

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРУДАТОВ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Фролов Д.И.

В настоящей статье рассмотрены достижения, достигнутые в разработке экструдированных продуктов из зернового сырья. Кроме того, проанализированы текущие тенденции использования экструдированной муки в качестве ингредиентов, таких как гидроколлоиды, заменителей жира и для разработки безглютеновых, богатых фенолом, низкогликемических и функциональных пищевых продуктов.

Ключевые слова: *экструзия, функциональные продукты, фенолы, гидроколлоиды, заменитель жира.*

Введение

В настоящее время спрос на новые и здоровые продукты привел к формированию довольно успешного рынка продуктов из цельного зерна, проса и бобовых. В этом контексте особого внимания при разработке новых продуктов заслуживает уникальный пищевой профиль этих злаков, включающий в себя пищевые волокна, микроэлементы, безглютеновые белки и фитохимические вещества. Однако использование необработанной или нативной муки обладает определенными недостатками. Нативные муки обладают плохими функциональными свойствами, что делает их непригодными для использования в определенных продуктах и часто требуют некоторой модификации или других ингредиентов, добавок для достижения желаемых результатов. Нативные муки характеризуются низким водопоглощением, низкой растворимостью и высокой склеивающей способностью по сравнению с обработанными аналогами. Включение нативной безглютеновой муки в хлебобулочные изделия пагубно влияет на технологические и текстурные свойства, особенно на плохую текстуру мякиша и более быстрое черствение. Этими дефектами можно управлять с помощью технологических добавок, таких как клейковина, гидроколлоиды, модифицированные крахмалы и ферменты.

Функциональные свойства нативной муки также могут быть улучшены путем гидротермических обработок, таких как экструзия; без использования каких-либо химических веществ. Экструзия представляет собой высокотемпературную, кратковременную технологию обработки, в которой пищевые материалы пластифицируются и готовятся путем сочетания температуры и механического сдвига под давлением. Это приводит к молекулярной трансформации и химическим реакциям, которые изменяют функциональные свойства, питательный и фитохимический состав пищи. Экструдированный продукт стабилен, обладает определенной текстурой и увеличенным сроком годности, что повышает их приемлемость. Интерес к использованию экструзии в

пищевой промышленности обусловлен тем, что она способна смешивать различные ингредиенты в новые продукты и, следовательно, может быть полезна при разработке функциональных продуктов [1]. Множество публикаций критически подчеркивают потенциал экструдированной муки как функциональных закусок, сухих завтраков, добавок в хлеб и т. д. [2–6]. Параллельно с увеличенными возможностями применения растут и физико-химические, функциональные и питательно-значимые эффекты обработки экструзией.

Целью настоящего исследования является обзор влияния экструзии на физико-химические (гидратационные), функциональные (антиоксиданты, фенолы) и вискозиметрические / склеивающие свойства зерновых и зернобобовых культур.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является обобщение современных тенденций и перспектив в расширении применения экструдированной муки в качестве ингредиентов и добавок для разработки качественных продуктов без глютена и с низким содержанием жира.

Результаты и их обсуждение

Во время экструзии муку подвергают высокотемпературному и деформационному сдвигу при относительно низких уровнях содержания влаги, что помогает эффективно модифицировать функциональность композитных зерновых смесей путем желатинизации и деградации крахмала, растворения диетических волокон, агрегации белка и инактивации антипитательных факторов. Процесс экструзии обеспечивает значительную возможность изменять скорость подачи, влажность, скорость вращения шнека и температуру внутри экструдера, подходящую для состава продукта, усиливая изменения их гидратационных свойств, текстур, биологически активных соединений и склеивающей способности (вискозиметрических свойств). Тем

не менее, степень модификаций зависит от уровня задействованных переменных процесса и выбора соответствующих условий обработки.

