

Алена Владимировна Сумина

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, доцент кафедры химии и геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Россия, Абакан

E-mail: alenasumina@list.ru

Вадим Игоревич Полонский

Красноярский государственный аграрный университет, профессор кафедры ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии, доктор биологических наук, профессор, Россия, Красноярск

E-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Татьяна Михайловна Шалдаева

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, младший научный сотрудник лаборатории фитохимии, кандидат биологических наук, Россия, Новосибирск

E-mail: tshaldaeva@yandex.ru

ЗАВИСИМОСТЬ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ТАЛГАНЕ ОТ ЭТАПОВ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВИДА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ

Цель исследования – анализ суммарного содержания антиоксидантов (ССА) в национальном хакасском продукте талган на разных этапах его производства из зерна ячменя и пшеницы. Зерно выращивали на территории Бейского района Республики Хакасия, которая характеризуется благоприятными климатическими условиями. Для определения ССА в зерне использовали 2 растворителя – горячую бидистиллированную воду и 70%-й этанол. Измерение ССА выполняли на приборе «Цвет Яуза-01-АА». Среди всех образцов ячменя и пшеницы были зарегистрированы более высокие показатели при использовании в качестве элюента горячей бидистиллированной воды. Найдено, что величина ССА в зерне ячменя и продуктах его переработки была выше по сравнению с пшеницей. Установлен эффект превышения уровней ССА в промежуточном ячменном или пшеничном продукте после этапа обжарки зерна по сравнению с исходным сырьем. Зарегистрированная прибавка в величине ССА в талгане происходит либо в основном за счет частей зерна, лишенных отрубей (в случае с ячменем), либо за счет всего зерна (в случае с пшеницей). Уровень ССА в ячменных отрубях по сравнению с исходным зерном не изменялся, а в пшеничных отрубях увеличивался. При этом было найдено более высокое значение ССА в отрубях в сравнении с готовым продуктом (талганом) при их экстракции горячей бидистиллированной водой, разница с последним выразилась величиной 13,6 %.

Ключевые слова: зерно, ячмень, пшеница, талган, технологические этапы, температура, измельчение, содержание антиоксидантов.

Alyona V. Sumina

N. F. Katanov Khakass State University, associate professor of the chair of chemistry and geoecology, candidate of agricultural sciences, associate professor, Russia, Abakan

E-mail: alenasumina@list.ru

Vadim I. Polonsky

Krasnoyarsk State Agrarian University, professor of the chair of landscape architecture, botany, agroecology, doctor of biological sciences, professor, Russia, Krasnoyarsk

E-mail: vadim .polonskiy@mail.ru

Tatyana M. Shaldaeva

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, junior staff scientist of the laboratory of phytochemistry, candidate of biological sciences, Russia, Novosibirsk

E-mail: tshaldaeva@yandex.ru

THE DEPENDENCE OF THE TOTAL CONTENT OF ANTIOXIDANTS IN TALGAN ON THE STAGES OF ITS MANUFACTURE AND THE TYPE OF RAW MATERIAL

The aim of the study was to analyze the total content of antioxidants (CSA) in the national Khakass product talgan at different stages of its production from barley and wheat grains. The grain was grown on the territory of the Bey district of the Republic of Khakassia characterized by favorable climatic conditions, from the point of view of growing grain with a high content of antioxidants. To determine the CSA in the grain, 2 solvents were used – hot bidistilled water and 70 % ethanol. SSA measurement was performed with the help of the device "Color Yauza-01-AA". Among all the samples of barley and wheat, higher rates were recorded when using hot bidistilled water as eluent. It was found that the value of CSA in barley grain and its processed products had been higher compared to wheat. The effect of exceeding the CSA levels in intermediate barley or wheat product after the stage of roasting grain in comparison with the initial raw material was established. The registered increase in the value of the SSA in talgan was either mainly due to the parts of the grain that were devoid of bran (in the case of barley), or due to the entire grain (in the case of wheat). The level of CSA in barley bran compared to the original grain did not change, and in wheat bran increased. At the same time, a higher CSA value was found in bran in comparison with the finished product (talgan) when they were extracted with hot bidistilled water, the difference with the latter was expressed by 13.6 %.

