



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.76

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015



СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Людмила Витальевна Анисимова ¹, Екатерина Сергеевна Серебренникова ²,
Екатерина Олеговна Гергерт ³, Данил Юрьевич Гузий ⁴

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

² silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

³ kalya.gergert.01@mail.ru

⁴ rend-i@mail.ru

Аннотация. Изучено влияние способа получения сорговой муки на стойкость при хранении, которую оценивали по влажности, кислотности по болтушке и кислотности по водно-спиртовой вытяжке. Исследованы следующие способы возможного повышения стойкости муки при хранении: частичное удаление оболочек и зародыша при шелушении-шлифовании зерна и проведение гидротермической обработки (ГТО) зерна сорго при подготовке его к шелушению. При этом применяли два способа ГТО: с интенсивным увлажнением под вакуумом, отволаживанием и сушкой зерна и с пропариванием и сушкой зерна. Кроме того, вырабатывали муку из зерна сорго, не подвергавшегося ГТО и не прошедшего операцию шелушения-шлифования (цельнозерновую). Зерно и ядро измельчали на лабораторной молотковой мельнице со встроенным ситом № 08. Свежесмолотую сорговую муку направляли на хранение при относительной влажности воздуха $65\pm 0,1\%$ и температуре $20\pm 0,5$ и 40 ± 1 °С. Муку хранили в текстильных (хлопковых) мешках и полиэтиленовых пакетах.

Установлено, что способ получения сорговой муки практически не оказал влияния на равновесную влажность муки из голозерного сорго, хранившейся при постоянной температуре; включение в технологическую схему подготовки сорго к измельчению операций шелушения-шлифования и гидротермической обработки зерна стабилизировало свойства сорговой муки при хранении: замедлился рост титруемой кислотности как по болтушке, так и по водно-спиртовой вытяжке; лучшая стойкость при хранении по исследованным показателям качества отмечена у муки из голозерного сорго, прошедшего ГТО с пропариванием, затем следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, далее – сорговая мука из шелушеного, но не подвергнутого ГТО зерна; наименьшую стойкость при хранении имела цельнозерновая сорговая мука; упаковка в полиэтиленовые пакеты показала лучшую сохранность сорговой муки по сравнению с упаковкой в тканевые мешки.

Ключевые слова: сорговая мука, шелушение-шлифование, гидротермическая обработка, пропаривание, сушка, увлажнение, вакуум, влажность, кислотность по болтушке, кислотность по водно-спиртовой вытяжке, хранение.

Для цитирования: Анисимова Л. В., Серебренникова Е. С., Гергерт Е. О., Гузий Д. Ю. Стойкость при хранении муки из сорго, полученной разными способами // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 99–105. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015, EDN: <https://elibrary.ru/HIPCZG>.

Original article

STORAGE STABILITY OF SORGHUM FLOUR PRODUCED BY DIFFERENT METHODS

Lyudmila V. Anisimova ¹, Ekaterina S. Serebrennikova ²,
Ekaterina O. Gergert ³, Danil Yu. Guziy ⁴

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ anislv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

² silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

© Анисимова Л. В., Серебренникова Е. С., Гергерт Е. О., Гузий Д. Ю., 2024

³ katya.gergert.01@mail.ru

⁴ rend-i@mail.ru

Abstract. The effect of the method of sorghum flour production on its storage stability, assessed by moisture content, acidity by beaten-up flour and water, and acidity by aqueous-alcoholic extract, was studied. The following methods for increasing the storage stability of flour were investigated: partial removal of the hulls and germ during grain hulling and polishing, and hydrothermal treatment (HTT) of sorghum grain during its preparation for hulling. Two HTT methods were used: with intensive moistening under vacuum, grain resting and drying, and with grain steaming and drying. In addition, flour was produced from sorghum grain that was not subjected to HTT and did not undergo the hulling and polishing operation (whole grain flour). The grain and kernel were ground in a laboratory hammer mill with a built-in sieve No. 08. Freshly ground sorghum flour was sent for storage at a relative air humidity of $65 \pm 0.1\%$ and a temperature of 20 ± 0.5 and 40 ± 1 °C. The flour was stored in textile (cotton) bags and polyethylene packages.

