

Улучшение содержания пищевых волокон и биоактивных компонентов в продуктах экструзии

Фролов Д.И., Лукьянова Е.А.

Аннотация. Для производства снеков в качестве основных ингредиентов используются различные зерновые крупы. Однако, в настоящее время, все чаще встречается обогащение экструдированных продуктов пищевыми волокнами, биоактивными компонентами. Физико-химические и органолептические свойства экструдированных продуктов зависят от добавления ингредиентов, богатых белками, клетчаткой и биоактивными компонентами. На содержание питательных веществ в экструдатах особое влияние оказывают условия процесса экструзии. В статье рассмотрены исследования в области использования различных технологий и применения сырьевых компонентов, улучшающих пищевую ценность и другие свойства продуктов экструзии.

Ключевые слова: экструзия, белок, пищевые волокна, антоцианы, каротиноиды.

Для цитирования: Фролов Д.И., Лукьянова Е.А. Улучшение содержания пищевых волокон и биоактивных компонентов в продуктах экструзии // Инновационная техника и технология. 2019. № 4 (21). С. 18–25.

Improving the content of dietary fiber and bioactive components in extrusion products

Frolov D.I., Lukyanova E.A.

Abstract. For the production of snacks, various cereals are used as the main ingredients. However, at present, enrichment of extruded products with dietary fiber, bioactive components is increasingly common. The physicochemical and organoleptic properties of extruded products depend on the addition of ingredients rich in proteins, fiber and bioactive components. The nutrient content of the extrudates is particularly influenced by the conditions of the extrusion process. The article discusses research in the use of various technologies and the use of raw materials that improve the nutritional value and other properties of extrusion products.

Keywords: extrusion, protein, dietary fiber, anthocyanins, carotenoids.

For citation: Frolov D.I., Lukyanova E.A. Improving the content of dietary fiber and bioactive components in extrusion products. Innovative Machinery and Technology. 2019. No.4 (21). pp. 18–25. (In Russ.).

Введение

Проблема определения пищевых волокон возникает из-за отсутствия общепринятого метода количественной оценки всех компонентов пищевых волокон. Пищевые волокна представляют собой съедобные части растений или аналогичные сахараиды, которые устойчивы к перевариванию и всасыванию в тонкой кишке человека с полной или частичной ферментацией в толстой кишке. Типы растительных материалов, которые включены в определение, могут быть разделены на две формы в зависимости от их растворимости: нерастворимые пищевые волокна, которые включают целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин, и растворимые пищевые волокна, которые включают β -глюканы, пектин, камеди, слизи и некоторые гемицеллюлозы. Это определение включает в себя только некрахмальные по-

лисахариды, но резистентный крахмал также может рассматриваться как компонент пищевых волокон, поскольку он определяется в общем количестве пищевых волокон.

Пищевые волокна снижают риск развития диабета 2 типа, сердечно-сосудистых заболеваний и рака толстой кишки за счет уменьшения переваривания и всасывания макронутриентов и уменьшения времени контакта канцерогенов в просвете кишечника. Добавка с пищевым волокном может привести к развитию фитнес-продуктов, с низким содержанием холестерина и липидов. Согласно текущим рекомендациям, среднесуточная потребность в пищевых волокнах составляет 21–25 г в день для женщин и 30–38 г в день для мужчин. Пищевая клетчатка также имеет важное значение для здоровья детей, особенно в обеспечении нормальной перистальтике кишечника. Исследования

также показывают, что пищевые волокна в детском возрасте могут быть полезны для профилактики и лечения ожирения, а также для снижения уровня холестерина в крови, что может снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний в будущем [1].

Как правило, рафинированная зерновая мука содержит небольшое количество клетчатки (от 2% до 5%). Цельнозерновая мука содержит больше клетчатки (от 10 до 15%). Наибольшее количество клетчатки содержится в отрубной части злаков (20–90%). В злаках пищевые волокна в основном нерастворимы, за исключением овса, в котором растворимо около 50% клетчатки.

Добавление пищевых волокон из злаков

Ячмень играет незначительную роль в питании человека, но продукты с новыми функциональными и питательными свойствами являются предпосылкой для более высокого потребления ячменя. β -Глюкан является важным питательным компонентом этого злака. Было показано, что β -глюкан из ячменя является гипохолестеринемическим, и это свойство может быть результатом его способности увеличивать вязкость содержимого кишечника. Он также является мощным индуктором гуморального и клеточного иммунитета [2].

