

Динамика изменений механических свойств зерен основных фракций по крупности зерна гречихи хранившегося под снегом

В. А. Марьин*^{ORCID}, А. Л. Верещагин^{ORCID}, Н. В. Бычин

ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»,
659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Дата поступления в редакцию: 25.01.2019
Дата принятия в печать: 21.03.2019

*e-mail: tehbiysk@mail.ru



© В. А. Марьин, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин, 2019

Аннотация. В последнее время качество зерна гречихи, которое поступает на переработку в крупу, ухудшилось. Это связано со снижением требований к его качеству. Наиболее характерным примером является зерно гречихи, убранное из-под снега. Особенностью переработки зерна гречихи является его разделение на фракции по крупности перед шелушением. В связи с этим актуальным является исследование механических свойств указанных фракций. Целью настоящей работы является исследование динамики изменений механических свойств зерен гречихи из-под снега основных фракций по крупности до и после хранения. В качестве объектов исследования использовали разделенные перед шелушением в используемой технологии фракции зерна гречихи по крупности. Зерно гречихи убрано в предгорной части Алтайского края в мае 2015 года и соответствует требованиям нормативной документации. Были исследованы двенадцать образцов: шесть образцов собраны и направлены на переработку (май 2015), другие шесть образцов отобранные и хранившиеся восемь месяцев в складских помещениях по март. Для исследования отбирали образцы не прошедшие этап температурной обработки. В настоящей работе проведено исследование механических свойств зерен гречихи шести фракций по крупности до и после хранения. Результаты исследования показали, что мелкие фракции подвержены большей деформации. Это может привести к высокой деформации и разрушению их при шелушении. Проведенные исследования позволяют утверждать, что в процессе хранения зерна, убранного из-под снега, изменение механических свойств во фракциях зерна гречихи разных размеров происходит не равномерно.

Ключевые слова. Зерно гречихи, хранившееся под снегом, фракция, механические свойства, шелушение, крупность, хранение, прочность, изменение

Для цитирования: Марьин, В. А. Динамика изменений механических свойств зерен основных фракций по крупности зерна гречихи хранившегося под снегом / В. А. Марьин, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-97-103>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

Winter Buckwheat Grain: The Dynamic Pattern of the Mechanical Properties of the Main Fraction

V.A. Marin*^{ORCID}, A.L. Vereshchagin^{ORCID}, N.V. Bychin

Biysk technological institute is a subsidiary of
Polzunov Altai State Technical University,
27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia

Received: January 25, 2019
Accepted: March 21, 2019

*e-mail: tehbiysk@mail.ru



© V.A. Marin, A.L. Vereshchagin, N.V. Bychin, 2019

Abstract. As quality requirements get lower and lower, the quality of buckwheat grain meant for buckwheat groats is deteriorating. The most typical example is winter buckwheat grain. Buckwheat grain has to be sorted according to various fractions before scouring. Thus, the mechanical properties of these fractions remain a relevant field of study. The research features the dynamic pattern in the mechanical properties of the main fractions of winter buckwheat grain according to fraction before and after storage. The research subject is fractions of buckwheat sorted according to grain size before scouring. The buckwheat grain was harvested in the foothills of the Altai Territory in May 2015; it meets the necessary standards. There were twelve samples: six samples were harvested and sent for recycling (May 2015); other six samples were stored for eight months up to March 2016. The buckwheat did not pass the temperature treatment stage. The smaller fractions revealed a greater deformation before and after

storage. That can lead to a higher deformation rate during scouring. Thus, the changes in the mechanical properties of winter buckwheat grain occur differently for each fraction.

Keywords. Buckwheat grain stored under snow, fraction, mechanical properties, peeling, size, storage, strength, change

For citation: Marin VA, Vereshchagin AL, Bychin NV. Winter Buckwheat Grain: The Dynamic Pattern of the Mechanical Properties of the Main Fraction. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):97–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-97-103>.