Экструдированные продукты характеризуются несколькими физико-химическими свойствами, такими как индекс водопоглощения, индекс растворимости в воде, индекс поглощения воды, индекс растворимости белка, индекс растворимости азота, способность к желатинизации, индекс растворимости эмульсии и т. д. В частности, такие гидратные свойства, как индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде, важны и предсказывают поведение материалов при дальнейшей обработке в экструдированные продукты. Изменение гидратационных свойств при экструзии может быть связано со структурными изменениями полимерных (крахмал и белок) и/или неполимерных (липидных) макромолекулярных компонентов. На эти свойства влияют главным образом размер и структура крахмальных гранул. Индекс водопоглощения указывает на количество воды, иммобилизованной крахмалом, и считается индикатором степени желатинизации крахмала. Высокие значения индекса водопоглощения являются хорошим показателем поврежденных фрагментов крахмала в конечном продукте. Принимая во внимание, что индекс растворимости в воде определяет количество высвободенных молекулярных компонентов из гранулы крахмала, тем самым отражает степень деградации и превращения молекулярных компонентов (крахмала, белков и волокна) при экструзии.

В общем, экструдированные продукты улучшают водопоглощение и растворимость по сравнению с их нативными аналогами из-за желатинизации крахмала. Желатинизированный крахмал обладает более высокой способностью поглощать воду, чем природные гранулы крахмала при комнатной температуре. Увеличение значения индекса водопоглощения, вероятно, связано с обнаружением гидрофильных групп в экструдированном крахмало-белковом материале, разворачиванием и рыхлением биополимерных цепей, что приводит к большей доступности и более легкому проникновению в структуры молекулами воды. Помимо крахмальной желатинизации, которая приводит к высвобождению амилозы и амилопектина, экструзия может также индуцировать декстринизацию и другие реакции, которые приводят к образованию низкомолекулярных соединений, увеличивая индекс растворимости в воде. Однако молекулярные взаимодействия между деградированным крахмалом, белками и липидами могут уменьшить степень увеличения. Усовершенствованные свойства гидратации экструдированных продуктов были подтверждены многочисленными исследователями.

Значения индекса водопоглощения и индекса растворимости в воде экструдированных продуктов зависят от нескольких факторов, таких как свойства сырья (размер частиц, состав), предварительной обработки и параметров обработки [7, 8]. Экструзион-

ные переменные, такие как влажность смеси, температура и скорость вращения шнека, значительно влияют на свойства гидратации. Интенсивность экструзии, высокая температура в стволе экструдера в сочетании с малой подачей и высокой влажностью смеси повышают гидратационные свойства. Общеизвестно, что влажность смеси оказывает наибольшее влияние на экструдат способствующая клейстеризации. При высокой влажности вязкость крахмала низкая, что обеспечивает обширное внутреннее перемешивание и равномерный нагрев, что объясняет усиленную клейстеризацию крахмала. Кроме того, эффект смазки при высокой влажности уменьшает трение между тестом смеси и винтовыми элементами, а также между тестом и стволом, что приводит к снижению температуры теста, что предотвращает серьезное механическое разрушение гранул крахмала. С другой стороны, условия низкой влажности приводят к большей деградации сдвига крахмала во время экструзии. Поэтому индекс водопоглощения увеличивается, а индекс растворимости в воде уменьшается с увеличением влажности смеси.

Наряду с влажностью обрабатываемого сырья и техническими параметрами экструдера на пористость получаемого экструдата существенное влияние оказывает давление воздуха в вакуумной камере экструдера [9–14].

Высокая температура, связанная с высокой скоростью вращения шнека, способствует разрыву и разрушению крахмальных гранул, способствуя высокой концентрации декстринизации / крахмала и коагуляции белка, которая преобладает над желатинизацией, тем самым повышая растворимость в воде. С другой стороны, низкая температура и скорость вращения шнека уменьшают эффект сдвига на гранулах крахмала, таким образом, благоприятствует процессу желатинизации и увеличивает индекс водопоглощения по сравнению с индексом растворимости в воде. Это объясняется высоким временем пребывания (при низкой скорости вращения шнека), подвергая материал воздействию высокой тепловой энергии, усиливающей разрушение крахмала и увеличивая индекс растворимости в воде.

Таким образом, понятно, что гидратационные свойства экструдированных продуктов в основном связаны между собой различными параметрами экструзии и композицией смеси, что отражает это изменение. Улучшенные индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде из экструдированной муки могут найти применение в таких продуктах питания, как детское питание, десерты, молочные продукты, колбаса, майонез, плавленый сыр, супы и т. д.