На деполимеризацию полисахаридов во время экструзии влияет повышенное напряжение сдвига. Молекулярная масса β -глюкана, экстрагированного из ячменной муки, составляет 160000. β -Глюкан, экстрагированный из экструдированных препаратов ячменя, приготовленных при влажности 22,5%, показал, в зависимости от температуры экструзии, следующие молекулярные массы: 110000 (130 °C), 125000 (150 °C) и 80000 (170 °C). Связывание и иммобилизация воды является важной функцией растворимых пищевых волокон. Благодаря своей целлюлозоподобной структуре β -глюканы растворимы лишь частично. Экструзия также приводит к более высокой растворимости материала ячменя. Чтобы получить хорошие текстурные свойства экструдата ячменя, является предпочтительной влажность 20,0–22,5% [3].

Образование устойчивого крахмала во время экструзии ячменя не может быть обобщено. Авторы [4] показали, что экструзия при 100 °C увеличивает содержание устойчивого крахмала, но при более низких температурах (60 и 80 °C) содержание устойчивого крахмала уменьшается. Это говорит о том, что фрагментация крахмала легко происходит при 100 °C, что приводит к образованию амилозных цепей, которые могут быть включены в кристаллическую структуру резистентного крахмала третьего типа. Устойчивый крахмал типа 3 определяется как ретроградированная фракция крахмала, образованная после варки и хранения [5], авторы [6] сообщили о формировании этого типа крахмала в экструдированной ячменной муке с высоким содержанием амилозы, но не наблюдали какого-либо

стойкого крахмала типа 3 в экструдированной ячменной муке с низким содержанием амилозы. Наибольшее содержание устойчивого крахмала было получено при использовании температуры массы приблизительно 150 °C и влажности около 20%. Разные результаты, полученные в разных исследованиях, можно объяснить несколькими способами:

После релаксации материала на основе зерновых при выходе из матрицы происходили ретроградация и перекристаллизация, что является предварительным условием для образования ферментативно-устойчивого крахмала типа 3 [3].

Условия экструзии, особенно сдвиговое действие шнека экструдера, могли вызвать разложение амилозы на молекулы с меньшей степенью полимеризации, которые не могли быть включены в кристаллическую структуру резистентного крахмала типа 3.

Мука представляет собой сложную систему, и другие компоненты, такие как белки, β -глюканы и / или пентозаны, могут препятствовать образованию устойчивого крахмала типа 3 [4].

Экструзия ячменной муки может быть определенным образом неприемлемой для потребителей, поскольку экструдаты могут иметь вкус «отрубей».

Смешивание ячменя с томатной выжимкой дало экструдаты с высоким уровнем предпочтения, особенно с томатной выжимкой на уровне 10%. Высокая температура экструзии (160 °C) была предпочтительной, потому что снижение температуры матрицы увеличивало твердость продукта [7].

По экономическим причинам особенно интересно использовать побочные продукты из других отраслей пищевой промышленности, которые являются источниками компонентов с высокой пищевой ценностью. Примером такого материала является отработанное зерно пивоваренных заводов, которое содержит около 52% нерастворимых пищевых волокон и 2,5% растворимых пищевых волокон. Добавление отработанного зерна к кукурузной крупе на уровне 5-20% значительно увеличило содержание всех фракций пищевых волокон. Добавление 10% увеличило почти в три раза содержание всех фракций пищевых волокон. Наиболее высокие соотношения были установлены для фракций гемицеллюлозы и целлюлозы. Наблюдалось более высокое содержание пищевых волокон после экструдирования по сравнению с их теоретическим содержанием [8]. Это можно объяснить образованием резистентного крахмала и взаимодействиями частично деградированных веществ, приводящими к образованию новых комплексов, устойчивых к перевариванию.

Волокно увеличивает твердость экструдированных продуктов и уменьшает расширение в результате его влияния на толщину клеточной стенки [9]. Утолщение клеточных стенок приводит к уменьшению размера воздушной ячейки в микроструктуре экструдата. Другое объяснение может заключаться в том, что распад компонентов на более мелкие частицы, который может препятствовать

расширению пузырьков, снижает растяжимость клеточных стенок и вызывает преждевременный разрыв паровых ячеек в микроструктуре экструдата [10]. При более высоких уровнях добавления (20%) отработанное зерно вызывало почти двукратное увеличение плотности и очень низкое расширение. Также полученный таким образом продукт характеризовался специфическим послевкусием и ароматом пивного отработанного зерна, поэтому требовалось добавление ароматизаторов.

