

Влияние свойств сырья и параметров процесса на антиоксидантную активность экструдированной чечевицы

Фролов Д.И., Кудря А.Н.

Аннотация. В статье определено влияние свойств сырья и параметров экструзии на антиоксидантные свойства продуктов из чечевицы. Методом катодной вольтамперометрии определена антиоксидантная активность экструдатов чечевицы по сравнению с эталонным образцом (без экструзии). Кинетический критерий (К) этих образцов существенно превышает показатель в сравнении с не экструдированным образцом. Анализ данных по антиоксидантной активности исследованных образцов и условий экструзии, при которых эти образцы были получены, показал, что сочетанное влияние низкой влажности чечевичной крупы ($W = 18$ г/кг) и средней степени сжатия (3 : 1) или высокое содержание влаги в чечевичной крупе ($W = 25$ г/кг) и низкой степени сжатия (1 : 1), явились условиями получения образцов с наибольшей антиоксидантной активностью.

Ключевые слова: чечевица, экструдат, антиоксидант, вольтамперограмма, кинетический критерий, сырье.

Для цитирования: Фролов Д.И., Кудря А.Н. Влияние свойств сырья и параметров процесса на антиоксидантную активность экструдированной чечевицы // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 3. С. 36–41.

Influence of raw material properties and process parameters on the antioxidant activity of extruded lentils

Frolov D.I., Kudrya A.N.

Abstract. The article determines the influence of the properties of raw materials and extrusion parameters on the antioxidant properties of lentil products. The antioxidant activity of lentil extrudates was determined by cathodic voltammetry in comparison with the reference sample (without extrusion). The kinetic criterion (K) of these samples is significantly higher than that of the non-extruded sample. An analysis of the data on the antioxidant activity of the studied samples and the extrusion conditions under which these samples were obtained showed that the combined effect of low moisture content of lentil groats ($W = 18$ g/kg) and medium compression ratio (3 : 1) or high moisture content in lentil cereals ($W = 25$ g/kg) and a low compression ratio (1 : 1) were the conditions for obtaining samples with the highest antioxidant activity.

Keywords: lentil, extrudate, antioxidant, voltammogram, kinetic criterion, raw material.

For citation: Frolov D.I., Kudrya A.N. Influence of raw material properties and process parameters on the antioxidant activity of extruded lentils. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 3. pp. 36–41. (In Russ.).

Введение

Чечевица представляет собой растение семейства бобовых. Питательные и вкусовые качества делают чечевицу превосходящим все другие бобовые растения. Чечевица богата белками (20-30%), углеводами (50-58%) и пищевыми волокнами (в среднем 19,2%). Содержание жира находится в пределах от 1,0 до 1,5%. Зольность колеблется от 2,3 до 3,5% [5].

Липиды бобовых богаты альфа-линоленовой кислотой. Чечевица также является хорошим источ-

ником витаминов А, Е, С и витаминов группы В: В1, В2, РР, В6 [6].

Природные антиоксиданты: фенолы, полифенолы, витамины и минеральные вещества, такие как цинк и селен, содержащиеся в бобовых, положительно влияют на здоровье человека. Антиоксиданты обладают разными механизмами действия: удаляют свободные радикалы, образуют с ионами металлов хелаты, катализирующие реакции окисления и ингибируют активность окислительных ферментов. Потребление бобовых помогает предотвратить остеопороз, некоторые виды рака и уменьшает

накопление липидов в организме. Антиоксиданты в бобовых могут претерпевать некоторые изменения при термической обработке, что приводит к изменению антиоксидантной активности продуктов.

Экструзия представляет собой сложный технологический процесс, при котором изделия подвергаются совместному воздействию влаги, температуры и давления [7, 8, 9]. Он улучшает усвояемость белка за счет его денатурации, делая молекулы более доступными для ферментов пищеварительного тракта. Экструзия значительно снижает содержание антипитательных веществ в семенах бобовых. А также влияет на содержание биологически активных веществ в бобовых, таких как фенолы, полифенолы и витамины, определяющие антиоксидантные свойства продуктов.

Исследования фенольного состава экструдированной муки из трех сортов фасоли, показал увеличение содержания фенола в экструдатах на 14% по сравнению с сырыми бобами [2].