Keywords: grain, barley, wheat, talgan, technological stages, temperature, grinding, content of antioxidants.

Введение. Одним из основных принципов государственной политики Российской Федерации является содействие формированию здорового образа жизни и здорового питания населения страны. В этой связи актуальным представляется создание и расширение ассортимента производства пищевых продуктов на основе зерна, обогащенных функциональными компонентами [1]. В последнее время регистрируется устойчивое увеличение интереса населения к национальным зерновым продуктам, таким как тары, талган и другим. Национальный крупяной продукт талган (талкан) вырабатывается из зерна различных культур, прошедших термическую обработку и измельчение, является источником витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, повышает качество питания и улучшает состояние здоровья.

В связи с этим производителю важно владеть информацией о функциональности исходного сырья и готового продукта. Кроме того, целесообразно иметь представление о зависимости данного показателя от различных технологических процессов, таких, например, как термическая обработка.

В научной литературе представлен ряд исследований, посвященных изучению зависимости антиоксидантной активности различных видов зернового сырья от температуры и продолжительности его обжарки. Так, на примере зерна пшеницы, ржи, овса и кукурузы показано, что

антиоксидантная способность образцов значительно возрастала с увеличением длительности нагрева. Для указанных зерновых культур наибольшие концентрации связанной феруловой кислоты были обнаружены в высокомолекулярных фракциях, выдерживаемых при температуре 200 °С в течение 5 минут [2].

Аналогичные результаты были получены при изучении влияния обжарки на функциональные и антиоксидантные свойства муки из семян чиа (*Salvia hispanica*). Установлено, что увеличение температуры до 180 °С в течение 15–25-минутной тепловой обработки сопровождалось существенным возрастанием антиоксидантной активности образцов зерна [3].

Вместе с тем в научной литературе показано отрицательное влияние термической обработки на содержание каротиноидов и фенолов в зерновых образцах, а также их антиоксидантную способность. Так, общий уровень фенолов в сыром образце кукурузной муки (1664,7 мг/кг) был в два раза выше, чем в обжаренном (827,9 мг/кг). Аналогичная тенденция была зарегистрирована и для каротиноидов – 53,4 и 24,6 мг/кг соответственно [4].

При изучении влияния сухой тепловой обработки зерновых образцов сорго на их антиоксидантную активность было найдено, что данный технологический прием сопровождается увеличением антиоксидантной активности и содержания витамина Е, при этом количество 3-дезоксидантной

антоцианидинов и общих фенольных соединений оставалось практически неизменным, а концентрация каротиноидов уменьшалась. При использовании влажной тепловой обработки наблюдалось снижение уровня всех антиоксидантных соединений, кроме каротиноидов, количество которых увеличилось. Авторы установили, что зерно, размолотое перед тепловой обработкой, сохраняло большее количество витамина Е и меньше каротиноидов, чем зерно, размолотое после такой обработки [5–8].

В работе других исследователей продемонстрированы результаты сравнительного анализа зерновых образцов двух видов гречихи: обыкновенной и татарской, обжаренных при 200 °С в течение 50 секунд. Результаты показали, что процесс обжарки приводил к заметному снижению общего содержания флавоноидов в муке [9].

При проведении исследований влияния термической обработки в автоклаве на содержание фенолов, антиоксидантную активность и функциональные свойства проростков пшеницы, гречихи, кукурузы и овса было установлено, что данный процесс способствовал повышению общего содержания фенолов и антиоксидантной активности [1]. Также высказывается предположение, что изменения в биохимических и функциональных характеристиках зерна, вызванные термической обработкой, обусловлены изменениями общего содержания и профиля фенола вследствие его окисления или полимеризации [10].

В литературе приводятся сведения в основном о положительном влиянии термической обработки зернового сырья на его антиоксидантную активность. Следует подчеркнуть, что она представлена практически лишь зарубежными

источниками, отечественных работ в данной области крайне мало.

Цель исследования. Поэтапный анализ суммарного содержания антиоксидантов в растительном сырье (ячмень и пшеница), используемом при изготовлении зернового продукта талган по традиционной технологии.