It was found that the method for obtaining sorghum flour had virtually no effect on the equilibrium moisture content of sorghum flour stored at a constant temperature; the inclusion of hulling-polishing and hydrothermal treatment of grain in the technological scheme for preparing sorghum for grinding stabilized the properties of sorghum flour during storage: the growth of titratable acidity slowed down both for the acidity by beaten-up flour and water and for the acidity by aqueous-alcoholic extract; the best shelf life according to the studied quality indicators was noted for flour from grain that underwent HTT with steaming, followed by flour from grain that underwent HTT with vacuum humidification, then flour from hulled but not HTT-treated grain; whole grain flour had the lowest shelf life; packaging in polyethylene bags showed better preservation of sorghum flour compared to packaging in textile bags.

Keywords: sorghum flour, hydrothermal treatment, hulling-polishing, steaming, drying, moistening, vacuum, moisture content, acidity by beaten-up flour and water, acidity by water-alcohol extract, storage.

For citation: Anisimova, L.V., Serebrenikova, E.S., Gergert, E.O. & Guziy, D.Yu. (2024). Storage stability of sorghum flour produced by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 99-105. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015. EDN: <https://elibrary.ru/HIPCZG>.

ВВЕДЕНИЕ

Зерновое сорго – перспективная культура для возделывания в засушливых районах Алтайского края. Отличительными особенностями растения сорго являются не только засухоустойчивость, но и способность давать хорошие урожаи на солончаковых и засоленных почвах [1, 2]. В Алтайском крае насчитывается около 3,3 млн. га таких почв [3].

Зерно сорго имеет характерный для злаковых культур химический состав, % на сухое вещество: белок – 12,3; крахмал – 79,8; жир – 3,6 [4]. Кроме того, в зерне данной культуры содержатся витамины В₁, В₂, В₆, РР и др. В состав зерна сорго входит также каротин, микро- и макроэлементы [5].

Продукты переработки сорго могут расширить ассортимент добавок при выпечке хлебулочных изделий [6].

При производстве продуктов питания и сырья, используемого при их изготовлении, в том числе муки из крупных культур, большое внимание уделяется повышению стойкости продукции при хранении. Увеличение сроков хранения муки позволяет создавать ее запасы на зерноперерабатывающих предприятиях и предприятиях пищевой промышленности, что стабилизирует их работу и, в конечном итоге, повышает эффективность производства.

Целью данного исследования явился

поиск технологических способов увеличения продолжительности хранения сорговой муки без ухудшения ее качества.

МЕТОДЫ

Нами изучены следующие способы возможного повышения стойкости сорговой муки при хранении: частичное удаление оболочек и зародыша при шелушении-шлифовании зерна и проведение гидротермической обработки (ГТО) зерна сорго при подготовке его к шелушению. При этом применяли два способа ГТО: с пропариванием и сушкой зерна и с интенсивным увлажнением зерна под вакуумом, отволаживанием и сушкой.

В опытах использовали красное голозерное сорго сорта Орловское.

Изучали стойкость при хранении четырех образцов сорговой муки:

P – из голозерного сорго, подвергнутого ГТО с пропариванием и сушкой и прошедшего операцию шелушения-шлифования;

V – из голозерного сорго, подвергнутого ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, отволаживанием и сушкой и прошедшего операцию шелушения-шлифования;

WH (без ГТО) – из голозерного сорго, не подвергнутого ГТО, прошедшего операцию шелушения-шлифования;

WG (цельнозерновая) – из голозерного

СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

сорго, не подвергнутого ГТО и не прошедшего операцию шелушения-шлифования.

Блок-схема получения сорговой муки в исследовании приведена на рисунке 1.

Шелушение-шлифование зерна осуществляли на лабораторной установке типа ЗШН. Для проведения гидротермической обработки зерна использовали лабораторное оборудование: шнековую вакуумную установку, пропариватель периодического действия, сушилку с сушкой зерна в псевдоожиженном слое. Помол зерна и ядра сорго осуществляли на лабораторной молотковой мельнице со встроенным металлотканым ситом № 08.