Введение

Гречиха – это безглютеновая псевдозлаковая культура, которая содержит высокоценные пищевые нутриенты. Они обеспечивают уникальным комплексом полезных свойств человеческий организм. Употребление гречихи приводит к снижению уровня холестерина в плазме, нейропротекции, противовоспалительным, противодиабетическим эффектам и профилактике артериальной гипертензии. Кроме того, гречиха обладает пребиотической и антиоксидантной активностью. Исследования *in vitro* и на животных показали, что такие биоактивные соединения, как d-хиро-инозит, белки гречихи и флавоноиды (главным образом рутин и кверцетин), могут быть частично ответственны за наблюдаемые эффекты [1].

В связи с высокой биологической ценностью ядра гречихи проводятся обширные исследования ингредиентов гречихи: фагопирины и протофагопирины [2]; антоцианы – 3-О-глюкозид цианидина, 3-О-рутинозид цианидина, 3-О-рамнозид цианидина и цианидин [3]; фенольные соединения – катехин и эпикатехин [4].

Также было изучено влияние микроэлементного состава на антиоксидантную активность гречихи [5].

Однако в процессе переработки значительная часть биологически активных соединений теряется. Так, в гречневой муке было обнаружено 32 свободных и 24 связанных фенольных соединений. В процессе переработки их в готовое блюдо (спагетти) общее содержание фенольных соединений уменьшилось на 74,5 %. Причем из общей доли фенольных соединений в сухих спагетти в воде в процессе приготовления растворилось 11,6 % [6].

При термообработке крупы гречихи происходят изменения в качестве белков в результате реакции Майяра и одновременно уменьшается антиоксидантная активность [7].

Исследования, проведенные в Западной Канаде, показали, что содержание флавоноидов и антиоксидантная активность гречихи зависит от условий, места и года культивирования [8].

Во время хранения происходит снижение концентрации ферментов липазы, липоксигеназы, пероксидазы и рутина, но увеличивается кислотное число жира ядра гречихи [9].

В связи с этим важным фактором выработки качественной продукции является соответствие качества сырья требованиям нормативной документации ГОСТ Р 56105-2014 «Гречиха. Технические условия».

По своим природно-климатическим условиям Алтайский край находится в зоне рискованного земледелия, но, несмотря на это, располагает огромными возможностями в организации ведения

растениеводческой отрасли [10].

В последнее время качество зерна гречихи, которое поступает на переработку в крупу, ухудшилось. Это связано со снижением требований к его качеству [11]. По мнению специалистов, главными причинами резкого снижения качества и увеличение его стоимости является нехватка кадров, техники, а также низкие цены на продукцию [12,13]. Вместе с этим затраты на его производство ложатся на объем убранных зерна, что приводит к росту его себестоимости. Поэтому нередки случаи, когда качественное зерно подсортировано зерном более низкого качества. В связи с этим важным является исследование зерна гречихи, которое не соответствует требованиям нормативных документов. Наиболее характерным примером является зерно гречихи, убранное из-под снега, так как качество перезимовавшего зерна под снегом значительно отличается от зерна убранного осенью.

В работе [14] авторы исследовали зерно гречихи, убранное весной после схода снега. По показателям качества и безопасности зерно соответствовало требованиям нормативной документации и могло быть использовано для переработки в крупу гречневую ядрица. Проведенные исследования показали, что зерно гречихи, убранное из-под снега, по своим физико-механическим, морфологическим и структурным свойствам является не однородным, содержит четыре основных дефекта, наличие которых, как показали производственные испытания, приводит к появлению испорченных зерен на этапе гидротермической обработке (ГТО), что может затруднить выработку качественной продукции [15,16]. Сравнительный анализ массовой доли продуктов переработки осеннего и хранившегося под снегом зерна гречихи показал снижение выхода массы доли целого ядра и увеличение доли дробленого ядра не менее чем в два раза.

В связи с тем, что отличительной особенностью переработки зерна гречихи является разделение его перед шелушением на фракции по крупности, важным является исследование механических свойств указанных фракций [17]. Такой подход к переработке определен тем, что шелушение зерна гречихи является одним из основных этапов определяющих качество, массовую долю готового продукта и эффективность работы. Знание механических свойств является важным, так как они определяют способы и режимы шелушения зерна

Все образцы для исследования были отобраны на гречезаводе производительностью 4 т/ч. Так как зерно шелушат, пропуская его между рабочими органами машины, установленными с определенным зазором, при переработке важно иметь однородную

Таблица 1 – Размеры круглых отверстий, характеризующих фракции

Table 1 – Sizes of the round holes according to fraction

Номер фракции	Крупность зерна, мм	
	Проход сита	Сход сита
1	–	5,0
2	5,0	4,5
3	4,5	4,2
4	4,2	4,0
5	4,0	3,6
6	3,6	3,4

по крупности зерновую массу [18]. Исходя из указанных требований, зерно перед шелушением разделяли на шесть фракций по крупности.

