги может быть использована в качестве минеральной подкормки для сельскохозяйственных растений. Также возможно использование такой золы в качестве модифицирующей добавки для композиционных материалов на основе, например, эпоксидной смолы [70], в целях повышения износостойкости.

Другим распространенным способом использования гречневой лузги является применение ее в качестве садовой мульчи [71]. Гречневая лузга может быть применена в качестве добавки в составе пищевых продуктов [68]. Возможно использование в качестве теплоизолирующей засыпки аналогично [72] при соответствующей защите строительной конструкции от проникновения грызунов.

Однако плодовые оболочки гречихи могут быть использованы и по-иному. Например, вместо сжигания возможно гречневую лузгу использовать как сырье для получения биочара (биоугля) [73], синтез-газа, бионефти [74]. Параллельно возможно также получение необходимого для промышленного производства по переработке зерна гречихи количества тепловой энергии. Также возможна обработка лузги методом гидротермальной карбонизации [75] с получением углеродных частиц.

Гречневую лузгу можно использовать в качестве компонента растительного субстрата для культивирования высших грибов [76]. После заращивания такого субстрата могут быть получены плодовые тела. Последние могут быть использованы не только как пищевой продукт, но и как сырье для выделения хитин-глюканового комплекса [77] с последующим получением карбоксиметилхитин-глюканового [78] или хитозан-глюканового комплексов. Эти комплексы

могут служить основой различных функциональных композиционных материалов, в виде мембран и покрытий, раневых повязок и т.п. [79].

Лузгу можно также использовать в качестве адсорбента при очистке сточных вод. Биополимеры из лузги могут быть использованы для получения биокомпозитов, биопластиков, биоразлагаемой упаковки [80]. Возможно использование в качестве наполнителя композиционных материалов [81], например, на основе минеральной матрицы, как описано в [82]. Также измельченная и дополнительно обработанная лузга может быть использована в качестве армирующего наполнителя для композиционных материалов [83, 84] на основе термопластичных матриц.

После пропаривания в гречневой лузге наблюдается высокое содержание кверцетина [36]. В плодовых оболочках также содержится рутин, как и в ядре зерна. Биологически активные компоненты могут быть извлечены из лузги субкритической экстракцией этанолом, с высоким выходом [85].

Таким образом, потенциал применения гречневой лузги является, во многом, не раскрытым полностью. Помимо традиционного способа утилизации гречневой лузги, как топлива, возможны другие варианты. Это, например, наполнитель композиционных материалов, субстрат для получения материалов на основе хитина, сырье для выделения биологически активных компонентов и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При гидротермической обработке происходит значительное изменение структурно-механических свойств, химического и биохимического состава как ядра зерна гречихи, так и его плодовой оболочки. Процесс пропаривания может быть охарактеризован как тепловой процесс с сопутствующим массопереносом.

В настоящей статье впервые обобщены сведения о гидротермической обработке зерна гречихи за последние годы. Одним из перспективных направлений использования продуктов переработки гречневого зерна является создание функциональных продуктов на основе гречихи и адаптация режимов гидротермической обработки при получении таких продуктов.

Стоит обратить внимание исследователей на недостаточность данных о минимальных величинах структурно-механических характеристик ядра и плодовой оболочки гречихи, необходимых для шелушения пропаренного зерна с минимумом (или отсутствием) дробленого ядра. Также неочевидно, как условия гидротермической обработки формируют эти свойства. Таким образом, отсутствует рациональное обоснование связи условий гидротермической обработки зерна гречихи и выхода цельного ядра при шелушении. Слабо изучена динамика взаимодействия водяного пара и зерна, например, в непрерывно действующем пропаривателе.

Также крайне мало сведений об условиях гидротермической обработки зерна гречихи, пересушенного сверх нормативной влажности. Такое зерно может быть получено, например, вследствие жаркого лета. С учетом текущего и возможного дальнейшего изменений климата эта проблема может стать очень актуальной.

Целесообразно установить зависимость прочности зерна гречихи с различной начальной влажностью от температуры и длительности гидротермической обработки. Интерес представляет динамика изменения прочности зерна при температурах гидротермической обработки от 100 до 140 °C со временем экспозиции до 12 минут. Прошедшие такую обработку

зерна стоит подвергнуть шелушению, например, на обычном [10] или модернизированном шелушильном поставе [86, 87] для оценки коэффициентов эффективности шелушения и выхода цельного ядра. В совокупности эти исследования позволяют установить технологически обоснованные диапазоны варьирования режимов гидротермической обработки.

