

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 664:635.65-026.747

К вопросу термовакуумного экструдирования многокомпонентного сырья растительного происхождения

Куручкин А.А., Новикова О.А., Юрьев В.Ю.

Аннотация. В работе представлена информация о возможности получения экструдата многокомпонентной смеси растительного сырья с высоким содержанием одного из значимых макроэлементов в каждом из перерабатываемых ингредиентов. В эксперименте термовакуумной экструзии подвергалась смесь бобов овощной фасоли, зерна пшеницы и семян расторопши при различных соотношениях. При выборе рациональных параметров экструзионного процесса руководствовались сведениями о свойствах макроэлемента, концентрация которого в обрабатываемой пищевой системе была наибольшая, а затем они корректировались с учетом минимально допустимой деструкции остальных значимых компонентов сырья. С этой точки зрения термовакуумная экструзия в эксперименте была выполнена при высоком содержании влаги, умеренной температуре и более мягких условиях деформации обрабатываемого сырья. Резкое снижение давления в вакуумной камере машины при поступлении туда экструдата приводило к возникновению дополнительного эффекта по его обезвоживанию, что позволило получать продукт с влажностью 8-10%. При этом механизм термовакуумного воздействия на экструдат в процессе его обезвоживания обеспечивает частичное замещение жесткой термической составляющей процесса на ее более мягкий аналог – механическую. В конечном итоге это позволит снизить энергоемкость экструзионного процесса и повысить сохранность термолабильных ингредиентов обрабатываемого сырья.

Ключевые слова: пищевые технологии, растительное сырье, смесь, экструдаты, макроэлементы, термовакуумная экструзия.

Для цитирования: Куручкин А.А., Новикова О.А., Юрьев В.Ю. К вопросу термовакуумного экструдирования многокомпонентного сырья растительного происхождения // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 2. С. 15–20.

On the issue of thermal vacuum extrusion multicomponent raw materials of plant origin

Kurochkin A.A., Novikova O.A., Yuryev V.Yu.

Abstract. The work provides information on the possibility of obtaining an extrudate of a multicomponent mixture of plant raw materials with a high content of one of the significant macronutrients in each of the processed ingredients. In the experiment, a mixture of vegetable beans, wheat grain and milk thistle seeds at various ratios was subjected to thermal vacuum extrusion. When choosing rational parameters for the extrusion process, we were guided by information about the properties of the macronutrient, the concentration of which in the processed food system was the highest, and then they were adjusted taking into account the minimum acceptable destruction of the remaining significant components of the raw material. From this point of view, thermal vacuum extrusion in the experiment was carried out at high moisture content, moderate temperature and milder deformation conditions of the processed raw materials. A sharp decrease in pressure in the vacuum chamber of the machine when the extrudate entered there led to an additional effect of its dehydration, which made it possible to

obtain a product with a moisture content of 8-10%. At the same time, the mechanism of thermal vacuum action on the extrudate during its dehydration ensures partial replacement of the hard thermal component of the process with its softer analogue - the mechanical one. Ultimately, this will reduce the energy intensity of the extrusion process and increase the safety of thermolabile ingredients of the processed raw materials.

Keywords: food technologies, plant raw materials, mixture, extrudates, macronutrients, thermal vacuum extrusion.

For citation: Kurochkin A.A., Novikova O.A., Yuryev V.Yu. On the issue of thermal vacuum extrusion multicomponent raw materials of plant origin. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2024. Vol. 11. No. 2. pp. 16–20. (In Russ.).

Введение

С позиции теоретических основ пищевых систем сырье растительного происхождения занимает особое место в силу следующих причин:

– большинство его видов представляет собой полноценный источник важнейших макроэлементов (белков, жиров и углеводов);

– значимая часть данного вида сырья включает в свой состав различные биологически активные вещества, такие как витамины, полифенольные вещества, органические кислоты, сахара, макро- и микроэлементы, пищевые волокна и ряд других, требующихся для ежедневного синтеза и построения клеток, а также осуществления нормальных метаболических процессов и других функций в организме человека;

– химический состав многочисленных его представителей позволяет формировать самые различные органолептические свойства готовых продуктов питания;

– его свойства как сырья определяют эффективность обработки, как посредством простых, так и комбинированных технологических операций, получивших широкое применение в пищевой промышленности.

