

## Влияние содержания белка и условий экструзии на физические свойства экструдатов

Фролов Д.И., Кудрина А.Н.

**Аннотация.** С развитием технологии экструзии особое внимание уделяется обогащению экструдированных продуктов различными ингредиентами, такими как белки, пищевые волокна или биологически активные соединения. Физические и сенсорные свойства экструдатов сильно зависят от добавления ингредиентов, богатых белками или клетчаткой. Параметры экструзии, такие как температура, скорость шнека и содержание воды, имеют решающее значение для получения приемлемого продукта. В этой статье представлен обзор исследований и достижений в области использования различного сырья, улучшающего пищевую ценность экструдированных пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** экструзия, экструдат, белок, пищевые волокна.

**Для цитирования:** Фролов Д.И., Кудрина А.Н. Влияние содержания белка и условий экструзии на физические свойства экструдатов // Инновационная техника и технология. 2019. № 3 (20). С. 29–35.

## Effect of protein content and extrusion conditions on the physical properties of extrudates

Frolov D.I., Kudrina A.N.

**Abstract.** With the development of extrusion technology, special attention is paid to the enrichment of extruded products with various ingredients, such as proteins, dietary fiber or biologically active compounds. The physical and sensory properties of the extrudates are highly dependent on the addition of protein or fiber rich ingredients. Extrusion parameters, such as temperature, screw speed and water content, are critical to obtaining an acceptable product. This article provides an overview of research and advances in the use of various raw materials that improve the nutritional value of extruded foods.

**Keywords:** extrusion, extrudate, protein, dietary fiber.

**For citation:** Frolov D.I., Kudrina A.N. Effect of protein content and extrusion conditions on the physical properties of extrudates. Innovative Machinery and Technology. 2019. No.3 (20). pp. 29–35. (In Russ.).

### Введение

Экструзия представляет собой термомеханическую обработку, которая объединяет несколько операций, включая смешивание, замешивание, резку, транспортировку, нагрев, охлаждение, формование, частичную сушку или вспучивание, в зависимости от используемого материала и оборудования. Пищевые экструдеры относятся к оборудованию, способному выполнять приготовление пищи под высоким давлением. Это играет положительную роль, так как воздействие высоких температур в течение короткого времени ограничит нежелательные эффекты денатурации на белки, аминокислоты, витамины, крахмал и ферменты. Наиболее используемым сырьем в процессе экструзии являются материалы на основе крахмала и белка, которые формируют

структуру экструдированных продуктов. Большинство продуктов, таких как сухие завтраки, закуски и печенье, получают из крахмала, в то время как белок используется для производства продуктов с характеристиками, которые используются в качестве полной или частичной замены мяса в готовых блюдах и сушеных продуктах. Экструдированные продукты состоят в основном из зерновых, крахмалов и / или растительных белков. Основная роль этих ингредиентов состоит в том, чтобы придать структуру, текстуру, ощущение во рту, объем и многие другие характеристики, требуемые для конкретных готовых продуктов. Хотя кукурузный крахмал обеспечивает все возможности для производства высокоприемлемых экструдированных закусочных продуктов, его пищевая ценность дале-

ка от удовлетворения потребностей потребителей, заботящихся о своем здоровье.

Функциональная пища представляет собой свежую или обработанную пищу, которая обладает свойством, способствующим укреплению здоровья и / или профилактике заболеваний, помимо основной функции поставки питательных веществ. Эти продукты могут помочь предотвратить заболевание, снизить риск развития заболевания или укрепить здоровье. Функциональные продукты также могут быть полезны для повышения доступности питательных веществ путем предоставления определенных пищевых компонентов в пищевых продуктах, которые повысят их доступность и вкусовые качества по сравнению с теми, которые обычно потребляются. Функциональные продукты представляют собой одну из самых интересных областей исследований и инноваций в пищевой промышленности. Экструзия является гибкой в производстве новых продуктов, таких как зерновые детские продукты, сухие завтраки, закуски, хлебобулочные изделия или макаронные изделия. Чтобы объединить потребность в готовых к употреблению продуктах и потребность в потреблении ценных продуктов, в экструдированные смеси добавляются полезные ингредиенты.