Было изучено влияние экструзии на биологически активные соединения и антиоксидантную способность смесей фасоли/кукурузы (в пропорции 60:40), экструдированных при различном содержании влаги и температурах (150°C – 190°C). Смесь влажностью 16,3%, экструдированная при температуре 142°C, имела наибольшее содержание полифенолов и антиоксидантную активность. Другие исследователи сообщали об увеличении общего количества фенолов, флавоноидов и антиоксидантной активности в смесях экструдированной картофельной и гороховой муки [1].

Влияние экструзии на стабильность витаминов группы В изучалось в основном для злаков. Водорастворимые витамины группы В являются коферментами, имеющими исключительное значение для функционирования клеток. Антиоксидантная активность защищает клетки от токсического окислительного стресса. Митохондрии подвергаются риску в случае любого дефицита витамина В. Витамин В1 (тиамин) наиболее тщательно изучается на предмет стабильности во время экструзии, за ним следуют витамин В2 (рибофлавин) и витамин С (аскорбиновая кислота). Исследований других витаминов группы В или витамина Е было меньше.

Наиболее стабильны при экструзии злаков в

различных условиях были витамины В2 и В3 (ниацин), тогда как витамин В1 был наименее стабилен.

Увеличение исходного содержания воды путем добавления 3-11% воды улучшало стабильность В1, В6 и В9 (фолиевая кислота). Экструзия пшеничной муки приводила к снижению В1 при повышении температуры продукта.

В литературных источниках недостаточно данных об оптимальных условиях экструзии чечевичной крупы с точки зрения сохранения биологически активных веществ и антиоксидантной активности.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке антиоксидантной активности экструдатов из чечевицы, полученных при различных условиях экструзии с различной влажностью сырья, температурой матрицы, скоростью вращения шнека и степенью сжатия.

Объекты и методы исследования

Образцы чечевицы закупались на местном рынке или в магазине.

Семена чечевицы измельчали с помощью молотковой мельницы и просеивали через стандартные сита. Размер подготовленных частиц чечевичной крупы составлял около 0,001 мкм в диаметре. Чечевичную крупу смешивали с дистиллированной водой до получения необходимой влажности (18,25 г/кг). Влажное сырье помещали и выдерживали в герметичных полиэтиленовых пакетах в течение 12 ч в холодильнике при 5°C. Перед экструзией образцы выдерживали в течение 2 ч при комнатной температуре.

Все эксперименты по экструзии проводили с использованием одношнекового лабораторного экструдера ЭК-40 (диаметр шнека 40 мм) с использованием фильеры диаметром 5 мм. Скорость шнека подачи была зафиксирована на уровне 70 мин⁻¹. Температура зоны подачи и зоны дозирования составляла 150°C и 160°C. Варьировались температура матрицы, скорость вращения шнека и степень сжатия (табл. 1).

Общее количество фенолов в образцах оценивали с использованием колориметрического метода.

Антиоксидантную активность определяли методом катодной вольтамперометрии с использованием растворов, полученных из экструдатов.

Экструдат отобранных образцов измельчали, затем отмеряли 0,002 кг и переносили в центрифужную пробирку. После добавления 50 см³ дистиллированной воды образец нагревали на водяной бане до 30°C в течение 30 мин при непрерывном перемешивании. Центрифугирование проводили в течение 20 мин при 50 с⁻¹. Супернатант отделяли для определения антиоксидантной активности.

Для определения антиоксидантной активности использовали анализатор АОА-1 (ОАО НПП «Полиант»). Измерение проводили методом катодной вольтамперометрии в растворе испытуемых образцов. Процесс включал снятие вольтамперограммы

Таблица 1 – Условия экструзии

Образец	Влажность сырья (W), г/кг	Температура матрицы (T), °C	Скорость шнека (n), мин ⁻¹	Степень сжатия шнека (CR)
1	18	160	180	3:01
2	25	160	180	3:01
3	25	140	180	3:01
4	25	160	228	3:01
5	25	160	180	1:01
6	25	160	180	5:01