Перечисленные свойства растительного сырья объясняют хороший научный и практический задел в части разработки пищевых продуктов на основе применения термопластической экструзии. Более того именно в технологиях аналогов мяса из растительного, богатого белком сырья, теоретические основы экструзии высокой влажности сырья получили значительное развитие.

Исследования экструзии высокой влажности, начавшиеся в 1980-х годах, в общем случае можно разделить на две группы, которые классифицируются в зависимости от используемого сырья: однокомпонентного, где используется только одно богатое белком сырье (например, белковый концентрат или изолят) или многокомпонентный, когда применяется смесь двух или более видов сырья.

Для обеих категорий было показано, что при этом создаются анизотропные мясоподобные структуры. Тем не менее, многокомпонентные системы имели тенденцию иметь более мясную структуру и

текстуру продукта по сравнению с однокомпонентными системами. Причиной этого эффекта были предложены различные факторы, такие как образование дисперсной фазы из добавленного компонента, влияние компонента на реакции агрегации (сшивки) белков или изменения реологических свойств обрабатываемого сырья. Однако до сих пор отсутствует понимание того, на чем основано положительное влияние добавления второго богатого белком сырья в технологии мясоподобных экструдатов на структуру готового продукта [5, 13].

Для выяснения этого вопроса и обоснования той или иной гипотезы обычно используют модельную смесь, состоящую из изолята соевого или горохового белка, а также пшеничного глютена. Однако интерес потребителей к сое как к источнику белка в последние годы снизился и в качестве ее альтернативы предлагается использовать фасоль. Белковые ингредиенты фасоли обладают функциональными возможностями, аналогичными таковым соевого белка, включая способность удерживать воду и масло, стабильность пены, взбиваемость и гелеобразование; следовательно, они могут быть хорошим источником растительного белка для различных пищевых добавок [11].

Важные результаты, с точки зрения рассматриваемой проблемы, получены в процессе изучения аналогов мяса, вырабатываемых с помощью экструзии с низким содержанием влаги из белковых смесей овса и гороха. Изучались смеси в соотношениях 20:80, 30:70, 50:50 и 70:30. Методика поверхности отклика использовалась для оценки влияния состава смеси, скорости шнека (200-1200 об/мин), температуры цилиндра (135-160°C) и содержания влаги (25-35%) на свойства экструдированных аналогов мяса. Состав смеси оказал относительно более сильное влияние на водоудерживающую способность, индекс водорастворимости, горечь, когезионность и упругость, тогда как условия экструзии больше влияли на твердость, волокнистость и влажность [10].

Недавние исследования показывают, что наряду с рассмотрением роли белков в процессе экструзии, полезно проводить различие между растворимыми и нерастворимыми волокнами, поскольку они обладают совершенно разными функциональ-

ными возможностями. Нерастворимые волокна, такие как целлюлоза, делают аналоги мяса более жесткими с возможностью макроскопического разделения фаз, в то время как растворимые волокна, такие как пектин, делают аналоги мяса более мягкими, но также улучшают связывание в структуре продукта воды [12].

Таким образом, область экструзии многокомпонентных смесей растительного сырья в последние годы привлекает значительный интерес, а количество систематических исследований, посвященных физико-химическим свойствам экструдированных матриц растительных белков и пищевых волокон увеличивается. При этом еще более актуальными представляется исследования, связанные с экструдированием смесей растительного сырья с высоким содержанием всех известных макронутриентов [5, 9, 10-13].

Цель работы – изучить возможность получения экструдата многокомпонентной смеси растительного сырья с высоким содержанием одного из значимых макронутриентов в каждом из перерабатываемых ингредиентов.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлась смесь зерна пшеницы, семян рапса и бобов овощной фасоли, подвергаемая термовакуумной экструзии с помощью экспериментального экструдера.

Результаты и их обсуждение

С точки зрения содержания основных макронутриентов, для сырья растительного происхождения характерно большое разнообразие. Часть его в своем составе имеет больше углеводов, а в некоторых преобладают белки или жиры (липиды).

Ориентируясь на этот факт, обычно рациональные технологические показатели экструзионного процесса переработки растительного сырья выбираются в зависимости от макронутриента, концентрация которого в обрабатываемом материале наибольшая, и корректируются с учетом минимально допустимой деструкции остальных значимых компонентов сырья.