Актуальным вопросом является то, готовы ли потребители принимать функциональные продукты, которые на вкус хуже, чем соответствующие обычные продукты, и если да, то каковы их профиль и каковы факторы, определяющие их готовность идти на компромисс по вкусу. Добавление в крахмал альтернативных ингредиентов с высоким содержанием клетчатки и высоким содержанием белка значительно влияет на текстуру, расширение и общую приемлемость экструдированных закусок. Экструдированные продукты могут способствовать снижению веса, добавляя в продукты диетическое волокно и устойчивый крахмал, или могут влиять на здоровье сердца, добавляя антиоксиданты и минимизируя жир, или могут способствовать иммунной защите путем добавления инулина и молочного белка.

Целью данной работы является обзор исследований, охватывающих различные аспекты обогащения экструдатов, с акцентом не только на улучшение питания, но также на физические и сенсорные свойства экструдатов.

#### **Улучшение содержания белка в экструдатах**

Сырье, обычно используемое для экструзии, содержит значительные количества белка, которые варьируются от 6% до 10% в различных видах муки, таких как ячменная, кукурузная, рисовая, ржаная и пшеничная мука. Соевые и сывороточные белки используются для обогащения белков экструдатов.

Питательная ценность белка зависит от количества, усвояемости и наличия незаменимых аминокислот. Перевариваемость считается важ-

нейшим фактором, определяющим качество белка у взрослых. Пищевая ценность растительных белков обычно повышается благодаря мягким условиям экструзии, благодаря увеличению усвояемости. Вероятно, это является результатом денатурации белка и инактивации ингибиторов ферментов, присутствующих в сырой растительной пище. Дисульфидные связи участвуют в стабилизации нативных третичных конфигураций большинства белков. Их разрушение во время экструзии способствует разворачиванию белка и, таким образом, усвояемости. Дисульфидные связи разрушаются и реформируются, а новые электростатические и гидрофобные взаимодействия способствуют образованию агрегатов. Агрегация субъединиц соевого белка в экструдированных образцах показала, что гидрофобные взаимодействия, водородные связи, дисульфидные связи и их взаимодействия в совокупности удерживают структуру экструдата. Увеличение содержания влаги в пище может увеличить взаимодействия между дисульфидными связями и водородными связями, а также между дисульфидными связями и гидрофобными взаимодействиями, снизить степень агрегации и разницу в белок-белковых взаимодействиях и белковых субъединицах между различными зонами в экструдере. Увеличение удельной механической энергии может увеличить степень распада агрегатов соевого белка и увеличить долю меньшей фракции, что указывает на то, что белок был диссоциирован / деполимеризован механическим сдвигом при экструзионной варке [1].

Одним из основных препятствий в использовании культур, богатых белком, является наличие ряда антипищевых соединений, в частности ингибитора трипсина, фитиновой кислоты и дубильных веществ. Экструзионная варка является одним из эффективных методов инактивации ингибитора трипсина и других антинутриентных веществ в пищевых продуктах [2].

#### **Добавление соевого белка и белков других бобовых**

В настоящее время происходит переоценка диетического потребления семян бобовых. Соевые белки широко используются в качестве функционального ингредиента во многих обработанных пищевых продуктах из-за их способности образовывать гели с высокими пищевыми, сенсорными и физиологическими качествами. Использование растительных белков, таких как соевый белок, вместо животных белков является более дешевой и более жизнеспособной стратегией вмешательства для снижения риска ишемической болезни сердца [3]. Исследования на животных и людях показали, что присутствие сои в рационе улучшает здоровье сердечно-сосудистой системы и оказывает особенно благоприятное воздействие на людей с повышенным содержанием липопротеинов низкой плотности и гиперлипидемией [4].

Соевые бобы содержат примерно 42% белков, 20% липидов, 33% сахаридов и 5% золы в сухом виде [5]. Важным вопросом является то, делает ли добавление соевых белков физические и сенсорные свойства экструдатов допустимыми для потребления. Обогащение зерновых закусок соей, естественно, оказывает положительное влияние на химические свойства. С другой стороны, это негативно влияет на физические и, следовательно, сенсорные характеристики. Некоторые примеры приведены в таблице 1. Добавление сои в экструзионную смесь привело к плохой текстуре продукта и, как следствие, к снижению восприятия потребителем. Пористая текстура и хрупкость образцов были улучшены соевой мукой.