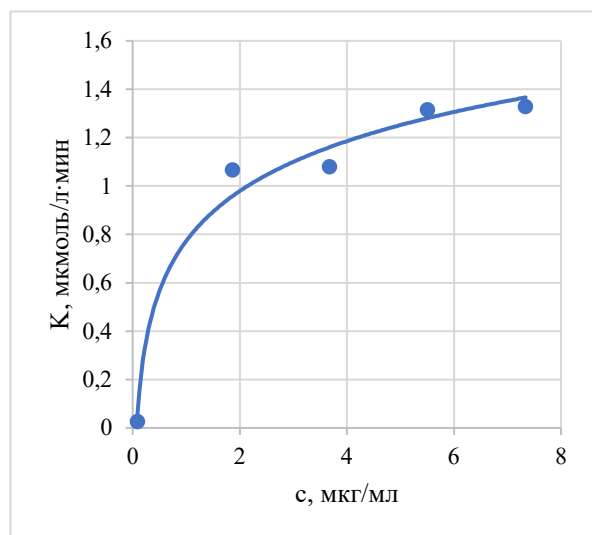


Рис. 1. Зависимость кинетического критерия К от концентрации антиоксидантных веществ в образце 1

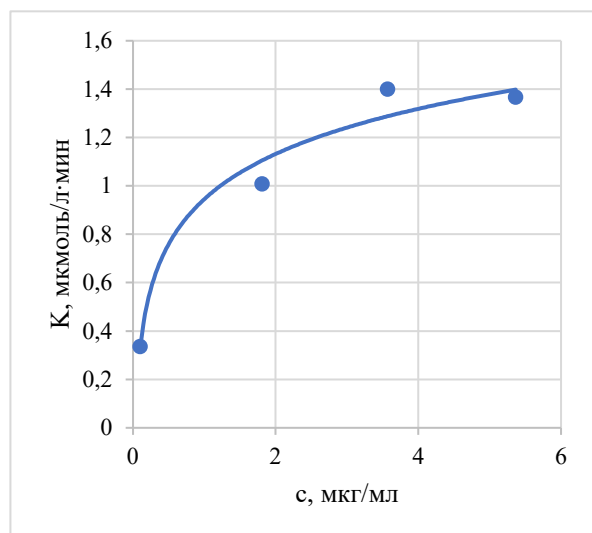


Рис. 2. Зависимость кинетического критерия К от концентрации антиоксидантных веществ в образце 5

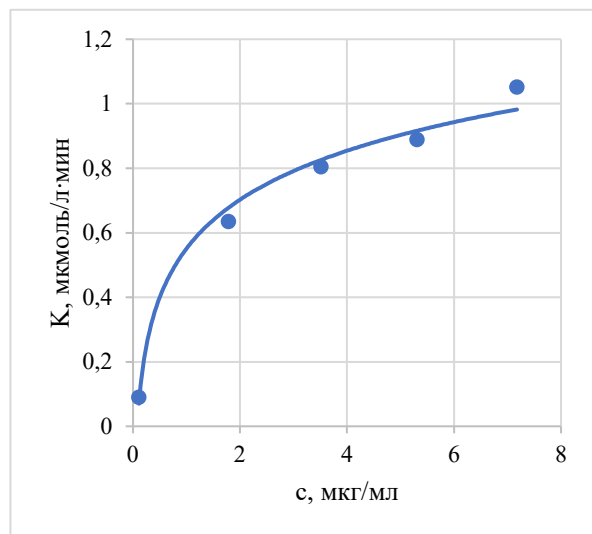


Рис. 3. Зависимость кинетического критерия К от концентрации антиоксидантных веществ в эталонном образце

в отсутствие антиоксиданта (измерялся ток в фоновом электролите) и построение вольтамперограммы в присутствии антиоксиданта.

Электрод сравнения был заполнен пересыщенным раствором КСl. При подаче напряжения на электрод сравнения электровосстановление молекулярного кислорода приводило к образованию кислородных радикалов в виде супероксидного анион-радикала (O_2^-) и пергидроксильного радикала (HO_2), протекал электрический ток (измеряемый в пА), и прибор фиксировал вольтамперограмму фонового электролита (I_0). В присутствии антиоксидантов, нейтрализующих кислородные радикалы, ток снижали и регистрировали новую вольтамперограмму (I), которая находилась ниже фоновой кривой и зависела от концентрации антиоксидантов.