Интерес представляет исследование «мягких» режимов гидротермической обработки – при атмосферном или при невысоком избыточном давлении и ограниченно повышенной температуре. Такие условия характерны для непрерывно действующего пропаривателя. Перспективно исследование динамики изменения цвета ядра, а также изучение изменения содержания и активности биоактивных компонентов, антиоксидантов, антипитательных факторов в таких условиях гидротермической обработки.

Заслуживает внимания возможность использования плодовых оболочек – гречневой лужги для получения продуктов с высокой добавленной ценностью, например, таких композиционных материалов, как биочара, функциональных композитов на углеродной матрице, а также армирующих наполнителей биокompозитов и других материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_2023.xlsx.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nation/ FAOStat. <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize>.
3. Graziano, S., Agrimonti, C., Mamirolì, N., Gulli, M. Utilization and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review // *Trends in Food Science & Technology*, Volume 125, 2022, P. 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.007>.
4. Марьин, В.А. Распределение размера ядра во фракциях зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2019. № 1. С. 130-138.
5. Krefit, I., Golob, A., Vombergar, B., Germ, M. Tartary Buckwheat Grain as a Source of Bioactive Compounds in Husked Groats. *Plants* 2023, 12, 1122. <https://doi.org/10.3390/plants12051122>.
6. Duliński, R., Starzyńska-Janiszewska, A., Byczyński, Ł., Błaszczak, U. (2017). Myo-inositol phosphates profile of buckwheat and quinoa seeds: Effects of hydrothermal processing and solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus*, *International Journal of Food Properties*, 20:9, 2088-2095. DOI: 10.1080/10942912.2016.1230871.
7. Kadiri, O. A review on the status of the phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour: Effects of cereal processing // *International Journal of Food Properties*, 2017. V. 20: sup1, PP.798-809. DOI: 10.1080/10942912.2017.1315130.
8. Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., Hernández-Ledesma, B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods // *Food and Chemical Toxicology*, 137 (2020), Article 111178, 10.1016/j.fct.2020.111178.
9. Sindhu, R, Khatkar, B.S.I nfluence of oxidation, acetylation and hydrothermal treatment on structure and functionality of common buckwheat starch, *International Journal of Biological Macromolecules*. Volume 253, Part 5, 2023, 127211, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127211>.
10. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях. М. : ВНПО «Зернопродукт», 1990. В 2-х ч. Ч.1. 81с.
11. Mar'in, V.A. and Vereshchagin, A.L. Physical principles of processing off-grade buckwheat. *Foods and raw materials*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 5160. doi: 10.211179/2308-4057-2016-1-51-60.
12. Киселева, Т.Л. Гречиха с позиции традиционной медицины и современных научных представлений: пищевые, энергетические и лечебно-профилактические свойства. Аллер-

гологические риски / Т.Л. Киселева, М.А. Киселева // *Традиционная медицина*. 2016. № 3(46). С. 16-41.

13. Оборудование для производства муки и крупы / Сост. А.Б. Демский [и др.] : справочник / ред. : М.А. Борискин, В.Ф. Веденев. С-Пб. : Профессия, 2000. 624 с.

14. Sá, A.G.A., Moreno, Y.M.F. Carciofi, B.A.M. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. V. 60, No.(20). P. 3367-3386. DOI: 10.1080/10408398.2019.1688249.

15. Zamaratskaia, G., Gerhardt, K., Knicky, M. & Wendin, K. (2023). Buckwheat: an underutilized crop with attractive sensory qualities and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(33), 12303-12318. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2249112>.

16. Mathobo, V.M., Silungwe, H., Ramashia, S.E. [et al.]. Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—a review. *J Food Sci Technol* 58, 412-426 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04520-4>.

17. Morteza Oghbaei & Jamuna Prakash | Fatih Yildiz (Reviewing Editor) (2016). Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review, *Cogent Food & Agriculture*, 2:1. DOI: 10.1080/23311932.2015.1136015.

18. Iuga, M. & Mironcusa, S. (2019). A review of the hydrothermal treatments impact on starch based systems properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(22), 3890-3915. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1664978>.

