

Научная статья/Research Article
УДК 664.681

Нина Анатольевна Фролова¹, Ирина Юрьевна Резниченко²✉

¹Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

²Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

¹ninelfr@mail.ru

²irina.reznichenko@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *SORGHUM BICOLOR* В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ВЫСОКОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Цель исследования – изучить антиоксидантную активность печенья с добавлением муки из цельносмолотого зерна *Sorghum bicolor* для определения перспектив использования муки в технологии производства мучных кондитерских изделий. Объекты исследования – образцы сдобного печенья, приготовленные по традиционной рецептуре (контрольные) и с заменой пшеничной муки высшего сорта на муку из цельносмолотого зерна сорго (экспериментальные). Показатели качества образцов оценивали согласно общепринятым методам испытаний. Фенольные кислоты в образцах печенья анализировали с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии в комбинации с масс-спектрометром High Performance Liquid. Водные экстракты образцов печенья были получены следующим образом: 10 г экспериментальных и контрольных образцов экстрагировали в 150 мл дистиллированной деионизированной воды в течение 90 мин при постоянном перемешивании. Затем смесь центрифугировали при 8000 об/мин при 20 °С в течение 30 мин с последующим сбором прозрачного супернатанта. Далее полученный супернатант высушивали вымораживанием при температуре минус 15 °С. По органолептическим характеристикам образцы печенья с добавлением муки из цельносмолотого зерна сорго имели темно-коричневый равномерный по всей массе цвет, вкус и аромат – сладкий с ванильным оттенком, вид в изломе – хорошо пропеченный, с однородной пористой структурой, без полостей и следов недостаточного перемешивания, слегка шероховатую поверхность. Физико-химические показатели соответствовали нормам. В результате анализа хроматографических пиков идентифицированы фенольные кислоты, доказано присутствие в экспериментальном образце печенья фенольных кислот, относящихся к сильным антиоксидантам. Практическая значимость заключается в применении полученных данных при разработке мучных кондитерских изделий с мукой из цельносмолотого зерна сорго.

Ключевые слова: мука из сорго, зерно сорго, печенье, антиоксидантная активность, содержание фенольных кислот, кондитерские изделия

Для цитирования: Фролова Н.А., Резниченко И.Ю. Перспективы использования *Sorghum Bicolor* в технологии мучных кондитерских изделий с высокой антиоксидантной активностью // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 176–182.

Nina Anatolyevna Frolova¹, Irina Yurievna Reznichenko²✉

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

²Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

¹ninelfr@mail.ru

²irina.reznichenko@gmail.com

PROSPECTS FOR USING *SORGHUM BICOLOR* IN FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS TECHNOLOGY WITH HIGH ANTIOXIDANT ACTIVITY

The purpose of research is to study the antioxidant activity of cookies with the addition of *Sorghum bicolor* whole grain flour to determine the prospects for using flour in the production technology of flour confectionery products. The objects of the study are samples of butter cookies prepared according to the traditional recipe (control) and with the replacement of premium wheat flour with whole-grain sorghum flour (experimental). The quality indicators of the samples were assessed according to generally accepted test methods. Phenolic acids in the biscuit samples were analyzed using high performance liquid chromatography combined with a High Performance Liquid mass spectrometer. Aqueous extracts of cookie samples were obtained as follows: 10 g of experimental and control samples were extracted in 150 ml of distilled deionized water for 90 min with constant stirring. The mixture was then centrifuged at 8000 rpm at 20 °C for 30 min, followed by collection of the clear supernatant. Next, the resulting supernatant was freeze-dried at minus 15 °C. According to the organoleptic characteristics, the cookie samples with the addition of whole-grain sorghum flour had a dark brown color uniform throughout the mass, the taste and aroma were sweet with a hint of vanilla, the broken appearance was well-baked, with a uniform porous structure, without cavities and signs of insufficient mixing, slightly rough surface. Physico-chemical parameters met the standards. As a result of the analysis of chromatographic peaks, phenolic acids were identified and the presence of phenolic acids, which are strong antioxidants, was proven in the experimental cookie sample. The practical significance lies in the application of the obtained data in the development of flour confectionery products with whole-grain sorghum flour.