Целью настоящей работы является исследование динамики изменений механических свойств зерен гречихи из-под снега основных фракций по крупности до и после хранения.

Объекты и методы исследования

Для испытания были отобраны партии рядового зерна гречихи предгорной части Алтайского края, попавшие под снег осенью 2014 года. Уборка такого зерна проводилась весной 2015 года после схода с полей снега. Объектами исследования являются фракции зерна гречихи по крупности, разделенные перед шелушением в используемой технологии. Были исследованы двенадцать образцов: шесть образцов собраны и направлены на переработку (май 2015 г.), шесть образцов отобраны и хранившиеся восемь месяцев по март 2016 г. Для исследования отбирали образцы, которые не прошли этап температурной обработки.

Зерно по фракциям было упаковано в мешки по 10 кг и отправлено в склад на хранение. Такой

способ хранения позволил полностью исключить травмирование зерна при его хранении, а также исключить его контакт с технологическим оборудованием, которое может привести к деформации зерна при его передвижении на разных машинах. Для исследования производился отбор проб каждой фракции из пяти мешков. Из них отбирали средний образец и направляли на исследования. В экспериментальной части приведены средние значения показателей.

Контрольные образцы были расположены стоя в один ряд на деревянных решетках. Такой способ расположения мешков с исследуемыми образцами был определен исходя из того, что влажность, расположенных по рядам мешков, имеет свой показатель в процессе хранения для каждого ряда.

Характеристики образцов, размеры круглых отверстий сит, установленных на сортирующих машинах, разделяющих зерно на фракции по крупности, представлены в таблице 1.

Анализ таблицы позволяет утверждать, что для исследования выбраны шесть образцов зерна гречихи различных типоразмеров до и после хранения. Зерна гречихи условно можно разделить на крупные (диаметр 5,0–4,5 мм), средние (4,2–4,0 мм) и мелкие (4,0–3,6 мм). Размеры зерен являются сортовыми признаками и могут изменяться в зависимости от условий выращивания [19].

Чтобы избежать значительных погрешностей все исследования проводились с зерном от одного производителя. Показатели качества исследуемого нефракционированного зерна представлены в таблице 2.

Анализ таблицы позволяет утверждать, что используемое для исследования зерно, хранившееся под снегом, соответствует показателям качества, которые указаны в нормативных документах.

Таблица 2 – Показатели качества нефракционированного зерна осеннего и весеннего урожая и зерна гречихи по требованиям нормативной документации

Table 2 – Quality indices of unfractionated grain of the autumn and spring harvest and buckwheat grain according to regulatory documents

Наименование определяемых показателей	Значение показателей качества		
	НТ	Зерно весеннего урожая	
		(май)	(март)
Состояние	в здоровом негреющем состоянии	в здоровом негреющем состоянии	в здоровом негреющем состоянии
Цвет	свойственный здоровому зерну нормальный цвет	свойственный здоровому зерну нормальный цвет	свойственный здоровому зерну нормальный цвет
Запах	свойственный здоровому зерну	свойственный здоровому зерну	свойственный здоровому зерну
Влажность, %	14,5	13,2	13,0
Содержание ядра,	71	76,0	75,9
Сорная примесь, %	2,0	1,5	1,5
В том числе			
Испорченные зерна, %	0,2	0,3	0,3
Зерновая примесь, %	2,0	0,4	0,5
Проросшие зерна, %	1,0	0,4	0,4
Зараженность вредителями, экз./в 1 кг	не допускается	не обнаружено	не обнаружено
Загрязненность мертвыми насекомыми вредителями, экз./в 1 кг	не допускается	не обнаружено	не обнаружено