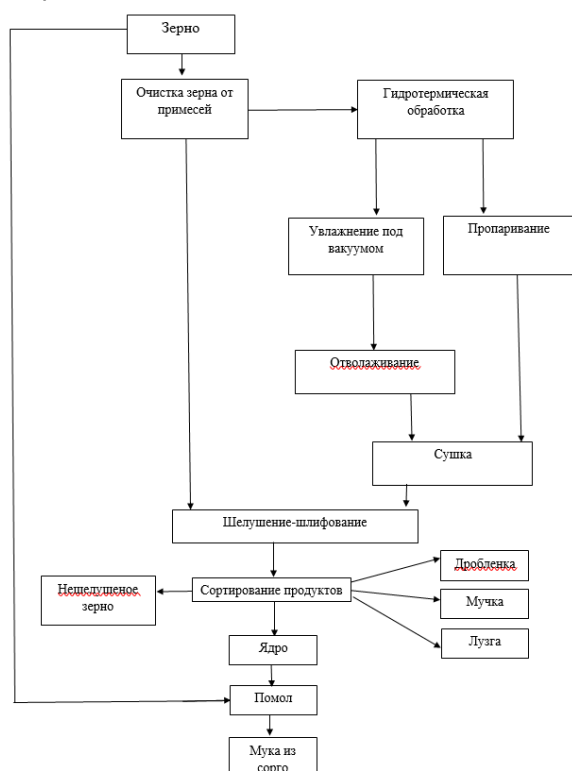


Рисунок 1 – Блок-схема получения сорговой муки

Figure 1 – Block diagram of the production of sorghum flour

Сорговую муку, упакованную в текстильные (хлопковые) мешки и полиэтиленовые пакеты, хранили в эксикаторах, в которых поддерживали относительную влажность воздуха $65 \pm 0,1$ %. Эксикаторы, в свою очередь, помещали в термостаты с температурой $20 \pm 0,5$ и 40 ± 1 °С. Повышенную температуру хранения применили, руководствуясь методикой «ускоренного старения» [7].

В процессе хранения контролировали влажность муки, кислотность по болтушке и кислотность по водно-спиртовой вытяжке. Использовали действующие стандартные и общепринятые методики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших показателей качества муки является ее влажность.

В опытах поддерживали относительную влажность воздуха на уровне не выше 65–70 %. При более высокой относительной влажности воздуха возможно излишнее поглощение влаги мукой, что приведет к ее переувлажнению и последующей порче.

Характер изменения влажности сорговой муки при хранении прослеживается по данным, приведенным в таблице 1.

В процессе хранения во всех образцах муки из сорго установилась равновесная влажность. Заметное влияние на уровень равновесной влажности оказала температура, при которой образцы хранились.

Следует отметить, что влажность закладываемых на хранение образцов сорговой муки, полученных из зерна, подвергнутого обоим способам ГТО и прошедшего шелушение-шлифование, была на 0,5–1 % выше влажности муки, полученной из шелушеного ядра и цельнозерновой муки. Эта разница сказалась на процессах поглощения-выделения паров воды муки из сорго.

Таблица 1 – Влияние продолжительности хранения муки из голозерного сорго на ее влажность
Table 1 – Influence of the storage time of flour from naked grain sorghum on its moisture content

Способ получения муки, вид упаковки	Продолжительность хранения, сут.									
	0	14	28	42	56	84	112	140	168	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Температура 20 °С										
Р: ГТО зерна сорго с пропариванием, текстильные мешки	11,5	–	11,7	–	11,0	11,1	11,4	11,5	11,6	
В: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, текстильные мешки	11,8	11,8	12,1	11,5	11,2	11,2	11,4	11,8	11,9	
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, текстильные мешки	10,5	10,5	10,8	11,1	11,2	11,2	11,4	11,7	11,7	

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WG: цельнозерновая сорговая, текстильные мешки	11,0	–	11,0	–	11,2	11,2	11,5	11,6	11,9
Температура 40 °С									
P: ГТО зерна сорго с пропариванием, текстильные мешки	11,5	–	11,2	–	10,8	10,9	10,8	10,9	10,8
P: ГТО зерна сорго с пропариванием, полиэтиленовые пакеты	11,5	–	11,2	–	10,5	10,6	10,5	10,3	10,5
V: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, текстильные мешки	11,8	11,4	11,6	11,3	11,4	11,0	11,0	10,9	10,8
V: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, полиэтиленовые пакеты	11,8	–	11,5	–	10,8	10,6	10,5	10,4	10,5
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, текстильные мешки	10,5	11,4	11,0	11,0	11,0	10,8	10,8	10,8	10,8
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, полиэтиленовые пакеты	10,5	–	11,4	–	10,8	10,8	10,6	10,4	10,6
WG: цельнозерновая сорговая, текстильные мешки	11,0	–	11,5	–	11,0	10,6	10,6	10,7	10,8