Keywords: sorghum flour, sorghum grain, cookies, antioxidant activity, phenolic acid content, confectionery products

For citation: Frolova N.A., Reznichenko I.Y. Prospects for using *Sorghum Bicolor* in flour confectionery products technology with high antioxidant activity // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 176–182. (In Russ.).

Введение. Зерновые злаки являются одним из основных источников фенольных антиоксидантов, причем количественное и качественное соотношение некоторых фенолов существенно отличается [1–3]. Пшеничная мука, используемая в технологиях мучных кондитерских изделий, традиционно считается классическим рецептурным компонентом, который отвечает за органолептические, физико-химические и реологические свойства готового продукта [4].

Сорго зерновое (*Sorghum bicolor*) – род однолетних и многолетних травянистых растений семейства Злаки, произрастающих на территории Северного Кавказа и Поволжья [5, 6]. *Sorghum bicolor* относится к абсолютно неприхотливой и легко приспосабливаемой к почвенным и климатическим условиям культурам. *Sorghum bicolor* характеризуется как выгодная для выращивания культура, так как не требует особых затрат на удобрения и пестициды, отличается высокой урожайностью, в т. ч. в условиях засухи [7, 8].

Химический состав *Sorghum bicolor* является объектом внимания ввиду повышенной антиоксидантной активности. В настоящее время муку *Sorghum bicolor* используют для производства лепешек и каш (ферментированных и нефер-

ментированных). *Sorghum bicolor* не содержит глютена, поэтому его могут употреблять люди с аллергической реакцией на данный компонент.

Мучные кондитерские изделия ввиду высокой калорийности являются объектом пристального внимания для поиска актуальных направлений повышения пищевой ценности. Установлено, что для добавленной пищевой, в т. ч. биологической ценности мучным кондитерским изделиям возможна частичная замена пшеничной муки другими растительными компонентами, в т. ч. мукой сорго. Определены оптимальные соотношения муки сорго в рецептуре хлеба, печенья. Исследованы показатели качества изделий, их пищевая ценность [9–11]. При получении муки из зерна пшеницы происходит удаление наружного слоя зерна и снижается количество антиоксидантных соединений (фенолов). Поэтому кондитерские изделия, полученные из цельного зерна муки пшеницы, обладают более высокой пищевой ценностью и могут выступать хорошим источником антиоксидантных соединений, однако производство цельнозерновой муки и ее применение в технологии мучных изделий ограничено и в настоящее время одним из перспективных направлений исследований

является поиск сырьевых ингредиентов с высокой антиоксидантной активностью [12]. Для обоснования применения в технологии мучных кондитерских изделий муки цельносмолотого зерна сорго и придания им антиоксидантной направленности определена цель исследования.

Цель исследования – изучить антиоксидантную активность печенья с добавлением измельченного зерна *Sorghum bicolor*.

Объекты и методы. Объектами исследования служили образцы сдобного печенья, приготовленные по традиционной рецептуре (контрольные) и с заменой пшеничной муки высшего сорта на муку из цельносмолотого зерна сорго (экспериментальные). Количество муки в экспериментальных образцах установлено в соответствии с результатами исследований показателей качества готовых изделий по требованиям ГОСТ 24901-2014. Увеличение дозировки муки из измельченного зерна сорго выше установленной приводит к снижению показателя намокаемости изделий (менее 150 %) (табл. 1). Зерна сорго соответствовали требованиям ГОСТ ISO 5526-2015, ГОСТ 8759-92.

Органолептические и физико-химические характеристики печенья определяли согласно ГОСТ 24901-2014. Фенольные кислоты в образцах печенья анализировали с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии в комбинации с масс-спектрометром High Performance Liquid.