Программное обеспечение, входящее в комплект прибора, позволяло определять кинетический критерий – К. Оно указывало количество активных кислородных радикалов, прореагировавших с антиоксидантами (или общее содержание антиоксидантов) в течение 1 мин (мкмоль/л·мин). Кинетический критерий определяли по формуле:

$$K = \frac{C_0}{t} \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) \quad (1)$$

где I – предельный ток электровосстановления кислорода в присутствии антиоксиданта в растворе, мкА;

I_0 – предельный ток электровосстановления кислорода в отсутствие антиоксиданта в растворе, мкА,

C_0 – исходная концентрация кислорода в растворе, мкмоль/л (приравнивается к растворимости кислорода в исследуемом электролите при н.у.),

t – время экспозиции рабочего электрода при постоянном потенциале предельного тока кислорода, характеризующее протекания реакции взаимодействия антиоксиданта с активными кислородными радикалами, мин

По результатам анализа была графически отображена зависимость функции $(1 - I/I_0)$ от времени t .

Значения для каждой экспериментальной точки были получены после 6 измерений антиоксидантной активности.

Математическая обработка результатов эксперимента проводилась по методу наименьших квадратов.

Результаты

Наиболее часто антиоксидантную активность определяют химическими методами. Однако результаты этих методов трудно сопоставимы из-за отсутствия единой единицы измерения.

В данной работе был использован электрохимический метод, при котором определение антиок-

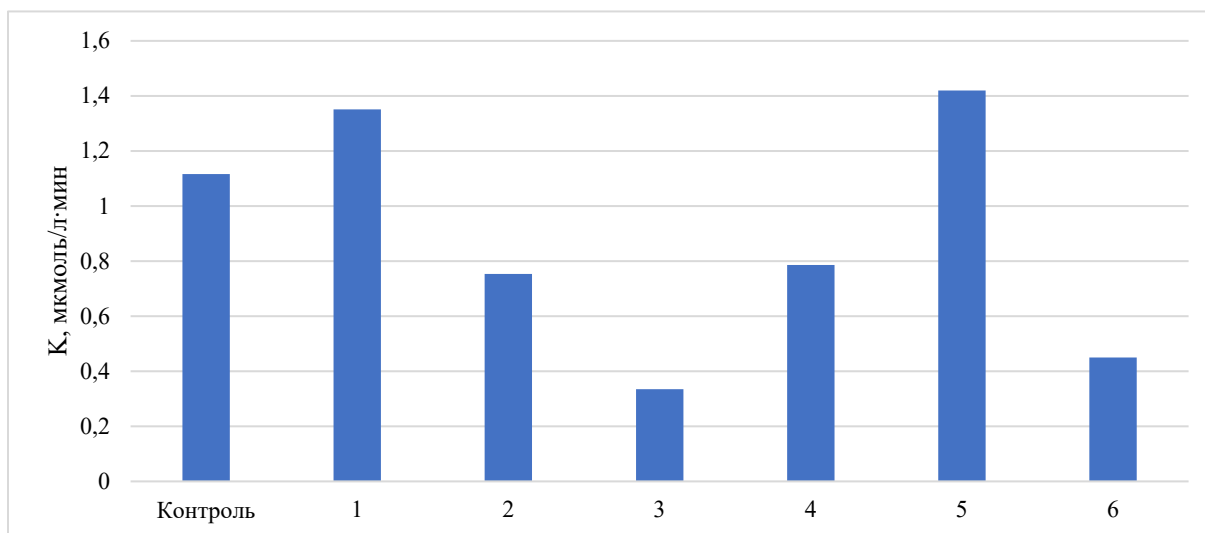


Рис. 4. Сравнительный профиль образцов по отношению к полученным максимальным значениям K

сидантной активности можно было проследить в ее динамике. Еще одним преимуществом катодной вольтамперометрии является одновременная нейтрализация как супероксидного анион-радикала, так и пергидроксильного радикала.