Продукты помола пшеницы можно также использовать в продуктах экструдированного завтрака. Эти продукты содержат почти исключительно нерастворимые пищевые волокна. Механическое напряжение в процессе экструзии должно быть причиной разрушения полисахаридных связей, что приводит к высвобождению олигосахаридов и, следовательно, к увеличению растворимых пищевых волокон. Также наблюдалось увеличение растворимого волокна во время экструзионной варки кукурузного волокна из-за превращения некоторых нерастворимых компонентов волокна в растворимое волокно во время экструзии. Авторы [11] также показали увеличение количества нерастворимых пищевых волокон, что можно объяснить желатинизацией и ретроградацией крахмала, которые происходили во время экструзии, и часть его могла быть превращена в неразлагаемые полисахариды. Кроме того, реакция Майяра, которая происходила во время экструзии, привела к образованию белково-полисахаридного комплекса, который был устойчив к ферментативной деградации. Согласно определению, эти продукты нельзя рассматривать как пищевые волокна, но они ведут себя как пищевые волокна при аналитическом определении, а также физиологически. С другой стороны, авторы [6] показали, что содержание нерастворимых пищевых волокон в двух разных типах ячменя увеличивается в одном случае и уменьшается в другом в процессе экструзии. Экструзия овсяных отрубей также привела к увеличению растворимых пищевых волокон с 89 г/кг до 95–142 г/кг в зависимости от условий экструзии. Более высокая температура (140 °С по сравнению с 100 °С) и более низкая влажность (10% по сравнению с 30%) привели к более высокому увеличению содержания растворимых пищевых волокон [12].

Добавление пищевых волокон из бобовых

В последние годы злаки использовались для приготовления растворимых пищевых волокон в ряде исследований, но информация о соевых бобах и других бобовых скудна. Остаток сои, который является основным побочным продуктом производства соевого молока и тофу, является хорошим источником пищевых волокон. Содержание общего волокна в остатках сои составляет около 60%, а содержание растворимых пищевых волокон только 2–3%. При температуре экструзии 115 °С, влажно-

сти 31% и скорости шнека 18,8 рад/с содержание растворимых пищевых волокон увеличилось на 10,6% по сравнению с неэкструдированным остатком сои. Нагревание также изменяло структурные характеристики волокна, что увеличивало его способность поглощать воду. Повышенный уровень муки из бобов привел к значительному снижению расширения по сравнению с волокнами зернового происхождения. Тем не менее, тип бобов значительно повлиял на расширение. Исследования показали, что замена кукурузного крахмала на бобовую муку, независимо от сорта, возможна на уровне 30%.

Были также проведены исследования использования некоторых других бобовых, таких как нут, чечевица и пажитник [13]. Твердость экструдатов уменьшилась, так как доля нута увеличилась с 50% до 70%. Экструдированный продукт, содержащий 80% муки из нута, был более твердым, чем продукт, содержащий 70% муки из нута. Экструдированные продукты, изготовленные из 70:30 смесей нута и рисовой муки, имели самое высокое расширение и самое низкое значение твердости [14]. Снековые продукты на основе нута с высокой степенью расширения и низкой объемной плотностью и твердостью были получены при низкой влажности, высокой скорости шнека и средней и высокой температуре в цилиндре в диапазоне 15,3–18,7% влажности, скорости шнека 23,7–36,0 рад/с и температурой 143–177 °С [15]. Однако добавление пажитника может быть неприемлемым даже при очень низких уровнях включения (2%) из-за выраженного горького вкуса. Однако продукт, содержащий 15% полисахарида пажитника, был приемлемым [14].

Для приготовления растворимых пищевых волокон из бобовых культур предпочтительна двухшнековая экструзия, так как можно экструдировать при более низких температурах, которые требуют меньше энергии. Кроме того, двухшнековая экструзия может сократить время экструзии за счет увеличения скорости шнека.