Доказано влияние экструзии на фенольные соединения цельнозерновых злаков, проса и зернобобовых, которые являются одним из совершенных источников биологически активных соединений, в том числе фенольных, флавоноидных соединений,

обладающих доказанным оздоровительным действием на организм человека. Основное внимание в исследованиях по-прежнему уделяется количественному определению фенолов и антиоксидантной активности сырых / необработанных зерен, которые не представляется оправданными, так как крупы и другие зерновые употребляются в пищу после варки или обработки. В последнее время фокус исследований сместился, и эффект экструзии на биоактивные вещества тщательно изучается.

Хранение или деградация фенолов, флавоноидов или других биоактивных веществ во время обработки экструзией зависит от температуры и других переменных, поскольку они чувствительны к теплу и изменяются при воздействии температуры выше 80°C. Высокая температура во время экструзии разлагает или изменяет молекулярную структуру фенольных соединений, что может дополнительно привести к снижению их химической реакционной способности или экстрагируемости. Сообщается о значительном снижении общего количества фенолов в экструдированной цельной муке из гороха, нута и фасоли. Экструзия при высоком содержании влаги удерживала большее количество фенолов при низкой температуре, чем высокой температуре. Тем не менее, экструзия при высокой влажности смеси, низкой температуре и высокой скорости вращения шнека сохранила значительный процент биоактивных веществ. Аналогичные результаты были также обнаружены в экструдатах из рисового теста и экструдированной ячменной муке. Авторы заметили, что снижение биоактивных соединений зависит от состояния процесса. Высокая влажность корма во время экструзии защищает фенольные соединения от деградации из-за мягкой обработки в цилиндре экструдера [15, 16].

Интересно, что некоторые исследования показали заметное увеличение свободных / связанных фенольных соединений после экструзии. Установлено, что фенольное содержание экструдированных темно-красных бобов увеличивается на 14% за счет увеличения содержания кверцетина и феруловой кислоты при значительном снижении содержания хлорогеновой и кофейной кислот [17]. Аналогичные результаты были изложены другими исследователями, что показывает увеличение общего количества фенольных соединений в экструдированном крахмале [18]. Исследованы изменения в клюквенных жмыхово-кукурузных крахмальных смесях при экструзии и отмечено значительное увеличение (30-34%) общего количества флавонолов. Также сообщалось об увеличении общего содержания флавоноидов (4,1–8,2%) в экструдированном нуте. Большинство фенольных соединений (> 80%) в зерновых и просе связаны или прикреплены в основном к гемицеллюлозам в клеточных стенках околоплодника, слоя алейронов и зародышей. Высокий сдвигающий эффект, вызванный экструзией, вызывает сильную деградацию конденсированных танинов и связанных фенолов с низкомолекуляр-

ными олигомерами, которые являются более экстрагируемыми. Выделенные связанные фенолы с клеточных стенок могут способствовать высокому фенольному содержанию в экструдированной муке [19].

Общая антиоксидантная активность пищи в основном обеспечивается присутствующими фенольными соединениями. Следуя этому факту, антиоксидантная активность должна быть сильно коррелирована с фенольными соединениями, снижаясь одновременно с фенольными соединениями после экструзии. Изложены значительные потери в антиоксидантной активности (от 60 до 68%) экструдатов ячменя по сравнению с необработанной ячменной мукой. Исследование экструдированного коричневого риса также показало, что экструзия и повышение температуры экструзии снижают общее содержание фенола и антиоксидантную активность. Известно, что термическая обработка изменяет структуру антиоксидантов и генерирует больше антиоксидантов, которые вносят вклад в антиоксидантную активность [20].

Рассмотренная литература показывает, что общая изменчивость термической стабильности фенолов, флавоноидов и антиоксидантов в первую очередь объясняется природой смеси, подвергнутой экструзии. Высокое сохранение биоактивных веществ в экструдированной муке, как это было отмечено в некоторых исследованиях, продемонстрировало их огромный потенциал в качестве здорового ингредиента для разработки готовых к употреблению фенольных и антиоксидантных продуктов.