19. Остриков, А.Н. Аналитическое решение задачи распределения полей влагосодержания в частице с треугольной симметрией / А.Н. Остриков, Д.С. Сайко, Л.И. Лыткина, С.А. Швецов // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2015. № 2-3. С. 71-74.

20. Arslan-Tontul, S., CandalUslu, C., Mutlu, C. [et al.]. Expected glycemic impact and probiotic stimulating effects of whole grain flours of buckwheat, quinoa, amaranth and chia. *J Food Sci Technol* 59, 1460-1467 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05156-8>.

21. Анисимова, Л.В. Распределение влаги в зерне крупяных культур при увлажнении и отволаживании / Л.В. Анисимова // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2005. № 1. С. 60-62.

22. Марьин, В.А. Пищевая ценность отходов переработки зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хлебопродукты*. 2014. № 7. С. 51-53. EDNSGHSMN.

23. Угрозов, В.В. О математическом описании изотермы сорбции паров воды в зёрнах различных злаковых культур / В.В. Угрозов, А.Н. Филиппов, Ю.И. Сидоренко // *Журнал физической химии*. 2007. № 3. С. 458-461.

24. Казаков, Е.Д. Изменение структуры и текстуры тканей зерна при гидротермической обработке / Е.Д. Казаков // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1997. № 2-3. С. 8-10.

25. Марьин, В.А. Влияние влажности на структурно-механические свойства ядра гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // *Хлебопродукты*. 2015. № 10. С. 41-43.

26. Румянцев, А.А. Математическая модель кинетики увлажнения зерна крупяных культур при гидротермической обработке / А.А. Румянцев // *Ползуновский вестник*. 2018. № 2. С. 56-59.

27. Марьин, В.А. Влияние температурной обработки на доступность минеральной составляющей зерна гречихи, ядра и оболочки / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Техника и технология пищевых производств*. 2014. № 3. С. 58-63.

28. Frederik Janssen, Anneleen Pauly, Ine Rombouts, Koen J.A. Janssens, Lomme J. Deleu, and Jan A. Delcour Proteins of Amaranth (*Amaranthus* spp.), Buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and Quinoa (*Chenopodium* spp.): A Food Science and Technology Perspective *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 16, 2017. doi: 10.1111/1541-4337.12240.

29. Марьин, В.А. Влияние температуры обработки на минеральный состав зерна гречихи, перезимовавшей под снегом / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Р.В. Ащеулов // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. № 3(42). С. 31-37.

30. Zhang, Y., Yang, T., Yue, D., Shao, X., Chen, Y. Cold plasma-assisted buckwheat grain dehulling and farinographical properties of dehulled buckwheat flour // *Journal of Cereal Science*,

ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

Volume 112, 2023, 103716, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103716>.

31. Pandey, S., Senthil, A., Fatema, K. (2015). Effect of Hydrothermal Treatment on the Nutritional and Functional Properties of Husked and Dehusked Buckwheat. *J Food Process Technol* 6: 461. doi: 10.4172/2157-7110.1000461.

32. Goel, C., Semwal, A.D., Khan, A. [et al.]. Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physicochemical and functional properties of heat-moisture treated buckwheat starch. *J Food Sci Technol* 57, 2941-2948 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>.

33. Марьин, В.А. Изучение минерального состава зерна, ядра и оболочки в процессе производства крупы гречневой ядрицы / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 20-22 мая 2015 года. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2015. С. 388-392.

34. Roy, M., Dutta, H., Jaganmohan, R. [et al.]. Effect of steam parboiling and hot soaking treatments on milling yield, physical, physicochemical, bioactive and digestibility properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.) *J Food Sci Technol* (2019). 56: 3524. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03849-9>.

35. Ragaee, S., Seetharaman, K., Abdel-Aal, E.-S.M. (2014). The Impact of Milling and Thermal Processing on Phenolic Compounds in Cereal Grains, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54:7, 837-849. DOI: 10.1080/10408398.2011.610906.

36. Keriene, I., Mankeviciene, A., Bliznikas, S., Cesnuleviciene, R., Janaviciene, S. [et al.]. (2016). The effect of buckwheat groats processing on the content of mycotoxins and phenolic compounds, *CyTA. Journal of Food*, 14:4, 565-571, <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1176959>.