Добавление пищевых волокон из фруктов и овощей

Добавление брокколи и оливковой пасты в экструдаты кукурузы было исследовано авторами [16]. Независимые переменные процесса экструзии (температура, скорость шнека, влажность сырья, брокколи или оливковой пасты) существенно влияли на структурные характеристики экструдата. Повышение температуры и скорости вращения шнека вызвало снижение вязкости смеси и увеличение желатинизации крахмала, что привело к образованию более пористых продуктов. Увеличение влажности отрицательно сказалось на желатинизации крахмала и уменьшило пористость экструдатов. Увеличение уровня добавления брокколи и оливковой пасты уменьшило пористость продуктов из-за высокого содержания клетчатки и белка. Расширение экструдата уменьшалось по мере уве-

личения содержания влаги и уровня добавок, в то время как увеличение скорости шнека приводило к увеличению объема продукции. Наиболее подходящими условиями для получения продуктов с более высоким расширением были начальная влажность 14%, содержание 4% и скорость шнека 26,2 рад/с. Для экструдатов кукурузы и брокколи оптимальная температура составляла 140 °С, а для экструдатов кукурузно-оливковой пасты - 180 °С.

Исследователи [9] продемонстрировали, что твердость экструдированных продуктов не была связана с уровнем цветной капусты, который был единственным источником, который увеличивал уровень пищевых волокон. Органолептическая оценка тех же образцов показала, что экструдаты, содержащие 0–10% цветной капусты, были признаны значительно более приемлемыми, чем образцы, содержащие 15–20% цветной капусты.

Экструдирование мякоти апельсина привело к увеличению общего пектина. Более продолжительное время пребывания (более низкая скорость шнека 14,3 рад/с) и содержание влаги 27–33% были достаточными, чтобы вызвать изменения в структуре протопектина, обеспечивающие как солубилизацию, так и выделение пектина [17]. Более высокие уровни растворимой фракции в общем пищевом волокне были обнаружены в концентратах овощей, чем в зерновых, поскольку общее диетическое волокно из овощей имеет большее сродство к воде, чем отруби зерновых. Условия экструзии увеличивали количество общего пищевого волокна в смеси кукурузной муки и красной капусты, но уменьшались в смеси пшеничной муки и красной капусты. Вероятно, это связано с высоким содержанием амилозы в кукурузном крахмале, что привело к образованию стойкого крахмала. Экструзия увеличивала количество общего и растворимого пищевого волокна сладкого картофеля, особенно по сравнению с лиофилизированными и высушенными на воздухе образцами [18].

Добавление биоактивных компонентов

Фитохимические вещества как биологически активные непитательные соединения во фруктах, овощах, зерне и других растительных продуктах были связаны с уменьшением риска основных хронических заболеваний. Было идентифицировано более 5 000 фитохимических веществ, но большое их количество до сих пор остается неизвестным. Однако убедительные данные свидетельствуют о том, что польза фитохимических веществ во фруктах и овощах может быть даже больше, чем это понимается в настоящее время, поскольку окислительный стресс, вызванный свободными радикалами, участвует в этиологии широкого спектра хронических заболеваний [19]. Например, флавоноиды обладают антимикробным, противовирусным, антиканцерогенным и сосудорасширяющим действием.

Зерновые культуры содержат большое ко-

личество биологически активных веществ, в том числе антиоксидантов. Большая часть фенольных соединений находится во внешних частях зерен, где они участвуют в защите от ультрафиолетового излучения, проникновении патогенных микроорганизмов и в изменении механических свойств [20]. Доминирующей фенольной кислотой, содержащейся в пшенице, ячмене и ржи, является феруловая кислота, а в овсе - кумаровая кислота. Рожь и овес содержат также небольшое количество синаповой и кофейной кислот. Связанные с эфиром фенольные кислоты являются доминирующими по сравнению со свободными кислотами. Наибольшее содержание обеих форм было обнаружено у ржи (54,6 мг/кг) и овса (30,1 мг/кг).

Экструзия (влажность 20%, скорость шнека 52,4 рад/с, температура цилиндра 120–200 °С) вызвала увеличение всех анализируемых свободных и сложноэфирных фенольных кислот, за исключением синаповой и кофейной кислот. Авторы [21] сообщили о значительном снижении общего содержания фенола при экструзии ячменной муки. Снижение общего содержания фенолов может объясняться либо разложением фенольных соединений из-за высокой температуры экструзии, либо изменением молекулярной структуры фенольных соединений, что может привести к снижению химической реакционной способности фенольных соединений или снижению их экстрагируемости из-за определенной степени полимеризации. Также сообщалось, что фенольные соединения могут взаимодействовать с белками и могут не проявлять их действительную ценность. Увеличение содержания фенола во время экструзии указывает на то, что условия экструзии могут высвобождать фенольные кислоты и их производные из клеточных стенок. Затем, в результате, высвобожденные фенольные кислоты могут способствовать более высокому антиоксидантному потенциалу [22].