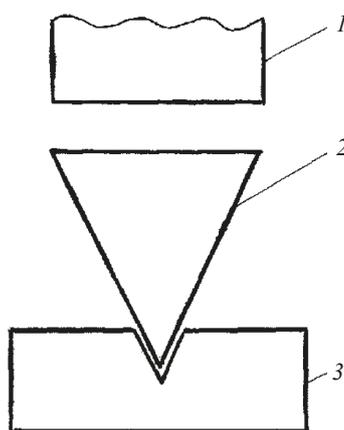


Рисунок 1 – Схема проведения испытания механических свойств зерна гречихи на термомеханическом анализаторе «Shimadzu-60», где 1 – индентор, 2 – зерно гречихи, 3 – столик измерительной ячейки

Figure 1 – The scheme of the mechanical properties test of buckwheat grain in the thermomechanical analyzer Shimadzu-60: 1 – indenter, 2 – buckwheat grain, 3 – measuring cell table

Результаты и их обсуждение

Форму ядра гречихи можно представить как трехгранную пирамиду. Исходя из этого, было изготовлено устройство для проведения механических испытаний ядра гречихи, чертеж которого представлен на рисунке 1.

Для исследования были использованы зерна гречихи размером 5,0–3,6 мм и влажностью 13,0–13,2 %, так как на используемых для шелушения машинах такая влажность является оптимальной.

Устройство для испытания образцов представляет собой латунный цилиндр, в котором выбрана полость с углом 60° и глубиной 0,5 мм для устойчивого расположения ядра.

Для исследований механических свойств зерна использовали термомеханический анализатор (ТМА-60) «Shimadzu-60» (Япония). На столик измерительной ячейки (рис. 1) помещали ядро гречихи.

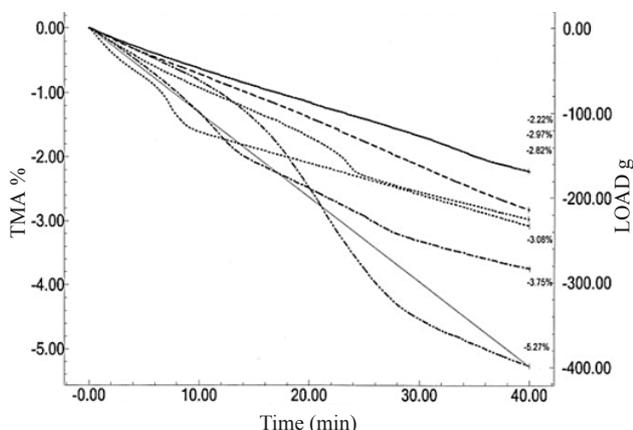


Рисунок 3 – Механические кривые разных фракций зерна гречихи образцов сразу после хранения, март 2016 г.

Figure 3 – The mechanical curves of various fractions of buckwheat grain samples immediately after storage, March 2016

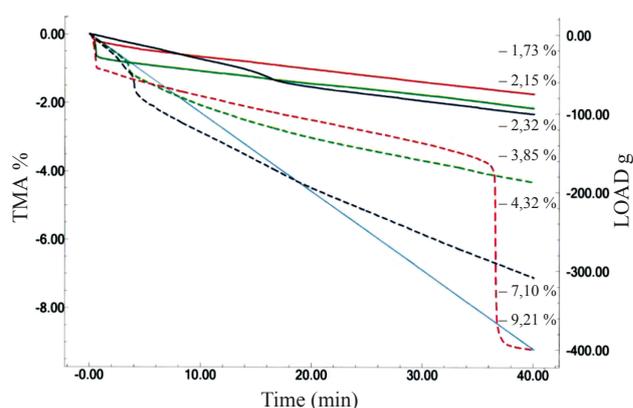


Рисунок 2 – Механические кривые образцов разных фракций зерна гречихи в мае месяце сразу после уборки зерна

Figure 2 – The mechanical curves of the samples of various fractions of buckwheat grain in May immediately after harvesting

Под углом 90° на одну точку грани ядра направляли индентор диаметром 3 мм со скоростью нагружения 10 г/мин в течение 40 мин. Максимальная нагрузка (P) на образец составляла 400 г.