Объект и методы исследования. Объектом исследования служили образцы ячменного и пшеничного зерна, отобранные на различных технологических этапах производства национального продукта талган (талкан). Зерно ячменя и пшеницы было выращено в 2019 году на территории Бейского района Республики Хакасия. Отбор проб для анализа суммарного содержания антиоксидантов (ССА) производили на предприятии «Цех по производству полуфабриката из обжаренного зерна “Талгана”» (ИП Боргоякова Н.Г., с. Аскиз, Республика Хакасия).

Процесс изготовления зернового продукта на данном предприятии состоит из нескольких последовательных этапов (рис. 1). Первый – подготовительный – заключается в очистке от посторонних примесей исходного ячменного и пшеничного сырья. Далее происходит обжаривание зерна с использованием «проточной» технологии при температуре 240–250 °С в течение 5 минут. Следующий этап заключается в измельчении обжаренного зерна и дальнейшем его просеивании через сита с $d \approx 0,9$ мм. В результате последней технологической операции получается зерновой продукт талган и отходы в виде отрубей. В данной работе проводили сравнительное изучение образцов талгана, изготовленного из двух видов сырья: зерна ячменя и пшеницы.

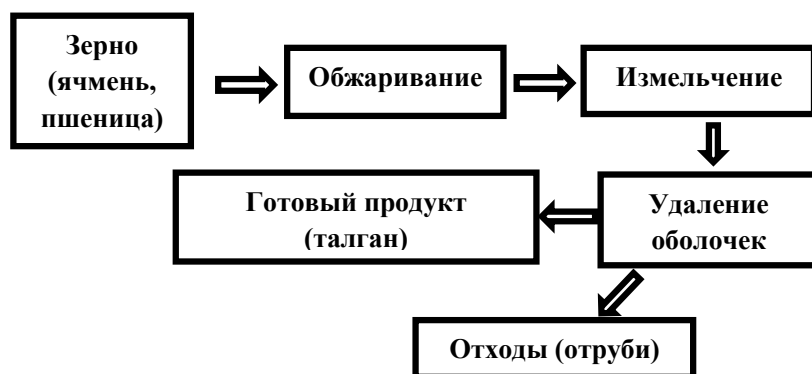


Рис. 1. Схема основных технологических этапов производства ячменного и пшеничного талгана, осуществляемых на предприятии «Цех по производству полуфабриката из обжаренного зерна “Талган”»

Определение величины ССА в пробах зернового продукта на основе ячменя и пшеницы проводили с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА» с использованием двух элюентов: горячей бидистиллированной воды и 70%-го этилового спирта. Подробнее методика анализа уровня ССА описана нами ранее [11]. Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью программы Microsoft Excel 2003.

Результаты и их обсуждение. Результаты, полученные при измерении величины ССА зер-

нового сырья, взятого на различных этапах производства ячменного и пшеничного талгана, представлены в таблице. Можно видеть, что исходное ячменное сырье характеризовалось существенно более высокими значениями ССА по сравнению с пшеничным зерном. Указанная зависимость была зарегистрирована практически для всех технологических этапов производства талгана.

Суммарное содержание антиоксидантов в зерне ячменя и пшеницы, используемом в технологическом цикле производства талгана

Элюент	ССА в зерновом сырье, мг/100 г сухого вещества	
	Ячмень	Пшеница
Зерно до обработки		
Вода бидистиллированная	71,4±2,6 а *	60,2±1,9а *
70 % спирт	70,2±1,9а *	55,5±1,4 а *
Зерно после термической обработки		
Вода бидистиллированная	78,6±2,3 а *	66,0±1,7 а *
70 % спирт	77,2±3,6 а *	61,8±2,2 а *
Зерно после обжарки, измельчения и просеивания (талган)		
Вода бидистиллированная	80,0±4,1а	66,8±3,2а
70 % спирт	78,1±3,2а *	62,7±2,8а *
Отруби (отходы при производстве талгана)		
Вода бидистиллированная	73,2±1,9 а	68,4±3,1 а
70 % спирт	70,0±2,4 а*	59, 2±2,6 а*

Примечание: в таблице представлена средняя арифметическая величина и ошибка средней; для каждого элюента значения в строках с одинаковыми буквами существенно не различаются между собой в пределах каждой колонки по t-критерию при $p \leq 0,05$; *значения в колонках для каждого вида различаются существенно между собой в пределах каждой строки по t-критерию при $p \leq 0,05$.