Овес уникален среди обычных злаков благодаря высокому содержанию липидов и белков, а их липолитические ферменты в 10–15 раз активнее ферментов пшеницы. Эндогенные фенольные вещества в овсе обеспечивают некоторую защиту, но обработка перед экструзией может повредить эти соединения, уменьшая их антиоксидантное действие. Природные фенольные соединения, добавляемые в зерно перед экструзией, могут синергировать и защищать эндогенные антиоксиданты [90]. Это также может привести к образованию новых антиоксидантов. Эти добавленные антиоксиданты будут равномерно диспергированы в пищевой матрице и с меньшей вероятностью будут сублимироваться, чем бутилированный гидрокситолуол или бутилированный гидроксианизол, что приведет к отсроченному началу окисления липидов. Феруловая кислота и бензоин в количестве 1 г/кг были эффективными в отсрочке начала окисления, в то время как хлорогеновая кислота была неэффективной,

возможно, из-за образования комплекса с железом из-за износа шнека [23].

Значительное появление биологически активных фенольных соединений, соответствующих антиоксидантных способностей наряду с интересными функциональными свойствами обезвоженной бобовой муки делают их полезными для эффективного включения в рацион человека. Общее содержание полифенолов в цельной бобовой муке, варьировалось от 4,3 г/кг до 17,4 г/кг в пересчете на сухое вещество. Мука из цельных бобов и кукурузная кукуруза смешивались в пропорции 60:40, и экструзия проводилась в различных условиях влажности (14,5–18,0%) и температуры (150–190 °С). Результаты показали, что после экструзии содержание полифенолов оставалось высоким (15,1 г/кг в пересчете на сухое вещество, выраженное в эквивалентах галловой кислоты) в смеси, экструдированной при 142 °С и влажности 16,3%. Была обнаружена корреляция между наилучшей процедурой экструзии, содержанием биологически активных соединений и антиоксидантной способностью конечного продукта. Влияние экструзии на общее содержание фенолов в бобах зависит от сорта бобов [23].

Антоцианы

Антоцианы представляют собой водорастворимые пигменты, отвечающие за красный, синий и фиолетовый цвета у многих пищевых культур. Они являются известными альтернативами синтетическим красителям. Натуральные красители имеют ряд недостатков, таких как высокая цена, сложность экстракции и изменение цвета при обработке. Искусственные красители стоят недорого и превосходят натуральные экстракты по тинкториальной силе, оттенку и стабильности. Хотя осведомленность потребителей о рисках, связанных со здоровьем, связанных с искусственными красящими добавками, возросла, искусственные красители по-прежнему используются чаще, чем натуральные красители во многих обработанных пищевых продуктах.

Сухие завтраки, окрашенные натуральными фруктами, могут понравиться потребителям, заинтересованным в здоровой пище. Цельная желтая кукуруза является хорошим источником фенольных соединений, но измельчение может удалить некоторые эндогенные антиоксиданты, такие как фенолы, и, таким образом, добавление других антиоксидантов к кукурузе должно улучшить срок хранения [24]. Кроме того, что касается флавоноидов и связанных с ними фенолов, то, как антирадикальная, так и антиоксидантная активность способствуют объяснению защитного действия богатых растительными диетами на коронарные заболевания.

Органолептическая оценка показала, что общая приемлемость тесно связана со сладостью, твердостью и вкусом. Образцы черники получили самый низкий балл по общему признанию. Черничный концентрат обеспечивал терпкость, которая

могла повлиять на сладость продукта. Таким образом, если основной целью является яркий цвет, следует использовать чернику, но необходимо улучшить сладость и вкус [25].

Экструзия клюквенной выжимки с кукурузным крахмалом в соотношениях 30:70, 40:60 и 50:50, при температурах 150–190 °С и скорости шнека 15,7 рад/с и 20,9 рад/с показала, что потери антоцианов сильно зависели от уровня выжимки. Минимальная потеря в антоцианинах наблюдалась в смеси, содержащей только 30% выжимки, при этом терялась только 50% антоцианинов. Экструдаты, содержащие 50% выжимки, сохраняли только 35%. Это предполагает возможную защиту крахмала, присутствующего в смеси экструдата. Антиоксидантная емкость экструдатов возрастала при более высоких температурах из-за образования продуктов реакции Майяра, которые обладают восстановительной способностью [26].