Влажность сорговой муки, выработанной из зерна после обоих способов ГТО (*P* и *V*), в процессе хранения при температуре 20 °С практически не изменилась. Сорговая мука хранилась в текстильных мешках, обеспечивающих достаточный доступ воздуха к продукции. Следовательно, данные образцы муки изначально имели влажность, близкую к равновесной. В образцах сорговой муки *WH* и *WG* шел процесс сорбции паров воды. В результате установилась равновесная влажность, близкая к влажности сорговой муки из зерна, прошедшего ГТО.

При хранении сорговой муки, полученной из зерна после ГТО (*P* и *V*), при температуре 40 °С, отмечено развитие процессов десорбции паров воды. Влажность сорговой муки *WG* изначально была близка к равновесной. Влажность сорговой муки *WH* в процессе хранения при 40 °С несколько повысилась.

В целом, при хранении сорговой муки при температуре 40 °С равновесная влажность всех образцов установилась ниже, чем при 20 °С.

Сравнение разных видов упаковки показало, что влажность образцов в полиэтиленовых пакетах установилась на несколько более низком уровне, чем в текстильных мешках. В связи с тем, что при упаковке сорговой муки в полиэтиленовые пакеты в них остался воздух, а пакеты достаточно герметичны и не пропускают наружный воздух, хранящаяся в них мука приобрела влажность, равновесную условиям внутри пакетов. Более низкая влажность сорговой муки в полиэтиленовых пакетах способствует более длительному хранению сорговой муки.

Свежесть муки при хранении оценивают по ее титруемой кислотности.

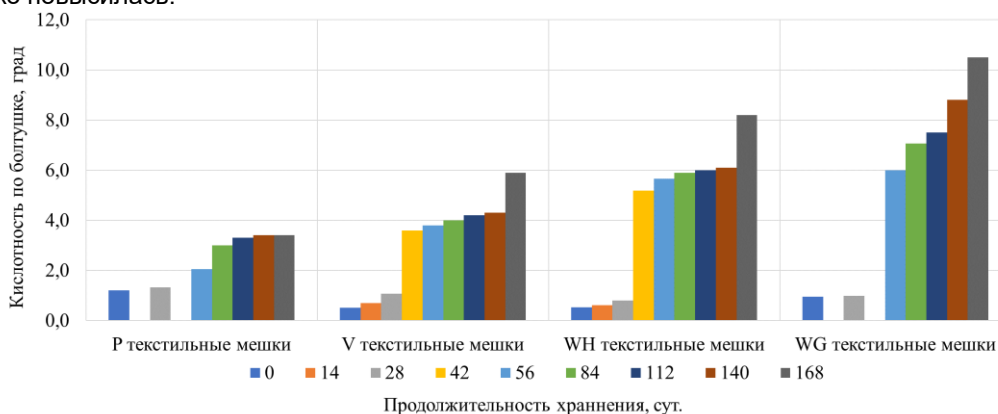


Рисунок 2 – Влияние продолжительности хранения при температуре 20 °С муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по болтушке

Figure 2 – The effect of the storage duration at a temperature of 20 °С of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by beaten-up flour and water

СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

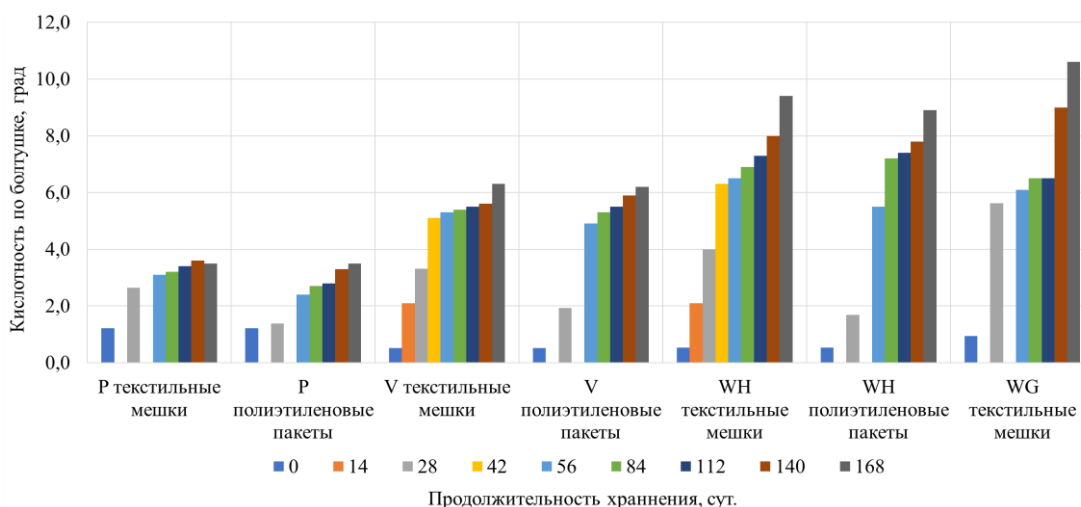


Рисунок 3 – Влияние продолжительности хранения при температуре 40 °С и вида упаковки муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по болтушке

Figure 3 – The effect of the storage duration at a temperature of 40 °C and type of packaging of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by beaten-up flour and water

Кислотность по болтушке характеризует присутствие в образце муки водорастворимых органических кислот, фосфорной кислоты, кислых фосфатов. Кроме того, щелочь, используемую при титровании, способны связывать карбоксильные группы белков и нерастворимые в воде свободные жирные кислоты, входящие в состав титруемой суспензии. На рисунках 2 и 3 приведены диаграммы, отражающие влияние продолжительности хранения образцов сорговой муки, полученной разными способами, на кислотность по болтушке при температуре хранения 20 и 40 °С соответственно. На диаграмме, приведенной на рисунке 3, показано также влияние способа упаковки на исследуемый показатель.

Из представленных данных следует, что способ получения сорговой муки оказывает существенное влияние на изменение кислотности по болтушке исследуемых образцов продукта. Во всех образцах сорговой муки с увеличением продолжительности хранения кислотность возрастает. Однако наиболее быстрый рост данного показателя отмечен для цельнозерновой сорговой муки (WG), т. е. муки из зерна, не подвергавшегося ГТО и не прошедшего шелушения. Сорговая мука, выработанная из зерна, не подвергавшегося ПТО, но прошедшего шелушение (WH), имеет большую стойкость при хранении, чем сорговая мука WG. Это можно объяснить тем, что значительная часть кислореагирующих веществ содержится в оболочках и зародыше, которые частично удаляются при шелушении зерна.

В сорговой муке, выработанной с использованием обоих способов ГТО зерна, (P и V) кислотность по болтушке в процессе хранения возрастает в меньшей степени, чем в сорговой муке WG и WH. Полученные результаты связаны с частичной инактивацией ферментов, под воздействием тепла и влаги [8] на этапах про-

паривания и сушки при ГТО с пропариванием зерна и на этапе сушки при ГТО с увлажнением зерна под вакуумом.

Наибольшую стойкость при хранении показала сорговая мука, выработанная с использованием пропаривания зерна (P). Это объясняется более жесткими режимами данного способа ГТО.

Повышенная температура хранения привела к более быстрому увеличению кислотности по болтушке всех образцов сорговой муки. Если при температуре 20 °С заметный скачок кислотности сорговой муки, упакованной в текстильные мешки, отмечен на 42 и 56 сутки, то при температуре 40 °С – на 14 и 28 сутки хранения.

Методику «ускоренного старения» можно применять не только для более быстрого определения сроков годности муки, но и для изучения влияния дополнительных факторов на стойкость муки при хранении. Так, при температуре хранения 40 °С исследовали влияние вида упаковки на кислотность сорговой муки по болтушке.

Отмечены более низкие темпы возрастания кислотности и меньший уровень кислотности в конце исследуемого срока хранения сорговой муки, упакованной в полиэтиленовые пакеты, по сравнению с мукой, помещенной в текстильные мешки. Рост кислотности сорговой муки вызван окислительными процессами, протекающими в ней под воздействием ферментов. В связи с почти полным отсутствием притока наружного воздуха внутрь достаточно плотно закрытых пакетов, на окислительные процессы в муке расходуется только кислород, попавший в пакеты при упаковке. В итоге кислотность сорговой муки увеличивается в меньшей степени.

Изучение влияния продолжительности хранения сорговой муки на кислотность по водно-спиртовой вытяжке позволило получить дополнительную информацию об изменении качества муки.