Рис. 2. Изменение суммарного содержания антиоксидантов в зерне ячменя на различных этапах технологического цикла производства талгана

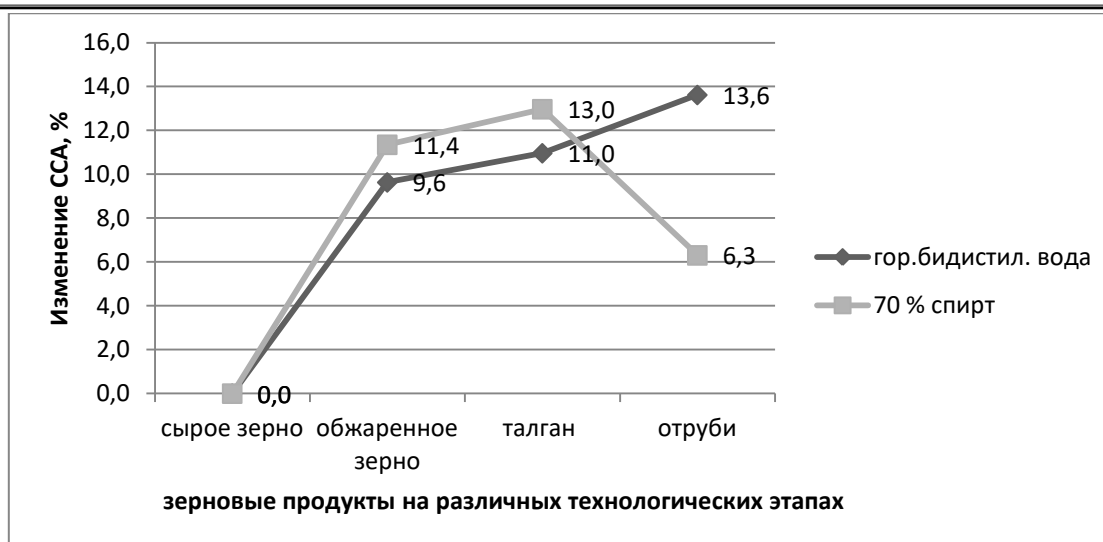


Рис. 3. Изменение суммарного содержания антиоксидантов в зерне пшеницы на различных этапах технологического цикла производства талгана

Как видно из данных таблицы, рисунков 2 и 3, независимо от используемого элюента установлен заметный эффект (на 10–11,4 %) возрастания уровня ССА в зерне ячменя и пшеницы после этапа его термической обработки, который, к сожалению, статистически доказать не удалось. После выполнения этапа измельчения и разделения зерна прослеживается тенденция дальнейшего незначительного роста величины ССА в конечном ячменном или пшеничном продукте (талгане) по сравнению с его значением после этапа обжарки.

Необходимо отметить, что уровень ССА в ячменных отрубях по сравнению с исходным зерном при использовании в качестве элюента как горячей бидистиллированной воды, так и этилового спирта почти не изменился. Результаты определения значения ССА в пшеничных отрубях продемонстрировали их более высокий уровень (на 6,3–13,6 %) по сравнению с таковым в исходном сырье.

В итоге выполненного исследования было зарегистрировано повышение величины ССА в ячменном и пшеничном талгане относительно исходного сырья на 11,6–12 %. Можно предположить, что данный эффект обусловлен повышением выхода веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в процессе действия элюента и имеет место в основном после термической обработки зернового сырья.

Выводы

1. Найдено, что величины ССА в ячменном исходном зерне, промежуточном продукте и талгане превышали на 22 % таковые, характерные для пшеницы. Для отрубей указанная разница между двумя видами зерновых культур была равна около 12 %.

2. Для ячменя и пшеницы показано положительное влияние технологического этапа обжарки зерна на уровень ССА в промежуточном продукте, который возрос в среднем на 10,5 %.

3. Установлено повышение величины ССА в ячменном и пшеничном талгане относительно исходного сырья на 11,6–12 % предположительно за счет повышения выхода веществ с антиоксидантной активностью при действии элюентов вследствие прохождения технологических этапов изготовления зернового продукта.