Водные экстракты образцов печенья были получены следующим образом: 10 г экспериментальных и контрольных образцов экстрагировали в 150 мл дистиллированной деионизированной воды в течение 90 мин при постоянном перемешивании. Затем смесь центрифугировали при 8000 об/мин при 20 °С в течение 30 мин с последующим сбором прозрачного супернатанта. Далее полученный супернатант высушивали вымораживанием при температуре минус 15 °С.

Результаты и их обсуждение. В злаковых культурах фенольные соединения (*n*-гидроксибензойная, кофейная, *n*-кумаровая, феруловая кислоты и др.) связаны с белками и компонентами клеточных стенок, таких как гемицеллюлозы и лигнин. Биохимические процессы взаимодействия фенольных соединений в пищеварительном тракте определяются степенью и скоростью всасывания фенолов в кишечнике с предварительной гидролизацией пищеварительными ферментами перед всасыванием.

Экспериментальные образцы печенья из смеси муки первого сорта и муки зерна *Sorghum bicolor* были получены по классической технологии. Рецепт экспериментального образца печенья представлена в таблице 1.

Контрольные образцы печенья были получены по аналогичной технологии и рецептурному составу [13]. Вместо зерна *Sorghum bicolor* использовали муку высшего сорта.

Изображения образцов печенья показаны на рисунке 1.

Таблица 1

Рецептура экспериментального образца печенья

Сырьевой компонент	Массовая доля сухого вещества, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг	
		в натуре	в сухих веществах
Измельченное зерно <i>Sorghum bicolor</i>	86,00	338,81	291,37
Пшеничная мука первого сорта	85,50	233,01	199,22
Сахарный песок	99,85	295,71	295,26
Маргарин 82 %	82,00	199,16	163,31
Мальтозный сироп	78,00	34,15	26,64
Соль	96,50	4,54	4,38
Пищевая сода	50,00	3,98	1,99
Ванилин	100,00	0,68	0,68
Вода	–	102,45	–
Выход	–	1212,49	982,85
Итого	94,00	1000,00	940,00



Рис. 1 Внешний вид образцов печенья: А – контрольный; Б – экспериментальный

По органолептическим характеристикам следует отметить, что экспериментальные образцы печенья не уступали по качеству контролю. Образцы имели темно-коричневый, равномерный по всей массе цвет. Вкус и аромат – сладкий с ванильным оттенком. Вид в изломе у изделий хорошо пропеченный, с однородной пористой структурой, без полостей или следов недостаточного перемешивания, поверхность слегка шероховатая. Физико-химические показатели также соответствовали нормам и составляли: массовая доля влаги – $12,2 \pm 0,2$ %; щелочность – $1,2 \pm 0,1$ град.; массовая доля жира – $22,3 \pm 0,2$ %, намокаемость – $163 \pm 1,5$ %.

Следующим этапом работы явилось исследование содержания фенольных кислот в контрольном и экспериментальном образцах печенья. Установлено, что содержание *n*-гидроксibenзойной, кофейной, *n*-кумаровой и феруловой кислот в экспериментальных образцах (с добавлением *Sorghum bicolor*) почти в два раза выше, чем в контрольном. Так, содержание *n*-гидроксibenзойной кофейной, *n*-кумаровой и феруловой кислоты для контрольного образца печенья соответственно составило: 86,61 мг/100 г; 68,74; 84,73 и 100,25 мг/100 г.

На рисунке 2 представлены масс-спектры фенольных кислот в экспериментальных образцах печенья (с добавлением *Sorghum bicolor*).

На рисунке 2 присутствуют пики:

- (А) с соотношением $m/z = 137,0493$ и изотопным распределением, характерным для иона *n*-гидроксibenзойной кислоты [$C_7H_5O_3$];

- (В) с соотношением $m/z = 179,0618$ и изотопным распределением, характерным для иона кофейной кислоты [$C_9H_7O_4$]. Самый интенсивный пик с соотношением $m/z = 135,0736$ соответствует другому иону кофейной кислоты [$C_8H_7O_2$];

- (С) с соотношением $m/z = 163,0555$ и изотопным распределением, характерным для иона *n*-кумаровой кислоты [$C_9H_7O_3$]. Самый интенсивный пик с соотношением $m/z = 119,0784$ соответствует другому иону кислоты [C_8H_7O];

- (D) с соотношением $m/z = 193,0727$ и изотопным распределением, характерным для иона феруловой кислоты [$C_{10}H_9O_4$].