Кривые вязкости являются наиболее полезным инструментом для быстрой и воспроизводимой оценки качества экструзионной варки муки. Вязкостные свойства в основном зависят от жесткости гранул крахмала, которые, в свою очередь, влияют на потенциал набухания гранул и количество выщелачивания амилозы в растворе. Он дает представление о степени модификации крахмалов при термической обработке в условиях влажности. Эти изменения являются резкими в случае экструзии, поскольку генерируемые сдвиговые силы являются высокими. Склеивающие свойства экструдированной муки определяют их пригодность для различных пищевых продуктов, а именно: высоковязкие пищевые продукты, как хороший желирующий агент, в десертных и других пищевых рецептурах и могут заменить химически модифицированные крахмалы, которые в настоящее время используются в ряде продуктов. В связи с этим необходимо изучить свойства склеивания муки, подверженной экструзии, на предмет их применимости в пищевых системах.

Общее соотношение белка, крахмала и амилозы/амилопектина оправдывает различия в склеивающих свойствах муки. На склеивающие свойства также влияет содержание амилозы крахмала, так как оно указывает на желирующую способность

крахмала. Нативные крахмалы более восприимчивы к изменениям вязкости во время цикла нагрева и охлаждения, чем предварительно желатинизированная мука, поэтому имеют высокий профиль склеивания.

Исследования свойств склеивания экструдированной муки показывают снижение реакции модификации в поведении склеивания. Экструдированная мука обычно имеет более низкий профиль склеивания, чем нативная мука, за исключением начальной вязкости. Высокая начальная вязкость экструдированной муки обусловлена наличием клейстеризованного крахмала, что позволяет проводить быструю гидратацию по сравнению с нативным крахмалом при комнатной температуре. Это важно для продуктов, требующих более высокой вязкости в холодных условиях [21].

Высокие свойства склеивания, такие как пиковая вязкость, прочность на сжатие, вязкость пробы, конечная вязкость и снижение нативной муки, указывают на высокую целостность их крахмальных гранул, демонстрируя большую устойчивость к сдвигу в течение цикла нагрева. В то время как снижение приклеивания свойств экструдированной муки отражает более высокую степень желатинизации в сочетании с разложением крахмала из-за чистого эффекта тепловой влажностно-механической энергии, применяемой во время процесса экструзии. Отсутствие остаточной энтальпии желатинизации в муке после экструзии объясняет более высокую стабильность пасты. Однако условия экструзии оказывают различное влияние на параметры вставки. Повышение температуры и скорости вращения шнека обычно снижает вязкость, тогда как увеличение влажности увеличивает максимальную и конечную вязкость. Это имеет прямые последствия с серьезностью обработки экструзией. Если обработка не является настолько серьезной, определенный процент гранул крахмала может сохранять свою структуру, представляя относительно высокие значения вязкости пасты, так как большая часть крахмальных гранул находится в распухом состоянии [22].

Температура склеивания - это минимальная температура, необходимая для приготовления крахмала и, как правило, уменьшается после экструзии. Низкая температура склеивания и, следовательно, низкая термическая стойкость предварительно желатинизированной муки в основном из-за разрушения

гранул крахмала, потери целостности гранулята и кристалличности. Однако в некоторых случаях экструзия может увеличить область кристалличности в результате переориентации крахмальных гранул, усиления внутригранулярных связанных сил, что позволяет крахмалу требовать больше тепла до структурного распада и, следовательно, может вызвать увеличение температуры вспенивания.

В общем, экструзия изменяет склеивающее поведение муки, производство более стабильных паст с низкой тенденцией ретроградации. Уникальное вязкоупругое поведение и более высокая стабильность пасты экструдированной муки могут быть выгодно использованы в различных рецептурах продукта. Экструдированная мука содержит желатинизированный крахмал, который обеспечивает быструю гидратацию и может быть использован в качестве растворимого крахмала. Экструдированная мука с высокой пиковой вязкостью может быть пригодна для продуктов, требующих высокой прочности и эластичности геля. Низкая тенденция ретроградации экструдированной муки представляет интерес для детских продуктов и напитков.