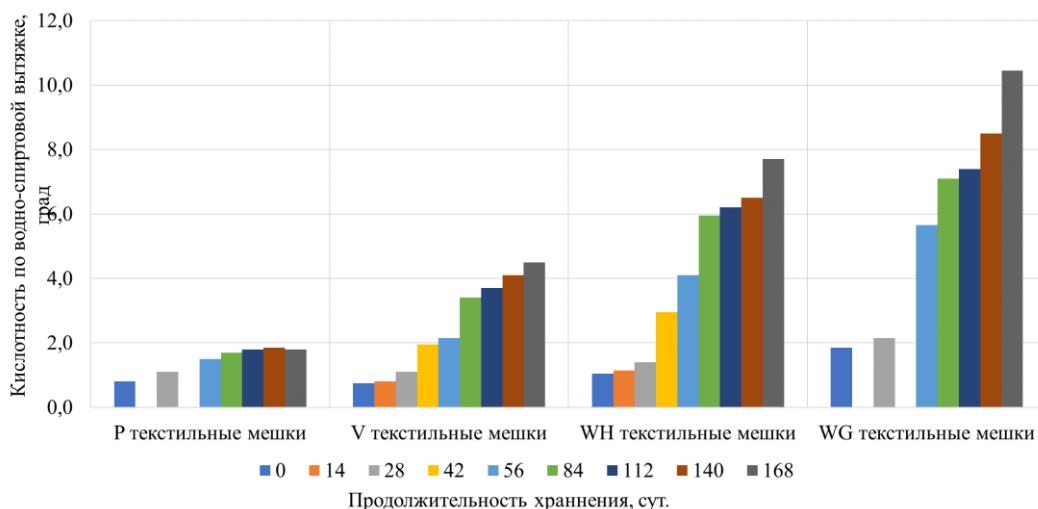


Рисунок 4 – Влияние продолжительности хранения при температуре 20 °С муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по водно-спиртовой вытяжке

Figure 4 – The effect of the storage duration at a temperature of 20 °C of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by water-alcohol extract

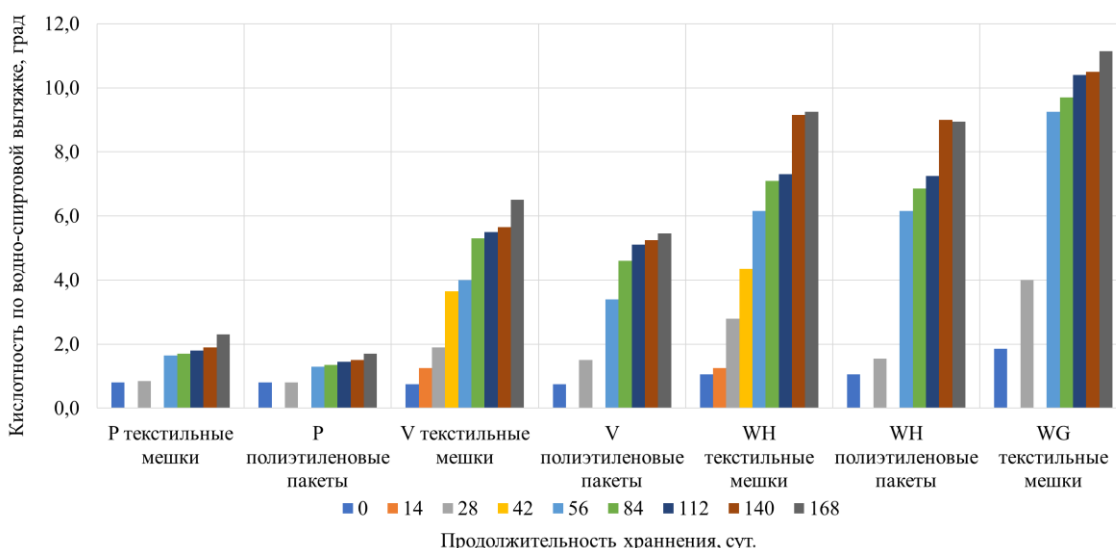


Рисунок 5 – Влияние продолжительности хранения при температуре 40 °С и вида упаковки сорговой муки, полученной разными способами, на ее кислотность по водно-спиртовой вытяжке

Figure 5 – The effect of the storage duration at a temperature of 40 °C and type of packaging of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by water-alcohol extract

Из представленных на диаграммах данных (рис. 4, 5) видно, что с увеличением продолжительности хранения кислотность по водно-спиртовой вытяжке во всех образцах сорговой муки, как и кислотность по болтушке, возрастает. Однако уровень данного показателя ниже, чем уровень кислотности по болтушке.