Таким образом, доказано присутствие в экспериментальном образце печенья фенольных кислот, относящихся к сильным антиоксидантам.

Установлено, что феруловая кислота была доминирующей фенольной кислотой в экспериментальных образцах печенья и составила 155,5 мг/100 г. Содержание *n*-гидроксibenзойной кислоты – 114,5 мг/100 г; кофейной кислоты – 143,0; *n*-кумаровой – 156,0 мг/100 г.

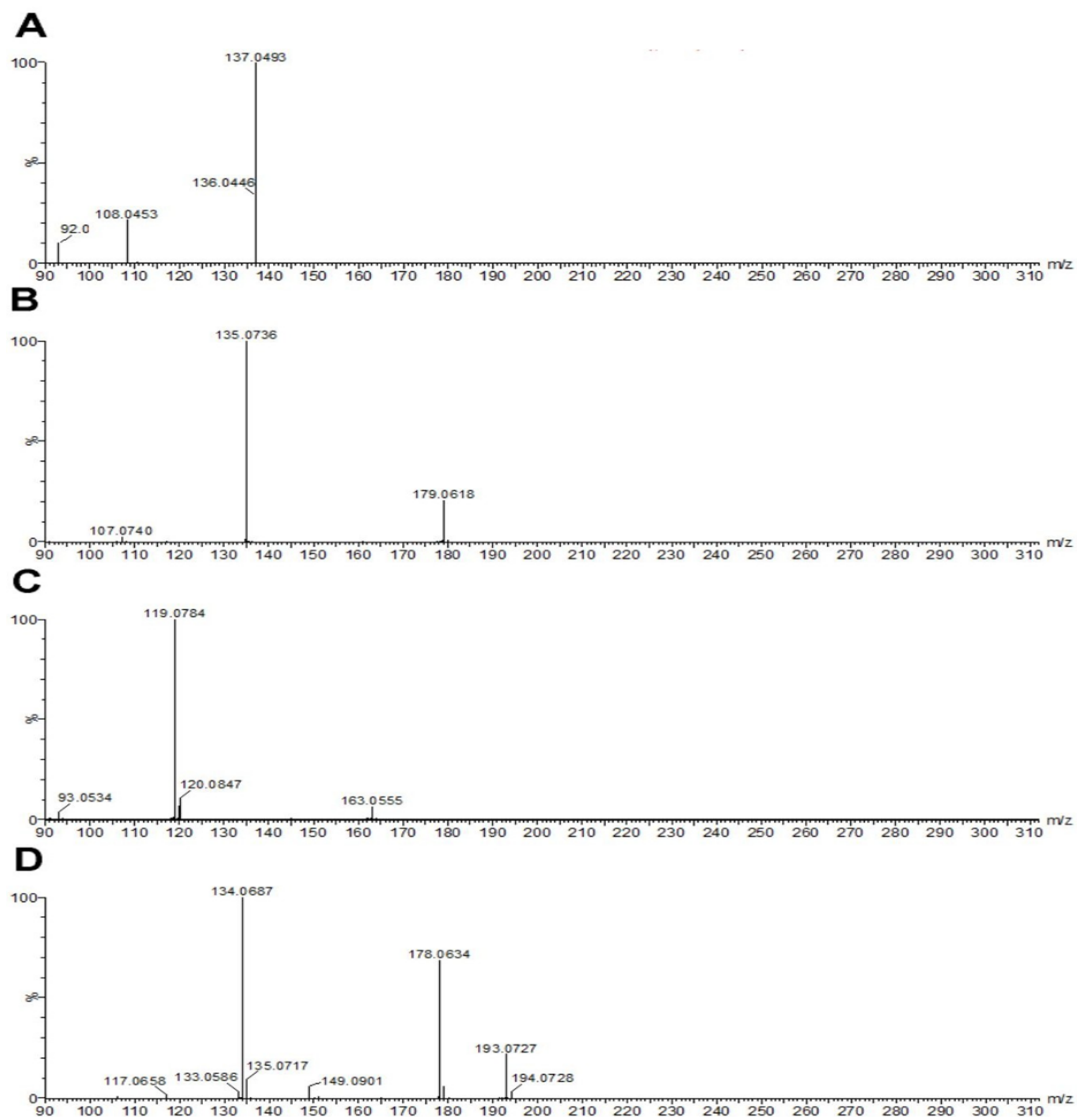


Рис. 2. Хроматографические пики идентифицированных фенольных кислот в экспериментальных образцах печени: А – *p*-гидроксibenзойная кислота; В – кофейная кислота; С – *p*-кумаровая кислота; D – феруловая кислота

Заключение. Таким образом, введение в рецептуру мучных кондитерских изделий муки из цельносмолотого зерна *Sorghum bicolor* способствует повышению антиоксидантной активности готовых изделий почти в два раза. Фенольные кислоты, идентифицированные в экспериментальных образцах печени, могут оказывать определенное физиологическое действие при систематическом употреблении. Практическая реализация полученных результатов планируется при проведении дальнейших исследований по применению муки из цельносмолотого зерна сорго в рецептурах мучных кондитерских изделиях с антиоксидантной активностью.

Список источников

1. Подобед Л.И. Чем полезно зерно сорго для современного животноводства и птицеводства // *Аграрная наука*. 2021. № 7-8. С. 66–67.
2. Сидоров Ю.Н., Докина Н.Н. Возделывание культуры сорго на зерно в Оренбургской области // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2010. № 1(25). С. 11–14.
3. Никонорова Ю.Ю., Волкова А.В., Мохова В.И. Влияние сорговой муки на свойства композитных смесей с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта // *Universum: технические науки*. 2020. № 5-2(74). С. 32–36.