37. Li, H. Buckwheat. In: *Bioactive factors and processing technology for cereal foods* / J. Wang et al. (eds.) Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. Pp. 137-149. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6167-8_8.

38. Christa, K. Buckwheat grains and buckwheat products nutritional and prophylactic value of their components - a review / K. Christa and M. Soral-Šmietana / *Czech Journal of food science*. 2008. 26: 153-162.

39. Liu, X., Wang, L., Li, C., Li, X., Kumrungsee, T., Zhai, X., Zhou, Z., Cao, R. The modification of buckwheat polyphenols by different pretreatments and complexation, and its application in oat flour model. *Food Biosci.* 2023, 56, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103133>.

40. Magdalena Skotnicka, Aneta Ociczek & Sylvania Małgorzewicz. (2018). Satiety value of groats in healthy women as affected by selected physicochemical parameters, *International Journal of Food Properties*, 21:1, 1138-1151. DOI: 10.1080/10942912.2018.1485028.

41. Шевцов, А.А. Использование искусственного холода – резерв энергетической эффективности влаготепловой обработки зерна гречихи / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, А.И. Клейменов // *Хлебопродукты*. 2012. № 5. С. 54-57.

42. Zhang, L., Meng, Q., Zhao, G., Ye, F. Comparison of milling methods on the properties of common buckwheat flour and the quality of wantuan, a traditional Chinese buckwheat food // *Food Chemistry: X*, Volume 19, 2023, 100845, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100845>.

43. Константинов, М.М. Способ определения равномерности гидротермической обработки зерна крупяных культур / М.М. Константинов, А.А. Румянцев, Н.А. Борзов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2012. № 3. С. 79-82.

44. Марьин, В.А. Регулирование цветности ядра гречневой крупы / В.А. Марьин, Е.А. Федотов, А.Л. Верещагин, К.С. Барабошкин // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 5. С. 41-42.

45. Марьин, В.А. Пищевая ценность гречневой крупы различных оттенков / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хлебопродукты*. 2011. № 10. С. 50-51.

46. Приезжева, Л.Г. Изменение биохимических и органолептических показателей крупы при хранении в условиях пере-

менной температуры / Л.Г. Приезжева // *Хлебопродукты*. 2016. № 4. С. 47-49.

47. Приезжева, Л.Г. Определение нормы свежести и годности гречневой крупы по кислотному числу жира / Л.Г. Приезжева // *Хлебопродукты*. 2015. № 12. С. 54-56.

48. Валентас, К.Дж., Ротштейн, Э., Сингх, Р.П. Пищевая инженерия. Справочник с примерами расчетов. Пер. с англ.; под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского. СПб.: Профессия, 2004. 848 с.

49. Бастриков, Д.Н. Переработка зерна гречихи / Д.Н. Бастриков // *Хлебопродукты*. 2014. № 7. С. 54-55.

50. Dziedzic, K., Gorecka, D., Kucharska, M., Przybylska, B. Influence of technological process during buckwheat groats production on dietary fibre content and sorption of bile acids (2012) *Food Research International*, 47 (2), pp. 279-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.020>.

51. Wu, W., Qiu, J., Wang, A. & Li, Z. Impact of whole cereals and processing on type 2 diabetes mellitus: a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. V. 60, No. 9. P. 1447-1474. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1574708>.

52. Анисимова, Л.В. Гидротермическая обработка зерна гречихи без использования пропаривания / Л.В. Анисимова // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2000. № 5-6. С. 50-52.

53. Чашчилов, Д.В. Контроль расхода пара для управления процессом пропаривания гречневого зерна в производстве гречневой крупы / Д.В. Чашчилов / *Южно-сибирский научный вестник*. 2019. № 4/2. С. 192-198. DOI: <https://doi.org/10.25699/SSSB.2019.28.49830>.

54. Сорбция и десорбция паров воды зернами нативного крахмала некоторых культур / В.В. Угрозов, Н.Н. Шебершнева, А.Н. Филиппов, Ю.И. Сидоренко // *Коллоидный журнал*. 2008. Т. 70. № 3. С. 402-407.