Соевый белковый концентрат образует небольшие однородные поры в экструдированных продуктах после выдавливания из матрицы, так как соевый белковый концентрат может работать как высококачественный эмульгатор между гидрофильными и гидрофобными материалами, подвергая гидрофильные и гидрофобные группы воздействию их соответствующих фаз. Толщина стенки пор становится тоньше, когда количество соевого белкового концентрата увеличивается, а соевый белковый концентрат поглощает большое количество воды. Таким образом, логично ожидать увеличения объемной плотности экструдатов с увеличением содержания белка и влаги. Продукт высокой плотности, естественно, обеспечивает высокое разрушающее напряжение, потому что мембрана экструдатов с воздушными ячейками становится более твердой из-за высокого содержания концентрата соевого белка [6].

Роль крахмала и белков в составных составах для экструдированных закусок также следует учитывать [7]. Желатинизация крахмала при экструзионной обработке оказывает большое влияние на объемную плотность экструдатов. Низкая температура обработки снижает степень желатинизации, что приводит к малому набуханию, низкому объему и большой плотности [6]. Взаимодействия крахмала с белком также, вероятно, играют важную роль в воздействии на расширение либо косвенно через удельную механическую энергию (УМЭ), либо непосредственно путем разрушения непрерывной матрицы крахмала и, таким образом, уменьшения растяжимости клеточных стенок. Индекс водопоглощения и индекс водорастворимости связаны со степенью фрагментации крахмала. Более высокий индекс водопоглощения указывает на наличие более крупных фрагментов крахмала, в то время как более высокий индекс водорастворимости означает, что крахмал был декстринизирован. В целом, индекс водопоглощения снижается с увеличением уровня концентрата соевого белка, главным образом из-за снижения содержания крахмала. Индекс водорастворимости, по-видимому, увеличивается с увеличением содержания соевого белка. Добавление соевого белкового концентрата также подавля-

ло УМЭ, в частности на уровне до 10%. На этом уровне падение вязкости расплава из-за содержания липидов и волокон в концентрате соевого белка вызвало снижение УМЭ. Помимо 10% концентрата соевого белка, эффекты взаимодействия с белками оказывали повышенное влияние, противодействуя воздействию липидов и клетчатки [7].

Смешивание различных ингредиентов для получения экструдированного готового к употреблению продукта с использованием процесса экструзии затруднено. Овсяные отруби, например, имеют высокий уровень липидов и растворимой камеди. Комбинация овсяных отрубей, соевой муки и кукурузного крахмала хороша для получения экструдата с высоким содержанием клетчатки и белка, но снижает уровень крахмала в смеси, что нежелательно из-за результирующего повышения твердости. Добавление инулина показало положительное влияние на экструзию смеси. Инулин имеет низкую степень полимеризации и может оказывать смазывающий эффект, который необходим для придания смеси текучести во время экструзии [8].

Лизин является лимитирующей незаменимой аминокислотой в злаках. Экструзия системы соя-сладкий картофель может способствовать реакции Майяра и, конечно, потере лизина из-за присутствия, как восстанавливающих сахаридов, так и эпсилон-аминогруппы лизина. Потери более выражены при повышении уровня добавления сои, так как в нем больше лизина, чем в сладком картофеле. Увеличение скорости шнека увеличивает удержание лизина, возможно, из-за уменьшения времени пребывания смеси в экструдере [9]. Во время экструзии смеси на основе риса, обогащенного белком, увеличение влажности сырья и снижение температуры увеличивало удержание лизина, но лучшее расширение было при низкой влажности и высоких температурах. Интересно, что содержание белка и влаги в сырье и температура цилиндра экструдера не оказали существенного влияния на содержание цистеина и метионина [10].

Высокие температуры в экструдере и низкая влажность способствуют реакциям Майяра во время экструзии. Восстанавливающие сахариды, в том числе образующиеся при сдвиге крахмала и сахарозы, могут реагировать с лизином, тем самым снижая пищевую ценность белка.

Включение дисахаридов в составы на основе сои для экструзии приводит к снижению значений УМЭ, и цвет продукта меняется в зависимости от используемого дисахарида.