4. Физико-химические свойства зернового сорго и смесей на его основе / Т.Б. Кулева-това [и др.] // Хлебопродукты. 2018. № 2. С. 48–51.
5. Ovsienko S.M. The effect of biological preservative on the production and digestibility of the nutrients in the diet of ruminant by preservation of wet sorghum grain // International Independent Scientific Journal. 2020. No. 13-2(13). P. 7–15.
6. Яцына А.А., Ковтунов В.В. Активность полифенолоксидазы в зерне сорго (*SORGHUM BICOLOR L.*) // Зерновое хозяйство России. 2015. № 6. С. 26–31.
7. Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А., Лушпина О.А. Питательная ценность зерна сорго // Зерновое хозяйство России. 2017. № 3(51). С. 51–54.
8. Ключкин Н. Ю., Гутников В.А. Эффективность использования агресурсов в России и в мире // Государственное управление. Электронный вестник. 2019. № 75. С. 268–282.
9. Агibalова В.С., Мажулина И.В., Тертычная Т.Н. Использование перспективных добавок растительного происхождения для повышения пищевой ценности хлеба // Хлебопродукты. 2016. № 10. С. 54–55.
10. Изучение возможности применения муки из сорго в технологии мучных кондитерских изделия / О.Е. Темникова [и др.] // Хлебопродукты. 2017. № 8. С. 34–35.
11. Никонорова Ю.Ю., Волкова А.В., Макушин А.Н. Исследование реологических свойств теста и хлеба из смеси муки пшеничной высшего сорта и сорговой муки // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4 (169). С. 155–160. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-155-160.
12. Научно-практические основы биотехнологической переработки сырьевых ресурсов Амурской области для разработки технологий продуктов специализированного назначения / Н.А. Фролова [и др.]. Благовещенск, 2022. 140 с.
13. Сборник рецептов на торты, пирожные, кексы, рулеты, печенье, пряники, коврижки и сдобные булочные изделия / под ред. А.П. Антонова. М., 2005. Ч. 3. 720 с.