Результаты механических изменений фракций зерен гречихи с 1 по 6 представлены на рисунках 2, 3. По оси Y слева – изменение линейного размера образца в %. По оси Y справа показана нагрузка индентора прибора на образец в граммах. Программное обеспечение анализатора и его свойства позволяет производить нагрузку на образец в граммах. Указанные на рисунках 2, 3 отрицательные показатели деформации и нагрузки характеризуют процесс сжатия образца. По оси X указана продолжительность эксперимента в минутах.

По результатам измерений построены графики. Результаты механических испытаний образцов зерен гречихи фракций различных размеров, убранных в мае, представлены на рисунке 2

Из представленных данных следует, что с уменьшением размера зерна увеличивается его деформация. Относительная деформация образцов составила:

- первая фракция – 1,73 %;
- вторая фракции – 2,15 %. Резкое изменение относительной деформации на третьей минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки;
- третья фракция – 2,32 %. Изменение относительной деформации на восемнадцатой минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки;
- четвертая фракция – 9,21 %. Резкое изменение относительной деформации на третьей минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки; на 37 минуте при увеличении нагрузке при деформации 3,85 % произошло разрушение образца. Можно предположить, что при испытании было использовано дефектное зерно. Такое зерно можно обнаружить только после удаления плодовой оболочки;
- пятая фракция – 4,32 %;
- шестая фракция – 7,10 %. Изменение относительной деформации на пятой минуте возможно связано с деформацией плодовой оболочки.

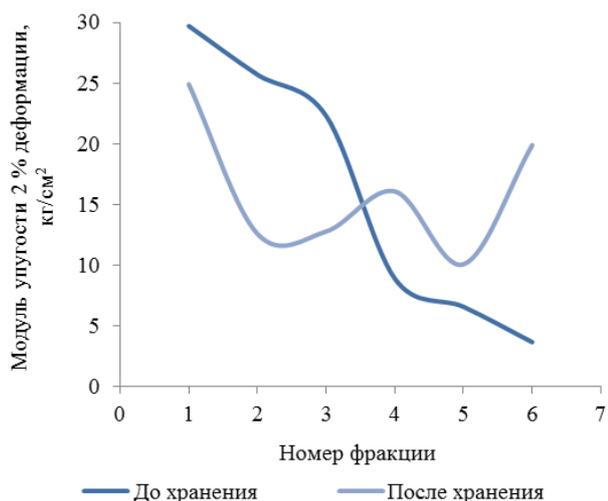


Рисунок 4 – Динамика модуля упругости фракций зерна гречихи до и после хранения

Figure 4 – The dynamic pattern of the elastic coefficient of buckwheat grain fractions before and after storage

Разброс относительной деформации в образцах разных фракций составил, без учета разрушения четвертой фракции одной партии гречихи, 5,35 %, с учетом разрушения – 7,46 %.

Результаты механических испытаний образцов фракций зерна гречихи различных размеров после хранения представлены на рисунке 3

Из представленных данных следует, что с уменьшением размера зерна увеличивается его деформация. Относительная деформация образцов составила:

- первая фракция – 2,22 %;
- вторая фракция – 2,97 %. Резкое изменение относительной деформации на третьей минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки;
- третья фракция – 2,82 %. Изменение относительной деформации на девятнадцатой минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки;
- четвертая фракция – 3,08 %. Изменение относительной деформации на третьей минуте возможно связано с прогибом плодовой оболочки;
- пятая фракция – 3,75 %;
- шестая фракция – 5,27 %. Изменение относительной деформации на пятой минуте возможно связано с деформацией плодовой оболочки.

Разброс относительной деформации в образцах разных фракций одной партии гречихи составляет 5,05 %. Разрушение образцов в ходе испытаний не выявлено.

Таким образом, изменение относительной деформации крупных фракций до и после хранения со-

ставили 0,49 % и 0,87 %, средних фракций – 0,5 % и 0,78 %, без учета разрушения образца, мелких фракций – 0,57 % и 1,83 %. Можно утверждать, что мелкие фракции до и после хранения подвержены большей деформации. Это может привести к высокой деформации и разрушению их при шелушении.

Для сопоставления механических свойств исследуемых образцов, характеризующих сопротивляемость деформации, был определен модуль в упругости на сжатия при 2 % деформации. Изменение модуля упругости фракций зерна гречихи до и после хранения представлены на рисунке 4.