Органолептическая оценка экструдатов, полученных из порошка красной моркови (1–3%) и рисовой муки, показала хорошую приемистость всех образцов. Наилучшая сенсорная оценка не коррелировала с сохранением цвета антоцианов. Добавление 2% лимонной кислоты увеличивало сохранение цвета с 41% до 63%, но экструдаты были очень кислыми и органолептически неприемлемыми. Введение 1% лимонной кислоты также было полезным (удержание 59%) и показало гораздо лучшие результаты. Введение аскорбиновой кислоты (0%, 0,1% и 1%) в смесь, содержащую кукурузную муку, сахарозу (15%) и черничный концентрат (17%), показало, что обогащение аскорбиновой кислотой ускоряет разложение антоцианов в процессе экструзии. Это может быть связано с взаимодействием продуктов окисления аскорбиновой кислоты с антоцианами или с прямой конденсацией и усиленным образованием полимерных пигментов. Сенсорная оценка образцов показала, что фруктовый вкус был недостаточно сильным, но мягкая кислотность, обеспечиваемая аскорбиновой кислотой, способствовала улучшению фруктового вкуса [27].

Каротиноиды

β -каротин не только важный и безопасный источник витамина А, но и полезный пищевой краситель. Существуют значительные доказательства того, что β -каротин, являясь высокоактивным гасителем синглетного кислорода, может играть важную роль в профилактике заболеваний, опосредованных свободными радикалами.

Чтобы исследовать технологические потери из-за чувствительности фитохимикатов, β -каротин был включен в приготовленные в экструзии продукты на основе зерновых. Напряжения, вызванные технологическим процессом, варьировались с использованием различных точек дозирования, скорости шнека и температуры цилиндра. Результаты показали распад β -каротина в результате окисления, вызванного термическими и механическими воздействиями. Когда раствор вводили в конец экс-

трудера, молекулы β -каротина подвергались механическим и термическим воздействиям в течение более короткого времени, что приводило к увеличению удержания общего содержания на 10% по сравнению с применением до пластификации крахмала. Повышение температуры расплава со 135 до 170 °C не оказало какого-либо влияния на удержание β -каротина. Увеличение скорости шнека с 31,4 рад/с до 52,4 рад/с значительно увеличило удержание примерно на 25%. Эти результаты позволяют предположить, что потери β -каротина были вызваны в основном механическим напряжением, а не тепловым напряжением [28].

Выводы

Рассмотренные исследования в области использования и применения различного сырья, улучшающего пищевую ценность и лечебно-профилактические свойства экструзионных продуктов, показали, что тенденцию на применение различных биоактивных ингредиентов. Физико-химические и органолептические свойства экструдированных продуктов зависят как от добавления ингредиентов, так и от условий экструзии.

Список литературы

- [1] Williams, C. L.: Dietary fiber in childhood. *Journal of Paediatrics*, 149, 2006, pp. S121–S130. DOI: 10.1016/j.jpeds.2006.06.066.
- [2] Havrlentova, M. Kraic, J.: Content of D-glucan in cereal grains. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45, 2006, pp. 97–103.
- [3] Huth, M. Dongowski, G. Gebhardt, E. Flamme, W.: Functional properties of dietary fibre enriched extrudates from barley. *Journal of Cereal Science*, 32, 2000, pp. 115–128. DOI: 10.1006/j.jcrs.2000.0330.
- [4] Faraj, A. Vasanthan, T. Hoover, R.: The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*, 37, 2004, pp. 517–525. DOI: 10.1016/j.foodres.2003.09.015.
- [5] Sayago-Ayerdi, S. Tovar, J. Blancas-Benitez, F. J. Bello-Perez, L. A.: Resistant starch in common starchy foods as an alternative to increase dietary fibre intake. *Journal of Food and Nutrition Research*, 50, 2011, pp. 1–12.
- [6] Vasanthan, T. Gaosong, J. Yeung, J. Li, J.: Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 2002, pp. 35–40.
- [7] Altan, A. McCarthy, K. L. Maskan, M.: Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84, 2008, pp. 231–242.
- [8] Stojceska, V. Ainsworth, P. Plunkett, A. Ibanoglu, S.: The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready to eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114, 2009, pp. 226–232.
- [9] Stojceska, V. Ainsworth, P. Plunkett, A. Ibanoglu, S.: The recycling of brewers processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47, 2008, pp. 469–479.
- [10] Lobato, L. P. Anibal, D. Lazaretti, M. M. Grossmann, M. V. E.: Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT—Food Science and Technology*, 44, 2011, pp. 933–939.
- [11] Esposito, F. Arlotti, G. Bonifati, A. M. Napolitano, A. Vitale, D. Fogliano, V.: Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 38, 2005, pp. 1167–1173.
- [12] Zhang, M. Bai, X. Zhang, Z.: Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*, 54, 2011, pp. 98–103.
- [13] Patil, R. T. Berrios, J. D. Tang, J. Swanson, B. G.: Evaluation of methods for expansion properties of legume extrudates. *Applied Engineering in Agriculture*, 23, 2007, pp. 777–783.
- [14] Shirani, G. Ganesharane, R.: Extruded products with fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering*, 90, 2009, pp. 44–52.
- [15] Meng, X. Threinen, D. Hansen, M. Driedger, D.: Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43, 2010, pp. 650–658.
- [16] Bisharat, G. I. Oikonomopoulou, V. P. Panagiotou, N. M. Krokida, M. K. Maroulis, Z. B.: Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 2013, pp. 1–14.
- [17] Larrea, M. A. Chang, Y. K. Bustos, F. M.: Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89, 2005, pp. 301–308.
- [18] Shih, M. Kuo, C. Chiang, W.: Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117, 2009, pp. 114–121.