55. Чашчилов, Д.В. Анализ работы пропаривателя гречневого зерна на крупозаводе / Д.В. Чашчилов // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 20-22 мая 2020 года. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2020. С. 444-448.*

56. Чашчилов, Д.В. Исследование процесса пропаривания зерна гречихи / Д.В. Чашчилов // *Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы. XIX международной научно-практической конференции (22-23 марта 2018 г.): 3 ч. / под ред. В.А. Вагнера, Е.С. Дикаловой; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. Ч. 3. С. 184-189.*

57. Ярум, А.И. Совершенствование технологии переработки зерна гречихи на основе нового оборудования / А.И. Ярум // *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 11. С. 285-291.

58. Патент РФ 2672331 Способ гидротермической обработки зерна / И.Н. Павлов, В.А. Марьин, А.Н. Блазнов, Р.Б. Ермаков // В02В 1/08. 18.12.2017. Заявка 2017144317.

59. Лыткина, Л.И. Гидродинамика процесса сушки гречихи перегретым паром / Л.И. Лыткина, Е.А. Острикова, А.И. Клейменов, В.Н. Носкова // *Вестник ВГУИТ*. 2012. № 2. С. 48-51.

60. Румянцев, А.А. Методика комплексного анализа способов гидротермической обработки зерна гречихи / А.А. Румянцев // *Современная наука и инновации*. 2018. 32. С. 92-97.

61. Патент РФ №2484901. Способ гидротермической обработки зерна гречихи. С.В. Карев, Л.М. Камозин, Н.В. Земляков. В02В 1/08. Заявка 201140640/13, 06.10.2011.

62. Шутенко, В.И. Влаготепловая обработка зерна гречихи с использованием СВЧ поля / В.И. Шутенко, С.М. Соц, А.А. Донец // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2012. № 1. С. 53-58.

63. Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P.A., Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Ronda, F. Flours from microwave-treated buckwheat grains improve the physical properties and nutritional quality of gluten-free bread, *Food Hydrocolloids*, Volume 149, 2024, 109644, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109644>.

64. Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P.A., Muñoz, J.M., Ronda, F. Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour // *Food Hydrocolloids*, 137 (2023), Article 108328, 10.1016/j.foodhyd.2022.108328.