Мало что известно о влиянии концентрата соевого белка и кислотно-гидролизованых растительных белков в качестве ингредиентов на запах экструдированных продуктов на основе зерновых. Сохранение соединений, ответственных за эти запахи ингредиента, может повлиять на приемлемость конечного продукта. Кроме того, взаимодействие зерновой основы с нелетучими компонентами, такими как аминокислоты и жирные кислоты,

во время экструзии может привести к образованию дополнительных запахов.

Бобовые – дешевый и ценный потенциальный источник белка хорошего качества. Питательная ценность белков бобовых низка по сравнению с белками животных. Это связано с плохой усвояемостью, дефицитом серных аминокислот и наличием антипитательных соединений. Экструзионная варка бобовых культур позволяет снизить антипищевые факторы и, следовательно, улучшает качество питания при меньших затратах, благодаря более эффективному использованию энергии. Экструзионная варка бобовых, таких как фасоль, горох, нут и фасоль, улучшает усвояемость белка *in vitro*, повышает доступность фосфора, снижает содержание танинов и полифенолов и устраняет ингибиторы трипсина и  $\beta$ -амилазы. Обработка вымоченных бобовых культур экструзией при 140 или 180 °С при влажности 22% улучшает питательную ценность бобовых. Экструзионная варка представляет особый интерес для включения «трудно перерабатываемых» бобов в зерновые культуры. Смесь качественной протеиновой кукурузы и «трудно перерабатываемых» бобов (60: 40) была экструдирована при 155 °С, 170 °С и 185 °С и влажности 155 г/кг, 175 г/кг и 195 г/кг. Повышенная усвояемость белка наблюдалась при обеих испытанных температурах (155 °С и 170 °С). Доступное содержание лизина снизилось на 17,3% при 155 °С и на 26,9% при 170 °С [14]. Химический состав злаковых смесей зависит также от типа злаков. Например, изменения в содержании лейцина и валина зависят от типа злаков: в образцах кукурузы содержание лейцина было выше, чем в образцах риса, но добавление диких бобовых не оказало значительного влияния. С другой стороны, изменения в содержании лизина зависят как от типа злаков, так и от типа бобовых. Образцы риса показали более высокие значения лизина, чем образцы кукурузы, и добавление бобовых значительно увеличило содержание лизина [15].

#### **Добавление сывороточного белка в экструдаты**

Сывороточные белки представляют собой глобулярные молекулы со значительным содержанием мотивов  $\alpha$ -спирали, в которых кислотные / основные и гидрофобные / гидрофильные аминокислоты распределены довольно сбалансированным образом вдоль их полипептидных цепей. Различные белки в молочной сыворотке в порядке их содержания –  $\beta$ -лактоглобулин,  $\alpha$ -лактальбумин, протеоза, пептон, иммуноглобулины, бычий сывороточный альбумин, лактоферрин и лактопероксидаза.  $\beta$ -лактоглобулин более чувствителен к экструзионной обработке, чем  $\alpha$ -лактальбумин, особенно с повышенным содержанием влаги. Эти белки обладают многими биологическими активностями: профилактика рака, повышение уязвимости опухолевых клеток, антимикробная активность и иммуномоду-

ляция [16]. Сывороточные белки и аминокислотные добавки занимают сильные позиции на рынке спортивного питания, основываясь на предполагаемом качестве белков и аминокислот, которые они обеспечивают. Несколько исследований подтверждают идею о том, что для стимуляции синтеза мышечного белка необходимы только незаменимые аминокислоты, и предполагают, что белки, которые обеспечивают большую часть этих аминокислот, будут эффективными для стимулирования роста мышц [17]. Сывороточный белок не только является хорошим источником аминокислот, но и богатым источником биологически активных пептидов, образующихся при его переваривании. Пептиды короче четырех остатков могут пересекать межклеточные соединения и достигать кровотока, тогда как более крупные пептиды могут транспортироваться через транспортную систему, опосредованную транспортерами пептидов [18].

Тенденция к диете с высоким содержанием белка и низким содержанием сахаров может способствовать увеличению использования сывороточного белка. Экструдированный сывороточный белок обладает уникальными свойствами в качестве пищевого ингредиента, он более поддается введению в пищевые продукты.