Из представленных данных следует, что:

- для зерна до хранения – с уменьшением размера зерна происходит примерно линейное снижение модуля упругости. Возможно, такое изменение упругости зерен разных фракций связано с различной степенью зрелости зерна [20], а также с уменьшением их геометрических размеров при сохранении параметров нагружения;

- для зерна после хранения – поведение деформации в образцах значительно различается. Деформация в крупных, средних и мелких зернах при всех равных условиях различается. Возможно, что такой характер изменения деформации для различных фракций зерна гречихи связан с процессом дозревания зерен в процессе хранения [21]. Это приводит к увеличению их прочности, а также то, что фракции гречихи по крупности имеют полидисперсный характер содержания ядра, чем меньше размер фракции, тем более выполнено ядро соответственно прочность такого ядра выше.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что в процессе хранения зерна, убранного из-под снега, изменение механических свойств во фракциях зерна гречихи разных размеров происходит неравномерно, что необходимо учитывать при выборе режимов шелушения.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Благодарю всех уважаемых коллег, которые помогли при работе над статьей

Финансирование

Работа выполнена в Бийском технологическом институте (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», руководитель М. А. Ленский.

Список литературы

1. Giménez-Bastida, J. A. Buckwheat as a Functional Food and Its Effects on Health / J. A. Giménez-Bastida, H. Zieliński // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 63, № 36. – P. 7896–7913. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>.
2. Tavčar Benković, E. Fagopyrins and Protofagopyrins: Detection, Analysis, and Potential Phototoxicity in Buckwheat / E. Tavčar Benković, S. Kreft // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 63, № 24. – P. 5715–5724. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01163>.

3. Structural Identification of Anthocyanins and Analysis of Concentrations during Growth and Flowering in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Petals / T. Suzuki, S.-J. Kim, Z. I. S. Mohamed [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55, № 23. – P. 9571–9575. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0714741>.
4. Watanabe, M. Chiral Separation of Catechins in Buckwheat Groats and the Effects of Phenolic Compounds in Mice Subjected to Restraint Stress / M. Watanabe, J. Ayugase // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57, № 14. – P. 6438–6442. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf901281j>.
5. Trace Element Water Improves the Antioxidant Activity of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Sprouts / C.-L. Liu, Y.-S. Chen, J.-H. Yang [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55, № 22. – P. 8934–8940. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0716275>.
6. Determination of Free and Bound Phenolic Compounds in Buckwheat Spaghetti by RP-HPLC-ESI-TOF-MS: Effect of Thermal Processing from Farm to Fork / V. Verardo, D. Arráez-Román, A. Segura-Carretero [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – Vol. 59, № 14. – P. 7700–7707. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf201069k>.
7. Changes in Protein Quality and Antioxidant Properties of Buckwheat Seeds and Groats Induced by Roasting / H. Zielinski, A. Michalska, M. Amigo-Benavent [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57, № 11. – P. 4771–4776. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf900313e>.