Выводы

Основываясь на последних исследованиях, можно с уверенностью сказать, что экструзия - поистине многообещающая универсальная технология, и ее следует рассматривать в более широкой перспективе как новый способ сделать качественные функциональные продукты за пределами традиционных экструдированных закусок. Экструзия предлагает прекрасную возможность изменять свойства гидратации и улучшать стабильность пасты и функциональность пищевых смесей путем адаптации условий обработки. Улучшенная функциональность экструдированной муки может быть эффективно использована при разработке новых безглютеновых, высоковязких, высокофенольных, обогащенных минералами, обезжиренных и низкогликемических продуктов. Экструдированная мука имитирует свойства гидроколлоидов и поэтому может быть использована в качестве альтернативы синтетическим гидроколлоидам. Дальнейшие исследования по данной тематике могут быть полезны для разработки инновационных продуктов, ориентированных на меняющиеся потребности потребителей.

Список литературы

- [1] Фролов Д.И. Оптимизация компонентного состава функциональных продуктов питания, оказывающих благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему // Инновационная техника и технология. 2015. № 2 (03). С. 12–15.
- [2] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [3] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 36–40.

- [4] Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // *Нива Поволжья*. 2014. № 30. С. 70–76.
- [5] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу 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.
- [6] Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. № 4. С. 79–83.
- [7] Фролов Д.И. Оптимизация смесей с сбалансированным биохимическим составом и возможностями для их экструзии // *Инновационная техника и технология*. 2016. № 3 (08). С. 18–26.
- [8] Фролов Д.И. Пробиотические продукты с многофункциональным композиционным составом // *Инновационная техника и технология*. 2017. № 1 (10). С. 44–51.
- [9] Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013. № 4. С. 94–99.
- [10] Фролов Д.И., Курочкин А.А. К вопросу совершенствования экструзионных технологий // *Инновационная техника и технология*. 2015. № 2 (03). С. 18–23.
- [11] Функциональный композит на основе экструдированной смеси пшеницы и семян тыквы / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // *Инновационная техника и технология*. 2015. № 2 (03). С. 5–11.
- [12] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. № 4. С. 70–74.
- [13] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. № 3 (42). С. 104–111.
- [14] Курочкин А.А., Шабурова Г.В., Фролов Д.И. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2014. № 6 (22). С. 109–114.
- [15] Gat, Y. and Ananthanarayan, L. (2015). Physicochemical, phytochemical and nutritional impact of fortified cereal-based extrudate snacks. *Nutrafoods*, 14, 141–149.
- [16] Sharma, P., Gujral, H. S., and Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chem.*, 131, 1406–1413.
- [17] Korus, J., Gumul, D., and Czechowska, K. (2007). Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technol. Biotechnol.*, 45, 139–146.
- [18] White, B. L., Howard, L. R., and Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *J. Agri. Food Chem.*, 58, 4037–4042.
- [19] Nayak, B., Liu, R. H., Berrios, J. D., Tang, J. M., and Derito, C. (2011). Bioactivity of Antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry Pea Flours. *J. Agril. Food Chem.*, 59, 8233–8243.
- [20] Gujral, H. S., Sharma, P., Kumar, A., and Singh, B. (2012). Total phenolic content and antioxidant activity of extruded brown rice. *Int. J. Food Prop.*, 15, 301–311.
- [21] Sun, Q. and Xiong, C. S. L. (2014). Functional and pasting properties of pea starch and peanut protein isolate blends. *Carbo. Polym.*, 101, 1134–1139.
- [22] Repo-Carrasco-Valencia, R., Acevedo de La Cruz, A., Icochea Alvarez, J. C., and Kallio, H. (2009). Chemical and functional characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods Human Nutr.*, 64, 94–101.

CURRENT TRENDS AND PROSPECTS FOR THE USE OF EXTRUDATES IN FUNCTIONAL FOODS

Frolov D.I.

This article discusses the achievements made in the development of extruded products from grain raw materials. In addition, current trends in the use of extruded flour as ingredients such as hydrocolloids, fat replacers and for the development of gluten-free, phenol-rich, low-glycemic and functional foods are analyzed.