References

1. *Podobed L.I.* Chem polezno zerno sorgo dlya sovremennogo zhivotnovodstva i pticevodstva // Agramaya nauka. 2021. № 7-8. S. 66–67.
2. *Sidorov Yu.N., Dokina N.N.* Vozdelyvanie kultury sorgo na zerno v Orenburgskoj oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. № 1(25). S. 11–14.
3. *Nikonorova Yu.Yu., Volkova A.V., Mohova V.I.* Vliyaniye sorgovoj muki na svojstva kompozitnyh smesej s mukoj pshenichnoj hlebopekarnoj vysshego sorta // Universum: tehicheskie nauki. 2020. № 5-2(74). S. 32–36.
4. Fiziko-himicheskie svojstva zernovogo sorgo i smesej na ego osnove / Т.Б. Kulevatova [i dr.] // Hleboprodukty. 2018. № 2. S. 48–51.
5. Ovsienko S.M. The effect of biological preservative on the production and digestibility of the nutrients in the diet of ruminant by preservation of wet sorghum grain // International Independent Scientific Journal. 2020. No. 13-2(13). P. 7–15.
6. Yacyna A.A., Kovtunov V.V. Aktivnost' polifenoloksidazy v zerne sorgo (*SORGHUM BICOLOR L.*) // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2015. № 6. S. 26–31.
7. Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Lushpina O.A. Pitatel'naya cennost' zerna sorgo // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2017. № 3(51). S. 51–54.
8. Klyukin N. Yu., Gutnikov V.A. `Effektivnost' ispol'zovaniya agrosursov v Rossii i v mire // Gosudarstvennoe upravlenie. `Elektronnyj vestnik. 2019. № 75. S. 268–282.
9. Agibalova V.S., Mazhulina I.V., Tertychnaya T.N. Ispol'zovanie perspektivnyh dobavok rastitel'nogo proishozhdeniya dlya povysheniya pischevoj cennosti hleba // Hleboprodukty. 2016. № 10. S. 54–55.
10. Izuchenie vozmozhnostii primeneniya muki iz sorgo v tehnologii muchnyh konditerskih izdeliya / O.E. Temnikova [i dr.] // Hleboprodukty. 2017. № 8. S. 34–35.
11. *Nikonorova Yu.Yu., Volkova A.V., Makushin A.N.* Issledovanie reologicheskikh svojstv testa i hleba iz smesi muki pshenichnoj vysshego sorta i sorgovoj muki // Vestnik KrasGAU. 2021. № 4 (169). S. 155–160. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-155-160.

12. Nauchno-prakticheskie osnovy biotekhnologicheskoy pererabotki syr'evyh resursov Amurskoj oblasti dlya razrabotki tehnologij produktov specializirovannogo naznacheniya / *N.A. Frolova* [i dr.]. Blagoveschensk, 2022. 140 s.
13. Сbornik receptur na torty, pirozhnye, keksy, rulety, pechen'e, pryanyki, kovrizhki i sдобnye bulochnye izdeliya / pod red. *A.P. Antonova*. M., 2005. Ch. 3. 720 s.

Статья принята к публикации 16.11.2023 / The article accepted for publication 16.11.2023.

Информация об авторах:

Нина Анатольевна Фролова¹, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования, доктор технических наук, доцент

Ирина Юрьевна Резниченко², профессор кафедры биотехнологий и производства продуктов питания, доктор технических наук, профессор

Information about the authors:

Nina Anatolyevna Frolova¹, Professor at the Department of Engineering of Process Equipment, Doctor of Technical Sciences, Docent

Irina Yurievna Reznichenko², Professor at the Department of Biotechnology and Food Production, Doctor of Technical Sciences, Professor