Содержание влаги в смесях концентрата белка молочной сыворотки также влияет на расширение. Особенно твердые экструдаты, полученные при водопоглощении 14,3 л/ч, когда уровни концентрата сывороточного белка составляли 15% и 22,5%. Эти образцы показали неравномерное распределение воды и белков после экструзии, поскольку регулярная структура кукурузной муки, воды и белков не могла быть сформирована [19]. Влияние экструзионной обработки на расширение экструдата в значительной степени зависит от муки, и свойства экструдата, как правило, непредсказуемы, когда молочные белки включены в муку. Исследователи показали, что замена концентрата сывороточного белка (250 г/кг и 500 г/кг) на кукурузную, картофельную или рисовую муку уменьшает расширение, но в некоторых более ранних работах сообщалось, что замена концентрата сывороточного белка (200 г/кг) для рисовой муки увеличило расширение экструдата. Тот же автор показал, что, уменьшая влажность, удельная механическая энергия увеличивалась, что увеличивало расширение продукта. Отрицательные текстурные показатели, связанные с включением сывороточных продуктов, можно значительно улучшить, добавив клетчатку из пшеничных отрубей по 125 г/кг. Добавление клетчатки улучшило УМЭ наряду с улучшением качественных характеристик продукта [20].

Размер частиц также влияет на экструзию смесей сывороточного белка. Использование фракций кукурузной муки, которые приближались к размеру частиц добавленного концентрата сывороточного белка, приводило к увеличению вязкости в экструдере, что увеличивало степень расширения

и пористость готового продукта. При температуре 105–130 °С, скорости шнека 31,4 рад/с и влажности 8,5% расширение наименьшей фракции (<250 мкм) было эквивалентно или больше, чем экструдат, полученный из одной кукурузной муки [21].

Общий цвет экструдатов имеет тенденцию к коричневатому с увеличением содержания сывороточного белка. Известно, что основной причиной разницы в цвете является реакция Майяра между восстанавливающими сахарами (лактозой, декстринизированным крахмалом) и сывороточными белками. Добавление сывороточных продуктов на 25% в кукурузную, картофельную и рисовую муку приводило к увеличению общей цветовой разницы; добавление сывороточных продуктов на 50% осветляло цвет [22].

## Выводы

Обогащение экструдированных продуктов питательно-ценными ингредиентами практикуется все чаще. Включение ингредиентов, богатых белковыми или волокнистыми волокнами, влияет на физические свойства экструдатов, но это влияние не может быть обобщено, поскольку оно сильно зависит от злаков и используемого дополнительного материала. Оптимизация параметров процесса, таких как температура, содержание влаги или скорость шнека, является ключом к разработке питательных экструдированных продуктов с положительным восприятием потребителем. Хотя в этом обзоре обобщены результаты многих исследований по этой теме, от исследований до коммерческого производства такого рода продуктов еще далеко.