Keywords: *extrusion, functional products, phenols, hydrocolloids, fat substitute.*

References

- [1] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Polikomponentnyi ekstrudat na osnove zerna pshenitsy i semyan rastoropshi pyatnistoi // *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2015. No. 4. pp. 76–81.
- [2] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Tekhnologiya proizvodstva kormov na osnove termo-vakuumnoi obrabotki otkhodov s/kh proizvodstva // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2014. No. 4 (01). pp. 36–40.
- [3] Kurochkin A.A., Shaburova G.V., Frolov D.I. Poluchenie ekstrudatov krakhmalsoderzhashchego zernovogo syr'ya s zadannoi poristost'yu // *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*. 2014. No. 6 (22). pp. 109–114.
- [4] Modelirovanie protsessa polucheniya ekstrudatov na osnove novogo tekhnologicheskogo resheniya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // *Niva Povolzh'ya*. 2014. No. 30. pp. 70–76.
- [5] Optimizatsiya sostava zernoproduktov pri poluchenii pivnogo susla s ispol'zovaniem ekstrudirovannogo yachmenya / G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, D.I. Frolov // *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus*. 2014. No. 6 (22). pp. 103–109.
- [6] Perspektivy ispol'zovaniya ekstrudirovannoi grechikhi v pivovarenii i khlebopechenii / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2014. No. 4. pp. 79–83.
- [7] Regulirovanie struktury ekstrudatov krakhmalsoderzhashchego zernovogo syr'ya / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2013. No. 4. pp. 94–99.
- [8] Frolov D.I., Kurochkin A.A. K voprosu sovershenstvovaniya ekstruzionnykh tekhnologii // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2015. No. 2 (03). pp. 18–23.
- [9] Frolov D.I. Optimizatsiya komponentnogo sostava funktsional'nykh produktov pitaniya, okazyvayushchikh blagotvornoe vliyanie na serdechno-sosudistuyu sistemu // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2015. No. 2 (03). pp. 12–15.
- [10] Frolov D.I. Optimizatsiya smesei s sbalansirovannym biokhimicheskim sostavom i vozmozhnostyami dlya ikh ekstruzii // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2016. No. 3 (08). pp. 18–26.
- [11] Frolov D.I. Probioticheskie produkty s mnogofunktsional'nym kompozitsionnym sostavom // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2017. No. 1 (10). pp. 44–51.
- [12] Funktsional'nyi kompozit na osnove ekstrudirovannoi smesi pshenitsy i semyan tykvy / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2015. No. 2 (03). pp. 5–11.
- [13] Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym soderzhaniiem lipidov / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2014. No. 4. pp. 70–74.
- [14] Ekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ya s povyshennym soderzhaniiem lipidov i pishchevykh volokon / A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2016. No. 3 (42). pp. 104–111.
- [15] Gat, Y. and Ananthanarayan, L. (2015). Physicochemical, phytochemical and nutritional impact of fortified cereal-based extrudate snacks. *Nutrafoods*, 14, 141–149.
- [16] Sharma, P., Gujral, H. S., and Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chem.*, 131, 1406–1413.
- [17] Korus, J., Gumul, D., and Czechowska, K. (2007). Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technol. Biotechnol.*, 45, 139–146.
- [18] White, B. L., Howard, L. R., and Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *J. Agri. Food Chem.*, 58, 4037–4042.
- [19] Nayak, B., Liu, R. H., Berrios, J. D., Tang, J. M., and Derito, C. (2011). Bioactivity of Antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry Pea Flours. *J. Agril. Food Chem.*, 59, 8233–8243.
- [20] Gujral, H. S., Sharma, P., Kumar, A., and Singh, B. (2012). Total phenolic content and antioxidant activity of extruded brown rice. *Int. J. Food Prop.*, 15, 301–311.
- [21] Sun, Q. and Xiong, C. S. L. (2014). Functional and pasting properties of pea starch and peanut protein isolate blends. *Carbo. Polym.*, 101, 1134–1139.
- [22] Repo-Carrasco-Valencia, R., Acevedo de La Cruz, A., Icochea Alvarez, J. C., and Kallio, H. (2009). Chemical and functional characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods Human Nutr.*, 64, 94–101.