Известно, что антиоксидантная активность зависит от концентрации антиоксиданта в образце. Для установления этой зависимости исследуемые растворы экстрактов добавляли к фоновому электролиту в 5 концентрациях: 0,07, 1,75, 3,5, 5,25 и 7,12 мкг/см³.

Все исследованные образцы показали снижение тока по отношению к току фонового электролита. Чем больше последующее снижение тока, тем выше антиоксидантная активность из-за большего содержания антиоксидантов. Это коррелирует с более высоким значением K за 1 мин. Вольтамперограммы также позволили определить механизм действия антиоксидантов, содержащихся в отдельных экстрактах. Изменение вольтамперограмм в присутствии антиоксидантов характерно для группы фенольных соединений, витаминов А, Е, С и микроэлементов, обладающих антиоксидантным действием, также цинка и селена.

Зависимость между антиоксидантной активностью (K) и концентрацией антиоксидантных веществ в образцах с наибольшей антиоксидантной способностью, т.е. образце 1 и образце 5, и эталонном образце показаны на рисунках 1, 2 и 3 соответственно.

Предложенная модель с достаточной точностью описывала влияние концентрации антиоксидантных веществ на кинетический критерий K (логарифмическая зависимость). Коэффициент детерминации R² был высоким как в тестовых образцах, так и в эталонном образце. Коэффициент Фишера составлял от 61,56 до 175,06, а стандартная ошибка варьировалась от 0,01 до 0,11, что указывало на минимальное отклонение от модели.

Логарифмическая зависимость между кинетическим критерием K и концентрацией антиок-

сидантных веществ в образцах послужила основанием для сравнительного профиля различных экстрактов и эталонного образца по отношению к полученному максимальному значению K (рис. 4). Образец 1 и образец 5 показали более высокую антиоксидантную активность, чем эталон. Образцы 2, 3, 4 и 6 имели более слабую антиоксидантную способность, чем эталонный образец.

Обсуждение

Исследования антиоксидантной способности образцов, полученных методом экструзии в различных условиях, подтвердили наличие антиоксидантных веществ. Механизм их действия, по сдвигу вольтамперограммы от фоновой вольтамперограммы, регистрируемой в их присутствии, отнес их к группе фенольных и флавоноидных соединений, витаминов А, В, Е, С. По-видимому, условия экструзии в образце 1 и образце 5 оказались наиболее благоприятными для экстракции антиоксидантных веществ в эти экстракты. У остальных экстрактов антиоксидантная активность была ниже, чем у эталонного образца.

Исследования общего количества фенольных веществ с использованием реактива Фолина-Чокальтеу показали, что фенольные соединения имеют наибольшую концентрацию в контрольном образце и снижается в образцах почти в два раза после экструзии. Другие исследователи также сообщали о снижении фенольных соединений и антиоксидантной активности после экструзии [3]. Исследования ученых [4], показывают об увеличении общего количества фенольных веществ, флавоноидов и антиоксидантной активности в экструдированных продуктах из смесей картофельной и гороховой муки. Пониженная концентрация фенольных соединений в экструдированных продуктах в наших исследованиях может быть связана с их неполной экстракцией за счет применения только водной экстракции. Повышенная антиоксидантная активность образца

1 и образца 5 по сравнению с эталонным образцом (неэкструдированная чечевица), установленная с помощью нового высокочувствительного метода, явилась самым убедительным доказательством наличия в них биологически активных веществ.

Также возможно, что условия экструзии в образце 1 и образце 5 благоприятствовали извлечению витаминов группы В и микроэлементов цинка и селена, и следовательно, эти образцы показали более высокую антиоксидантную способность, чем эталонный образец или другие экструдаты.