## Список литературы

- [1] Fang, Y. Zhang, B. Wei, Y. Li, S.: Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering. *Journal of Food Engineering*, 115, 2013, pp. 220–225. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.10.017.
- [2] van den Haut, R. Jonkers, J. van Vilet, T. van Zuilchem, D. J. van 'T Riet, K.: Influence of extrusion shear forces on the inactivation of trypsin inhibitors in soy flour. *Food and Bioproducts Processing*, 76, 1998, pp. 155–161. DOI: 10.1205/096030898531972.
- [3] Girgih, A. T. Myrie, S. B. Aluko, R. E. Jones, P. J. H.: Is category A status assigned to soy protein and coronary heart disease risk reduction health claim by the United States Food and Drug Administration still justifiable? *Trends in Food Science and Technology*, 30, 2013, pp. 121–132. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.12.003.
- [4] Wang Y. Jones, P. J. H. Ausman, L. M. Lichtenstein, A. H.: Soy protein reduces triglyceride levels and triglyceride fatty acid fractional synthesis rate in hypercholesterolemic subjects. *Atherosclerosis*, 173, 2004, pp. 269–275. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2003.12.015.
- [5] Zhang, J. Mungara, P. Jane, J.: Mechanical and thermal properties of extruded soy protein sheets. *Polymer*, 42, 2001, pp. 2569–2578. DOI: 10.1016/S0032-3861(00)00624-8.
- [6] Yu, L. Ramaswamy, H. S. Boye, J.: Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. *LWT—Food Science and Technology*, 50, 2013, pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.05.012.
- [7] De Mesa, N. J. Alavi, S. Singh, N. Shi, V. Dogan, H. Sang, Y.: Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90, 2009, pp. 262–270. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.032.
- [8] Lobato, L. P. Anibal, D. Lazaretti, M. M. Grossman, M. V. E.: Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT—Food Science and Technology*, 44, 2011, pp. 933–939. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.013.
- [9] Iwe, M. O. Zuilchem, D. J. Stolp, W. Ngoddy, P. O.: Effect of extrusion cooking of soy-sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates. *Journal of Food Engineering*, 62, 2004, pp. 143–150. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00212-7.
- [10] Chaikyakul, S. Jangchud, K. Jangchud, A. Wuttijumngong, P. Winger, R.: Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT—Food Science and Technology*, 42, 2009, pp. 781–787. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.09.011.
- [11] Obatolu Veronica, A. Omuetti Olusola, O. Adebowale, E. A.: Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of Food Processing Engineering*, 29, 2006, pp. 149–161. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2006.00054.x.
- [12] Li, S. Zhang, H. Q. Jin, Z. T. Hsieh, F.: Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 2005, pp. 731–741.
- [13] Da Costa, P. F. P. Ferraz, M. B. M. Ros Polski, V. Quast, E. Collares Queiroz, F. P. Steel, C. J.: Functional extruded snacks with lycopene and soy protein. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 30, 2010, pp. 143–151. DOI: 10.1590/S0101-20612010005000017
- [14] Ruiz-Ruiz, J. Martinez-Ayala, A. Drago, S. Gonzalez, R. Betancur-Ancona, D. Chel-Guerrero, L.: Extrusion

- of a hard to cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT– Food Science and Technology*, 41, 2008, pp. 1799–1807. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.01.005.
- [15] Pastor-Cavada, E. Drago, S. R. Gonzalez, R. J. Juan, R. Pastor, J. E. Alaiz, M. Vioque, J.: Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry*, 128, 2011, pp. 961–967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.03.126
- [16] Madureira, A. R. Pereira, C. I. Gomes, A. M. P. Pintado, M. E. Malcata, F. X.: Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties. *Food Research International*, 40, 2007, pp. 1197–1211. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.07.005.
- [17] Ha, E. Zemel, M. B.: Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 14, 2003, pp. 251–258. DOI: 10.1016/S0955-2863(03)00030-5.
- [18] Jakubowicz, D. Froy, O.: Biochemical and metabolic mechanisms by which dietary whey protein may combat obesity and Type 2 diabetes. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24, 2013, pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2012.07.008.
- [19] Brnčić, M. Karlović, S. Bosiljkov, T. Tripalo, B. Ježek, D. Cugelj, I. Obradović, V.: Enrichment of extruded snack products with whey proteins. *Mljekarstvo*, 58, 2008, pp. 275–295.
- [20] Onwulata, C. I. Konstance, R. P. Smith, P. W. Holsinger, V. H.: Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *LWT– Food Science and Technology*, 34, 2001, pp. 424–429. DOI: 10.1006/fstl.2000.0742.
- [21] Onwulata, C. I. Konstance, R. P.: Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 2006, pp. 475–487. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2005.00082.x.
- [22] Onwulata, C. I. Konstance, R. P. Smith, P. W. Holsinger, V. H.: Physical properties of extruded products as affected by cheese whey. *Journal of Food Science*, 63, 1998, pp. 814–818. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1998.tb17906.x.