8. Oomah, B. D. Flavonoids and Antioxidative Activities in Buckwheat / B. D. Oomah, G. Mazza // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 1996. – Vol. 55, № 7. – P. 1746–1750. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9508357>.
9. Effects of Lipase, Lipoxygenase, Peroxidase, and Rutin on Quality Deteriorations in Buckwheat Flour / T. Suzuki, Y. Honda, Y. Mukasa [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53, № 21. – P. 8400–8405. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0512499>.
10. Региональный аспект возделывания гречихи на Алтае / В. М. Важов, В. Н. Козил, Р. Ф. Бахтин [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 8. – С. 40–45.
11. Мелешкина, Е. П. Современные аспекты качества зерна пшеницы / Е. П. Мелешкина // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2009. – Т. 3, № 3. – С. 4–7.
12. «Ростсельмаш» назвал три основных причины потерь зерна при уборке // Агроинвестор. – 2017. – Режим доступа: <http://agriculture.by/news/mirovye-novosti/rostselmash-nazval-tri-osnovnyh-prichiny-poter-zerna-pri-uborke>. – Дата обращения: 25.12.2018.
13. Новоселов, С. В. Основы моделирования инновационного развития зерноперерабатывающих предприятий в условиях Алтайского края / С. В. Новоселов, Е. Н. Болхивитина, Ю. Г. Угарова // Ползуновский вестник 2012. – № 2–2. – С. 65–73.
14. Марьин, В. А. Механические характеристики зерна гречихи хранившегося под снегом / В. А. Марьин, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 44, № 1. – С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-1-65-72>.
15. Константинов, М. М. Способ определения равномерности гидротермической обработки зерна крупяных культур / М. М. Константинов, А. А. Румянцев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 35, № 3. – С. 79–82.
16. Румянцев, А. А. Математическая модель кинетики увлажнения зерно крупяных культур при гидротермической обработке / А. А. Румянцев // Ползуновский вестник. – 2018. – № 2. – С. 56–59.
17. Bryngelsson, S. Effects of Commercial Processing on Levels of Antioxidants in Oats (*Avena sativa* L.) / S. Bryngelsson, L. H. Dimberg, A. Kamal-Eldin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2002. – Vol. 50, № 7. – P. 1890–1896. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf011222z>.
18. Saravacos, G. D. Mechanical Separation Equipment / G. D. Saravacos, A. E. Kostaropoulos // Handbook of Food Processing Equipment. Food Engineering Series / G. D. Saravacos, A. E. Kostaropoulos. – Switzerland : Springer International Publishing, 2016. – P. 233–292. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5>.
19. Важов, В. М. Агроэкологические вопросы выращивания *Fagopyrum esculentum moench*. на Алтае / В. М. Важов, В. Н. Козил, С. В. Важов // Успехи современного естествознания – 2016. – № 1. – С. 56–60.
20. Марьин, В. А. Физико-механические свойства ядра гречихи различных размеров / В. А. Марьин, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 3. – С. 14–17.
21. Influences of High Hydrostatic Pressure, Microwave Heating, and Boiling on Chemical Compositions, Antinutritional Factors, Fatty Acids, In Vitro Protein Digestibility, and Microstructure of Buckwheat / Y. Deng, O. Padilla-Zakour, Y. Zhao [et al.] // Food Bioprocess Technology. – 2015. – Vol. 8, № 11. – P. 2235–2245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1578-9>.