Литература

- [1] Bioactivity of antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry pea flours / N. B [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. 2011. Vol. 59. № 15.
- [2] Korus J., Gumul D., Czechowska K. Effect of Extrusion on the Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Dry Beans of *Phaseolus vulgaris* L. // Food Technology and Biotechnology. 2007. Vol. 45. № 2. P. 139–146.
- [3] Hossain A., Jayadeep A. Impact of extrusion on the content and bioaccessibility of fat soluble nutraceuticals, phenolics and antioxidants activity in whole maize // Food Research International. 2022. Vol. 161. P. 111821.
- [4] Effects of extrusion processing on the bioactive constituents, in vitro digestibility, amino acid composition, and antioxidant potential of novel gluten-free extruded snacks fortified with cowpea and whey protein concentrate / H.N. Nadeesha Dilrukshi, D.D. Torrico, M.A. Brennan, C.S. Brennan // Food Chemistry. 2022. Vol. 389. P. 133107.
- [5] Антипова, Л. В. Исследование качества белкового компонента пророщенного зерна чечевицы с целью его использования в технологии обогащенных белковых продуктов / Л. В. Антипова, И. Н. Толпыгина, Т. А. Лысак // Актуальная биотехнология. – 2018. – № 3(26). – С. 495-496. – EDN ZASHAD.
- [6] Калашникова, С. В. Технологические аспекты применения чечевицы в производстве кексов / С. В. Калашникова, Т. Н. Тертычная // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2021. – № 2(17). – С. 110-114. – EDN UOSWUF.
- [7] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, П. К. Гарькина [и др.] // Нива Поволжья. – 2019. – № 2(51). – С. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- [8] Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В. М. Зимняков, О. Н. Кухарев,

Выводы

Анализ данных исследованных образцов и условий экструзии, при которых эти образцы были получены, показал, что совместное влияние низкой влажности чечевичной крупы ($W = 18$ г/кг) и средней степени сжатия (3 :1) или высокое содержание влаги в чечевичной крупе ($W = 25$ г/кг) и низкой степени сжатия (1:1), были условиями получения образца 1 и образца 5, т.е. образцов с наибольшей антиоксидантной активностью. Это указывало на то, что при прочих равных условиях наиболее значимым фактором было совместное влияние параметров влажности сырья W и степени сжатия шнека.

References

- [1] Bioactivity of antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry pea flours / N. B [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. 2011. Vol. 59. № 15.
- [2] Korus J., Gumul D., Czechowska K. Effect of Extrusion on the Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Dry Beans of *Phaseolus vulgaris* L. // Food Technology and Biotechnology. 2007. Vol. 45. № 2. P. 139–146.
- [3] Hossain A., Jayadeep A. Impact of extrusion on the content and bioaccessibility of fat soluble nutraceuticals, phenolics and antioxidants activity in whole maize // Food Research International. 2022. Vol. 161. P. 111821.
- [4] Effects of extrusion processing on the bioactive constituents, in vitro digestibility, amino acid composition, and antioxidant potential of novel gluten-free extruded snacks fortified with cowpea and whey protein concentrate / H.N. Nadeesha Dilrukshi, D.D. Torrico, M.A. Brennan, C.S. Brennan // Food Chemistry. 2022. Vol. 389. P. 133107.
- [5] Antipova, L. V., Tolpygina, I. N., Lysak, T. A. Study of the quality of the protein component of the germinated lentil grain for the purpose of its use in the technology of enriched protein products / Actual Biotechnology. - 2018. - No. 3 (26). – S. 495-496. – EDN ZASHAD.
- [6] Kalashnikova, S. V. Technological aspects of the use of lentils in the production of cakes / S. V. Kalashnikova, T. N. Tertychnaya // Technologies and commodity science of agricultural products. - 2021. - No. 2 (17). - S. 110-114. – EDN UOSWUF.
- [7] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, P. K. Garkina [et al.] // Niva Povolzhya. - 2019. - No. 2 (51). - pp. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- [8] Rational technological parameters in the production of a polycomponent composite based on flax seeds / V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A. A. Kurochkin, D.

- А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [9] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного сула с использованием экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6(22). – С. 103-109. – EDN TKJLIH.
- I. Frolov // Niva Povolzhya. - 2017. - No. 4 (45). - pp. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [9] Optimization of the composition of grain products when obtaining beer wort using extruded barley / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, D. I. Frolov // XXI century: results of the past and problems of the present plus. - 2014. - No. 6(22). - pp. 103-109. – EDN TKJLIH.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>
<p>Кудря Анна Николаевна магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: E-mail:</p>	<p>Kudrya Anna Nikolaevna undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: E-mail:</p>