## References

- [1] Fang, Y. Zhang, B. Wei, Y. Li, S.: Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering. *Journal of Food Engineering*, 115, 2013, pp. 220–225. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.10.017.
- [2] van den Haut, R. Jonkers, J. van Vilet, T. van Zuilchem, D. J. van 't Riet, K.: Influence of extrusion shear forces on the inactivation of trypsin inhibitors in soy flour. *Food and Bioproducts Processing*, 76, 1998, pp. 155–161. DOI: 10.1205/096030898531972.
- [3] Girgih, A. T. Myrie, S. B. Aluko, R. E. Jones, P. J. H.: Is category A status assigned to soy protein and coronary heart disease risk reduction health claim by the United States Food and Drug Administration still justifiable? *Trends in Food Science and Technology*, 30, 2013, pp. 121–132. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.12.003.
- [4] Wang Y. Jones, P. J. H. Ausman, L. M. Lichtenstein, A. H.: Soy protein reduces triglyceride levels and triglyceride fatty acid fractional synthesis rate in hypercholesterolemic subjects. *Atherosclerosis*, 173, 2004, pp. 269–275. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2003.12.015.
- [5] Zhang, J. Mungara, P. Jane, J.: Mechanical and thermal properties of extruded soy protein sheets. *Polymer*, 42, 2001, pp. 2569–2578. DOI: 10.1016/S0032-3861(00)00624-8.
- [6] Yu, L. Ramaswamy, H. S. Boye, J.: Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. *LWT–Food Science and Technology*, 50, 2013, pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.05.012.
- [7] De Mesa, N. J. Alavi, S. Singh, N. Shi, V. Dogan, H. Sang, Y.: Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90, 2009, pp. 262–270. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.032.
- [8] Lobato, L. P. Anibal, D. Lazaretti, M. M. Grossman, M. V. E.: Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT–Food Science and Technology*, 44, 2011, pp. 933–939. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.013.
- [9] Iwe, M. O. Zuilchem, D. J. Stolp, W. Ngoddy, P. O.: Effect of extrusion cooking of soy-sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates. *Journal of Food Engineering*, 62, 2004, pp. 143–150. DOI: 10.1016/S0260-8774(03)00212-7.
- [10] Chaiyakul, S. Jangchud, K. Jangchud, A. Wuttijumnong, P. Winger, R.: Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT–Food Science and Technology*, 42, 2009, pp. 781–787. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.09.011.
- [11] Obatolu Veronica, A. Omueti Olusola, O. Adebowale, E. A.: Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of Food Processing Engineering*, 29, 2006, pp. 149–161. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2006.00054.x.

- [12] Li, S. Zhang, H. Q. Jin, Z. T. Hsieh, F.: Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 2005, pp. 731–741.
- [13] Da Costa, P. F. P. Ferraz, M. B. M. Ros Polski, V. Quast, E. Collares Queiroz, F. P. Steel, C. J.: Functional extruded snacks with lycopene and soy protein. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 30, 2010, pp. 143–151. DOI: 10.1590/S0101-20612010005000017
- [14] Ruiz-Ruiz, J. Martinez-Ayala, A. Drago, S. Gonzalez, R. Betancur-Ancona, D. Chel-Guerrero, L.: Extrusion of a hard to cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT– Food Science and Technology*, 41, 2008, pp. 1799–1807. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.01.005.
- [15] Pastor-Cavada, E. Drago, S. R. Gonzalez, R. J. Juan, R. Pastor, J. E. Alaiz, M. Vioque, J.: Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry*, 128, 2011, pp. 961–967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.03.126
- [16] Madureira, A. R. Pereira, C. I. Gomes, A. M. P. Pintado, M. E. Malcata, F. X.: Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties. *Food Research International*, 40, 2007, pp. 1197–1211. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.07.005.
- [17] Ha, E. Zemel, M. B.: Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 14, 2003, pp. 251–258. DOI: 10.1016/S0955-2863(03)00030-5.
- [18] Jakubowicz, D. Froy, O.: Biochemical and metabolic mechanisms by which dietary whey protein may combat obesity and Type 2 diabetes. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 24, 2013, pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2012.07.008.
- [19] Brnčić, M. Karlović, S. Bosiljkov, T. Tripalo, B. Ježek, D. Cugelj, I. Obradović, V.: Enrichment of extruded snack products with whey proteins. *Mljekarstvo*, 58, 2008, pp. 275–295.
- [20] Onwulata, C. I. Konstance, R. P. Smith, P. W. Holsinger, V. H.: Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *LWT– Food Science and Technology*, 34, 2001, pp. 424–429. DOI: 10.1006/fstl.2000.0742.
- [21] Onwulata, C. I. Konstance, R. P.: Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 2006, pp. 475–487. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2005.00082.x.
- [22] Onwulata, C. I. Konstance, R. P. Smith, P. W. Holsinger, V. H.: Physical properties of extruded products as affected by cheese whey. *Journal of Food Science*, 63, 1998, pp. 814–818. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1998.tb17906.x.

## Сведения об авторах

## Information about the authors

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