Литература

1. Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. Вып. 3. С. 343–352.
2. Çelik E.E., Gökmen V. Effects of fermentation and heat treatments on bound-ferulic acid content and total antioxidant capacity of bread crust-like systems made of different whole grain flours // Journal of Cereal Science. 2020. V. 93. P. 102978.

3. *Hatamian M.* et al. Effect of roasting treatment on functional and antioxidant properties of chia seed flours // *NFS Journal*. 2020. V. 21. P. 1–8.
4. *Beta T., Hwang T.* Influence of heat and moisture treatment on carotenoids, phenolic content, and antioxidant capacity of orange maize flour // *Food chemistry*. 2018. V. 246. P. 58–64.
5. *de Moraes Cardoso L.* et al. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum // *Food chemistry*. 2014. V. 152. P. 210–217.
6. *Ironi E.A.* et al. Enzymes inhibitory property, antioxidant activity and phenolics profile of raw and roasted red sorghum grains in vitro // *Food Science and Human Wellness*. 2019. V. 8. № 2. P. 142–148.
7. *Jogihalli P.* et al. Novel continuous roasting of chickpea (*Cicer arietinum*): Study on physico-functional, antioxidant and roasting characteristics // *LWT*. 2017. V. 86. P. 456–464.
8. *Xiong Y.* et al. Effect of processing on the phenolic contents, antioxidant activity and volatile compounds of sorghum grain tea // *Journal of Cereal Science*. 2019. V. 85. P. 6–14.
9. *Ma Q.* et al. Comparative study on the effects of buckwheat by roasting: Antioxidant properties, nutrients, pasting, and thermal properties // *Journal of Cereal Science*. 2020. V. 95. P. 103041.
10. *Randhir R., Kwon Y.I., Shetty K.* Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2008. V. 9. № 3. P. 355–364.
11. *Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М.* [и др.]. Овсяный талган как источник антиоксидантов в функциональных продуктах питания // *Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Агрономия и животноводство*. 2020. Т. 15. № 1. С. 19–29.
2. *Çelik E.E., Gökmen V.* Effects of fermentation and heat treatments on bound-ferulic acid content and total antioxidant capacity of bread crust-like systems made of different whole grain flours // *Journal of Cereal Science*. 2020. V. 93. P. 102978.
3. *Hatamian M.* et al. Effect of roasting treatment on functional and antioxidant properties of chia seed flours // *NFS Journal*. 2020. V. 21. P. 1–8.
4. *Beta T., Hwang T.* Influence of heat and moisture treatment on carotenoids, phenolic content, and antioxidant capacity of orange maize flour // *Food chemistry*. 2018. V. 246. P. 58–64.
5. *de Moraes Cardoso L.* et al. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum // *Food chemistry*. 2014. V. 152. P. 210–217.
6. *Ironi E.A.* et al. Enzymes inhibitory property, antioxidant activity and phenolics profile of raw and roasted red sorghum grains in vitro // *Food Science and Human Wellness*. 2019. V. 8. № 2. P. 142–148.
7. *Jogihalli P.* et al. Novel continuous roasting of chickpea (*Cicer arietinum*): Study on physico-functional, antioxidant and roasting characteristics // *LWT*. 2017. V. 86. P. 456–464.
8. *Xiong Y.* et al. Effect of processing on the phenolic contents, antioxidant activity and volatile compounds of sorghum grain tea // *Journal of Cereal Science*. 2019. V. 85. P. 6–14.
9. *Ma Q.* et al. Comparative study on the effects of buckwheat by roasting: Antioxidant properties, nutrients, pasting, and thermal properties // *Journal of Cereal Science*. 2020. V. 95. P. 103041.
10. *Randhir R., Kwon Y.I., Shetty K.* Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2008. V. 9. № 3. P. 355–364.
11. *Sumina A.V., Polonskij V.I., Shaldaeva T.M.* [и др.]. Ovsjanyj talgan kak istochnik antioksidantov v funkcional'nyh produktah pitaniya // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Ser.: Agronomija i zhivotnovodstvo*. 2020. Т. 15. № 1. С. 19–29.

Literatura

1. *Polonskij V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V.* Selekcija na sodержanie antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlja poluchenija produktov zdravogo pitaniya // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Ser.: Agronomija i zhivotnovodstvo*. 2020. Т. 15. № 1. С. 19–29.