Анализ диаграмм показал, что наименьшую кислотность по водно-спиртовой вытяжке в процессе хранения приобрели образцы сорговой муки, полученной из пропаренного зерна (P). Далее в порядке увеличения кислотности следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с увлажнением под вакуумом (V), сорговая

мука из шелушенного, не прошедшего ГТО зерна (WH), цельнозерновая сорговая мука (WG).

Темпы роста и уровень кислотности по водно-спиртовой вытяжке образцов муки из сорго, хранившихся при температуре 40 °С, выше, чем при температуре 20 °С. Упаковка муки из сорго в полиэтиленовые пакеты привела к снижению уровня кислотности по водно-спиртовой вытяжке. Таким образом, тенденции изменения кислотности по водно-спиртовой вытяжке сорговой муки, полученной разными способами и помещенной в различные упаковки, совпадают с характером изменения кислотности сорговой муки по болтушке.

Более низкий уровень кислотности по водно-

спиртовой вытяжке по сравнению с кислотностью по болтушке объясняется тем, что в раствор этилового спирта перешли не все кислореагирующие вещества. Однако кислотность по водно-спиртовой вытяжке более четко сигнализирует о гидролизе жиров и свежести сорговой муки.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- способ получения сорговой муки практически не оказал влияния на равновесную влажность муки из голозерного сорго, хранившейся при постоянной температуре, однако увеличение температуры хранения привело к снижению равновесной влажности у всех образцов сорговой муки;

- включение в технологическую схему подготовки сорго к измельчению операций шелушения-шлифования и гидротермической обработки зерна стабилизировало свойства сорговой муки при хранении: замедлился рост титруемой кислотности как по болтушке, так и по водно-спиртовой вытяжке;

- лучшая стойкость при хранении по исследованным показателям качества отмечена у муки из голозерного сорго, прошедшего ГТО с пропариванием, затем следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, далее – сорговая мука из шелушенного, но не подвергнутого ГТО зерна; наименьшую стойкость при хранении имела цельнозерновая сорговая мука;

- упаковка в полиэтиленовые пакеты показала лучшую сохранность сорговой муки по сравнению с упаковкой в тканевые мешки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвиенко Е.В. Сорго как пищевая культура / Е.В. Матвиенко // International agricultural journal. 2020. № 3. С. 100–108.
2. Балакай С.Г. Сорго – культура больших возможностей / С.Г. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 1(05). С. 83–90.
3. Шукис Е.Р. Потенциал возделывания сорговых культур в Алтайском крае / Е.Р. Шукис, А.Б. Володин, С.И. Капустин // Сельскохозяйственный журнал. 2018. С. 32–37.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

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

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

4. Абрамова А.В. Перспективы и проблемы использования сорго для создания безглютеновой продукции / А.В. Абрамова, Т.В. Меледина, Р.А. Фёдорова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 42. С. 72–77.

5. Кононов В.М. Пищевое сорго – перспективная зерновая культура / В.М. Кононов, В.Ю. Селиванова // Научно-агрономический журнал. 2008. № 2 (83). С. 26–30.

6. Тертычная Т.И. Перспективы применения зерна сорго и продуктов его переработки для производства хлебобулочных изделий / Т.И. Тертычная, В.С. Агибалова, В.И. Манжесов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 289–191.

7. Анисимова Л.В. Стойкость при хранении ячменной муки, полученной разными способами / Л.В. Анисимова, А.А. Выборнов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2014. № 2–3. С. 41–44.

8. Козьмина Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Н.П. Козьмина. Москва : Колос, 1976. 375 с.

Информация об авторах

Л. В. Анисимова – к.т.н., доцент, доцент кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Е. С. Серебrenникова – аспирант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Е. О. Гергерт – магистрант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Д. Ю. Гузий – магистрант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Information about the authors

L.V. Anisimova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of THPZ of Polzunov Altai State Technical University.

E.S. Serebrennikova - post-graduate student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.

E.O. Gergert - Master's student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.

D.Yu. Guziy - Master's student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.