65. Amiri, M., Arab, M., Sadrabad, E.K., Mollakhalili-Meybodi, N., Fallahzadeh, H. Effect of gamma irradiation treatment on the antioxidant activity, phenolic compounds and flavonoid content of common buckwheat, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 212, 2023, 111127, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111127>.
66. Zhou, Y.H., Stanchev, P., Katsou, E., Awad, S., Fan, M.Z. A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment. *Waste Management*, 2019, V. 99, PP 42-48. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.08.037.
67. Haque, F., Fan, C., Lee, Y.-Y. From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 415, 2023, 137873, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137873>.
68. Клинецвич, В.Н. Способы использования лузги гречихи посевной / В.Н. Клинецвич, Е.А. Флюрик // Труды БГТУ. Серия 2 : Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2020. № 1(229). С. 68-81.
69. Хазиев, Р.И. Использование гречневой лузги в энергетических установках / Р.И. Хазиев, П.В. Стрельникова, О.К. Григорьева // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов конференции, Новосибирск, 30 ноября 04 2020 года. Том Часть 4. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. С. 225-226.
70. Сравнение модифицирующего действия золы рисовой и гречневой шелухи в эпоксидных антифрикционных покрытиях / Е.М. Готлиб, А.Р. Валеева, Е.С. Ямалева [и др.] // Вестник Югорского государственного университета. 2021. № 4(63). С. 9-15. DOI 10.17816/byusu20210409-15.
71. Santana-Méridas, O., González-Coloma, A. & Sánchez-Vioque, R. Agricultural residues as a source of bioactive natural products / *Phytochem Rev.* 2012. Vol. 11. P. 447-466. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9266-0>.
72. Чашчилов, Д.В. Исследование зависимости коэффициента теплопроводности от насыпной плотности Цветковой чешуи овса посевного *Avenasativa L.* / Д.В. Чашчилов // Южно-Сибирский научный вестник 2022. № 6(46). С. 300-307. DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.047.
73. Low, Y.W., Yee, K.F. A review on lignocellulosic biomass waste into biochar-derived catalyst: current conversion techniques, sustainable applications and challenges. *Biomass Bioenergy*, 154 (2021), Article 106245. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106245>.
74. Kazimierski, P., Januszewicz, K., Godlewski, W., Fijuk, A., Suchocki, T., Chaja, P., Barczak, B., Kardaś, D. The Course and the Effects of Agricultural Biomass Pyrolysis in the Production of High-Calorific Biochar. *Materials* 2022, 15, 1038. <https://doi.org/10.3390/ma15031038>.
75. Li, N., Liu, M., Zhang, Z., Wang, S., Ce Liang, C., Yu, K. Precise control of morphology and electrochemical properties of buckwheat husk-based biomass carbon spheres // *Diamond and Related Materials*, Volume 130, 2022, 109462, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109462>.
76. Чашчилов, Д.В. Исследование процессов пастеризации горячим воздухом и ферментации лигноцеллюлозного субстрата в лабораторном пастеризаторе-ферментаторе / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков // Южно-Сибирский научный вестник 2020. № 6(34). С. 205-211.
77. Чашчилов, Д.В. Использование биомассы выращенных на непивеом растительном сырье высших грибов для выделения хитин-гликоканового комплекса в экстракционной установке / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков, А.А. Минакова, Н.В. Бычин // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 6(46). С. 203-209. DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.027.
78. Патент № 2822043 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/08, А61К 31/722. Способ получения карбоксиметилхитин-гликоканового комплекса : № 2023106853 : заявл. 22.03.2023 : опубл. 28.06.2024 / Д.В. Минаков, А.А. Минакова, В.И. Маркин, Н.Г. Базарнова, Д.В. Чашчилов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Биополимер-Лайн".
79. Чашчилов, Д.В. Хитозан-гликокановый комплекс из плодовых тел высших грибов как основа функциональных пленочных гибридных биокомпозитов / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков, А.А. Минакова, Н.В. Бычин // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 3(55). С. 17-26. DOI: 10.25699/SSSB.2024.55.3.003.
80. Hassan, S.A., Abbas, M., Mujahid, W., Waqar Ahmed, W., Ahmad, S., Maan, A.A., Shehzad, A., Zuhair, F., Bhat, Z.F., Aadil, R.M. Utilization of cereal-based husks to achieve sustainable development goals: Treatment of wastewater, biofuels, and biodegradable packaging / *Trends in Food Science & Technology*, Volume 140, 2023, 104166, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104166>.
81. Chashchilov, D.V., Atyasova, E.V., Blaznov, A.N. Plant Fibers and the Application of Polymer-Composite Materials Based on Them: A Review // *Polymer Science, Series D*. 2022. Vol. 15. No. 4. P. 685-691. DOI: 10.1134/S1995421222040050.
82. Blaznov, A.N. Study of Gypsum Samples with Additions of Mineral Particles / A.N. Blaznov, P.V. Vereshchagin, G.S. Zadvornyykh [et al.] // *Polymer Science, Series D*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 402-406. DOI 10.1134/s1995421224700679. EDN QMYWYD.
83. Vázquez-Fletes, R.C., Sadeghi, V., González-Núñez, R., Rodrigue, D. Effect of Surface Modification on the Properties of Buckwheat Husk-High-Density Polyethylene Biocomposites. *J. Compos. Sci.* 2023, 7, 429. <https://doi.org/10.3390/jcs7100429>.
84. Włoch, M., Landowska, P. Preparation and Properties of Thermoplastic Polyurethane Composites Filled with Powdered Buckwheat Husks. *Materials* 2022, 15, 356. <https://doi.org/10.3390/ma15010356>.
85. Yuan, Y., Shimizu, N., Li, F., Magaña, J., Li, X. Buckwheat waste depolymerization using a subcritical ethanol solution for extraction of bioactive components: from the laboratory to pilot scale // *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 11, Issue 3, 2023, 109807, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109807>.
86. Марьин, В.А. Выработка гречневой крупы без продела / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3. С. 51-57.
87. Марьин, В.А. Целесообразность применения деки из вязкоупругого материала при шелушении зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, А.А. Иванов // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 87-95. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-87-95>.

Информация об авторе

Д. В. Чашчилов – к.т.н., ведущий инженер лаборатории «Материаловедение минерального сырья» Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

Information about the authors

D.V. Chashchilov - Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer of the Laboratory of Materials Science of Mineral Raw Materials of the Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.