- [19] Kris-Etherton, P. K. Hecker, K. D. Bona- nome, A. Coval, S. M. Binkosi, A. E. Hil- pert, K. F. Griel, A. E. Etherton, T. D.: Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, 113, 2002, pp. 71S–88S.
- [20] Mikulajova, A. Takacsova, M. Rapta, P. Brindzova, L. Zalibera, M. Nemeth, K.: Total phenolic contents and antioxidant capacities of cereal and pseudocereal genotypes. *Journal of Food and Nutrition Research*, 46, 2007, pp. 150–157.
- [21] Sharma, P. Gujral, H. S. Singh, B.: Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131, 2012, pp. 1406–1413.
- [22] Zielinski, H. Kozłowska, H. Lewczuk, B.: Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 2001, pp. 159–169.
- [23] Aguilera, Y. Estrella, I. Benitez, V. Este- ban, R. M. Martin-Cabrejas, M. A.: Bioactive compounds and functional properties of dehydrated bean flours. *Food Research International*, 44, 2011, pp. 774–780.
- [24] Camire, M. E. Dougherty, M. P. Briggs, J. L.: Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*, 101, 2007, pp. 765–770.
- [25] Camire, M. E. Chaovanalikit, A. Dougherty, M. P. Briggs, J.: Blueberry and grape anthocyanins as breakfast cereal colorants. *Journal of Food Science*, 67, 2002, pp. 438–441.
- [26] White, B. L. Howard, L. R. Prior, R. L.: Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2010, pp. 4037–4042.
- [27] Chaovanalikit, A. Dougherty, M. P. Camire, M. E. Briggs, J.: Ascorbic acid fortifica- tion reduces anthocyanins in extruded blueberry- corn cereals. *Journal of Food Science*, 68, 2003, pp. 2136–2140.
- [28] Emin, M. A. Mayer-Miebach, E. Schuch- mann, H. P.: Retention of carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT–Food Science and Technology*, 48, 2012, pp. 302–302.