References

1. Gimenez-Bastida JA, Zielinski H. Buckwheat as a Functional Food and Its Effects on Health. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015;63(36):7896–7913. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>.
2. Benkovic ET, Kreft S. Fagopyrins and Protofagopyrins: Detection, Analysis, and Potential Phototoxicity in Buckwheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015;63(24):5715–5724. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01163>.
3. Suzuki T, Kim SJ, Mohamed ZIS, Mukasa Y, Takigawa S, Matsuura-Endo C, et al. Structural identification of anthocyanins and analysis of concentrations during growth and flowering in buckwheat (*Fagopyrum esculentum moench*) petals. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(23):9571–9575. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0714741>.
4. Watanabe M, Ayugase J. Chiral Separation of Catechins in Buckwheat Groats and the Effects of Phenolic Compounds in Mice Subjected to Restraint Stress. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009;57(14):6438–6442. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf901281j>.

5. Liu CL, Chen YS, Yang JH, Chiang BH, Hsu CK. Trace element water improves the antioxidant activity of buckwheat (*Fagopyrum esculentum moench*) sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(22):8934–8940. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0716275>.
6. Verardo V, Arraez-Roman D, Segura-Carretero A, Marconi E, Fernandez-Gutierrez A, Caboni MF. Determination of Free and Bound Phenolic Compounds in Buckwheat Spaghetti by RP-HPLC-ESI-TOF-MS: Effect of Thermal Processing from Farm to Fork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(14):7700–7707. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf201069k>.
7. Zielinski H, Michalska A, Amigo-Benavent M, del Castillo MD, Piskula MK. Changes in Protein Quality and Antioxidant Properties of Buckwheat Seeds and Groats Induced by Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009;57(11):4771–4776. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf900313e>.
8. Oomah BD, Mazza G. Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1996;44(7):1746–1750. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9508357>
9. Suzuki T, Honda Y, Mukasa Y, Kim S. Effects of lipase, lipoxygenase, peroxidase, and rutin on quality deteriorations in buckwheat flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(21):8400–8405. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0512499>.
10. Vazhov VM, Kozil VN, Bakhtin RF, Yaskov MI. Regional aspect of cultivating buckwheat in Altai. *Advances in current natural sciences*. 2018;(8):40–45. (In Russ.).
11. Meleshkina EP. Modern Aspects of Wheat Grain Quality. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009; 3(3):4–7. (In Russ.).
12. “Rostsel'mash” nazval tri osnovnykh prichiny poter' zerna pri uborke [Rostselmash named three main causes of grain losses during harvesting]. *Agroinvestor [Agroinvestor]*. 2017. [cited 2018 Dec 25]. Available from: <http://agriculture.by/news/mirovye-novosti/rostselmash-nazval-tri-osnovnykh-prichiny-poter-zerna-pri-uborke>.
13. Novoselov SV, Bolkhivitina EN, Ugarova YuG. Osnovy modelirovaniya innovatsionnogo razvitiya zernopererabatyvayushchikh predpriyatiy v usloviyakh Altayskogo kraya [Basic modeling of the innovative development of grain processing enterprises in the conditions of the Altai Territory]. *Polzunovskiy vestnik*. 2012;(2–2):65–73. (In Russ.).
14. Mar'in VA, Vereshchagin AL, Bychin NV. Mechanical properties of buckwheat grain stored under snow. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;44(1):65–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-1-65-72>.
15. Konstantinov MM, Rummyantsev AA, Borzov NA. Methods of determining the evenness of hydrothermic treatment of groats grain. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2012;35(3):79–82. (In Russ.).
16. Rummyantsev AA. Matematicheskaya model' kinetiki uvlazhneniya zernokrupyanykh kul'tur pri gidrotermicheskoy obrabotke [The mathematic model for the wet grain kinetics during hydrothermal processing]. *Polzunovskiy vestnik*. 2018;(2):56–59. (In Russ.).
17. Bryngelsson S, Dimberg LH, Kamal-Eldin A. Effects of commercial processing on levels of antioxidants in oats (*Avena sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(7):1890–1896. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf011222z>.
18. Saravacos G, Kostaropoulos AE. Mechanical Separation Equipment. In: Saravacos GD, Kostaropoulos AE, editors. *Handbook of Food Processing Equipment*, 2nd Edition. Food Engineering Series. New York: Springer; 2016. p. 233–292. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5>.
19. Vazhov VM, Kozil VN, Vazhov SV. Agroecological growing business *Fagopyrum esculentum moench*. In Altai. *Advances in current natural sciences*. 2016;(1):56–60. (In Russ.).
20. Marin VA, Vereshchagin AL, Bychin NV. Physico-mechanical Properties of the Buckwheat Kernels in Different Sizes. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(3):14–17. (In Russ.).
21. Deng Y, Padilla-Zakour O, Zhao YY, Tao SS. Influences of High Hydrostatic Pressure, Microwave Heating, and Boiling on Chemical Compositions, Antinutritional Factors, Fatty Acids, In Vitro Protein Digestibility, and Microstructure of Buckwheat. *Food and Bioprocess Technology*. 2015;8(11):2235–2245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1578-9>.

Марьин Василий Александрович

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, e-mail: tehbiysk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1858-238X>

Vasily A. Marin

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Biysk technological institute is a subsidiary of Polzunov Altai State Technical University, 27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia, e-mail: tehbiysk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1858-238X>

Верещагин Александр Леонидович

д-р хим. наук, профессор, ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, e-mail: vail@bti.secna.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4510-720X>

Alexander L. Vereshchagin

Dr.Sci.(Chem.), Professor, Biysk technological institute is a subsidiary of Polzunov Altai State Technical University, 27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia, e-mail: vail@bti.secna.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4510-720X>

Бычин Николай Валерьевич

ведущий инженер, ФГБОУ ВО Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, e-mail: vail@bti.secna.ru

Nikolai V. Bychin

Leading Engineer, Biysk technological institute is a subsidiary of Polzunov Altai State Technical University, 27, Trofimova Str., Biysk, 659305, Russia, e-mail: vail@bti.secna.ru