References

- [1] Williams, C. L.: Dietary fiber in childhood. *Journal of Paediatrics*, 149, 2006, pp. S121–S130. DOI: 10.1016/j.jpeds.2006.06.066.
- [2] Havrlentova, M. Kraic, J.: Content of β -D-glucan in cereal grains. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45, 2006, pp. 97–103.
- [3] Huth, M. Dongowski, G. Gebhardt, E. Flamme, W.: Functional properties of dietary fibre enriched extrudates from barley. *Journal of Cereal Science*, 32, 2000, pp. 115–128. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0330.
- [4] Faraj, A. Vasanthan, T. Hoover, R.: The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*, 37, 2004, pp. 517–525. DOI: 10.1016/j.foodres.2003.09.015.
- [5] Sayago-Ayerdi, S. Tovar, J. Blancas-Beni- tez, F. J. Bello-Perez, L. A.: Resistant starch in common starchy foods as an alternative to increase dietary fibre intake. *Journal of Food and Nutrition Research*, 50, 2011, pp. 1–12.
- [6] Vasanthan, T. Gaosong, J. Yeung, J. Li, J.: Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 2002, pp. 35–40.
- [7] Altan, A. McCarthy, K. L. Maskan, M.: Evaluation of snack foods from barley-tomato pom- ace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84, 2008, pp. 231–242.
- [8] Stojceska, V. Ainsworth, P. Plunkett, A. Ibanoglu, S.: The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready to eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114, 2009, pp. 226–232.
- [9] Stojceska, V. Ainsworth, P. Plunkett, A. Ibanoglu, S.: The recycling of brewers processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47, 2008, pp. 469–479.
- [10] Lobato, L. P. Anibal, D. Lazaretti, M. M. Grossmann, M. V. E.: Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT–Food Science and Technology*, 44, 2011, pp. 933–939.
- [11] Esposito, F. Arlotti, G. Bonifati, A. M. Napolitano, A. Vitale, D. Fogliano, V.: Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by- products. *Food Research International*, 38, 2005, pp. 1167–1173.
- [12] Zhang, M. Bai, X. Zhang, Z.: Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*, 54, 2011, pp. 98–103.
- [13] Patil, R. T. Berrios, J. D. Tang, J. Swanson, B. G.: Evaluation of methods for expan- sion properties of legume extrudates. *Applied Engineering in Agriculture*, 23, 2007, pp. 777–783.
- [14] Shirani, G. Ganesharane, R.: Extruded products with fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering*, 90, 2009, pp. 44–52.
- [15] Meng, X. Threinen, D. Hansen, M. Driedger, D.: Effects of extrusion conditions on system param- eters and physical properties of a chickpea flour- based snack. *Food Research International*, 43, 2010, pp. 650–658.

- [16] Bisharat, G. I. Oikonomopoulou, V. P. Pana- giotou, N. M. Krokida, M. K. Maroulis, Z. B.: Effect of extrusion conditions on the structural pro- perties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 2013, pp. 1–14.
- [17] Larrea, M. A. Chang, Y. K. Bustos, F. M.: Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89, 2005, pp. 301–308.
- [18] Shih, M. Kuo, C. Chiang, W.: Effects of dry- ing and extrusion on colour, chemical composi- tion, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. *Food Chemistry*, 117, 2009, pp. 114–121.
- [19] Kris-Etherton, P. K. Hecker, K. D. Bona- nome, A. Coval, S. M. Binkosi, A. E. Hil- pert, K. F. Griel, A. E. Etherton, T. D.: Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, 113, 2002, pp. 71S–88S.
- [20] Mikulajova, A. Takacsova, M. Rapta, P. Brindzova, L. Zalibera, M. Nemeth, K.: Total phenolic contents and antioxidant capacities of cereal and pseudocereal genotypes. *Journal of Food and Nutrition Research*, 46, 2007, pp. 150–157.
- [21] Sharma, P. Gujral, H. S. Singh, B.: Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131, 2012, pp. 1406–1413.
- [22] Zielinski, H. Kozlowska, H. Lewczuk, B.: Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 2001, pp. 159–169.
- [23] Aguilera, Y. Estrella, I. Benitez, V. Este- ban, R. M. Martin-Cabrejas, M. A.: Bioactive compounds and functional properties of dehydrated bean flours. *Food Research International*, 44, 2011, pp. 774–780.
- [24] Camire, M. E. Dougherty, M. P. Briggs, J. L.: Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*, 101, 2007, pp. 765–770.
- [25] Camire, M. E. Chaovanalikit, A. Dougherty, M. P. Briggs, J.: Blueberry and grape anthocyanins as breakfast cereal colorants. *Journal of Food Science*, 67, 2002, pp. 438–441.
- [26] White, B. L. Howard, L. R. Prior, R. L.: Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2010, pp. 4037–4042.
- [27] Chaovanalikit, A. Dougherty, M. P. Camire, M. E. Briggs, J.: Ascorbic acid fortifica- tion reduces anthocyanins in extruded blueberry- corn cereals. *Journal of Food Science*, 68, 2003, pp. 2136–2140.
- [28] Emin, M. A. Mayer-Miebach, E. Schuch- mann, H. P.: Retention of β -carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT–Food Science and Technology*, 48, 2012, pp. 302–302.

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>Лукьянова Елизавета Александровна магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 E-mail: liza-lukyanova-97@mail.ru</p>	<p>Luk'yanova Elizaveta Aleksandrovna undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University E-mail: liza-lukyanova-97@mail.ru</p>