Так, для крахмалсодержащего растительного сырья, к числу которого относятся практически все зерновые, технологические параметры должны обеспечить рациональную степень клейстеризации (желатинизации) крахмала, что возможно, если учитывать как минимум влажность экструдированного материала и температуру в тракте экструдера.

Среди макронутриентов, принимающих участие в формировании функционально-технологических свойств экструдатов из растительного сырья, наиболее очевидна роль белков. В связи с этим рациональные параметры термопластической экструзии должны ограничивать денатурацию белков,

которая проявляется в их структурной перестройке с разрывами ионных, дисульфидных и водородных связей естественной третичной или четвертичной структур.

Анализ механизма формирования структуры экструдатов показывает, что в отличие от белков, липиды в силу своих физико-механических и химических свойств на процесс текстурирования продукта влияния не оказывают или оно весьма ограничено. В процессе экструзии сырья с высоким содержанием липидов следует учитывать, что этот макронутриент обычно переходит в жидкое состояние при температуре около 400С, диспергируются в виде мельчайших капель и смешиваются с углеводами и белками [1, 4].

Особенностью экструзионной обработки сырья с повышенным содержанием пищевых волокон является то, что обе их разновидности (растворимая и нерастворимая пищевая клетчатка) хоть и в разной степени, но ограничивают активность крахмала как инициатора процесса порообразования и соперничают с остальными компонентами сырья за взаимодействие с водой. При этом штатный режим работы экструдера обеспечивает некоторое увеличение перевариваемости клетчатки в целом, а также перераспределение ее фракций в пользу растворимой составляющей [1, 3].

Как уже отмечалось, с позиции пищи и пищевых технологий в целом, сырье растительного происхождения – это не только совокупность белков, жиров и углеводов, но и источник целой группы микронутриентов.

Современные достижения в теории и практике термопластической экструзии растительного сырья позволяют прогнозировать поведение практически всех значимых для питания человека микронутриентов и назначать рациональные рабочие параметры для различных типов экструдеров. С этой точки зрения большая часть рекомендаций по контролю экструзионного процесса сводятся к следующему принципу: критические потери полезных свойств большинства микронутриентов растительного сырья наблюдаются при его нагреве до температуры свыше 100 °С.

Реализация цели исследований предполагалась путем экструзии многокомпонентной смеси растительного сырья с высоким содержанием одного из



Рис. 1. Образец экструдата смеси бобов овощной фасоли и зерна пшеницы



Рис. 2. Образец экструдата смеси бобов овощной фасоли и семян раптаропши



Рис. 3. Образец экструдата смеси бобов овощной фасоли, зерна пшеницы и семян раптаропши

значимых макроэлементов в каждом из перерабатываемых ингредиентов получаемого экструдата.

В качестве ингредиента с высоким содержанием крахмала в экспериментальных исследованиях было задействовано зерно пшеницы.

Семена раптаропши пятнистой выбраны в силу высокого содержания в них липидов (35-40%), а также клетчатки – 26%. В них также широко представлен витаминный комплекс, минеральные вещества; присутствуют ферменты, пищевые волокна, слизи (около 5%).

Фасоль овощная – ценная пищевая культура, пользующаяся большой популярностью у населения. Питательность ее незрелых бобов (стручков) определяется, кроме высокого содержания белков, наличием сахаров и витаминов.

В исследованиях установлено: бобы фасоли овощной в технической спелости содержат до 6% белка, витамины А, В1, В2, В6, В12, К, С, РР, сахара (3,4%), минеральные соли К, Р, Са, Na, Fe, J, также они богаты клетчаткой (3,9%) и пектинами. В 100 г зеленых бобов содержится 0,26-0,45 мг каротина и 23-28 мг аскорбиновой кислоты [2].

Исследования проводились с помощью экспериментальной установки, в состав которой входил одношнековый пресс-экструдер, укомплектованный вакуумной камерой с выгрузным шлюзовым затвором.

Пониженное давление в камере создавалось с помощью вакуумной системы, в состав которой входили вакуумные насос, регулятор и баллон. Вакуум-регулятор позволял поддерживать необходимое давление в вакуумной камере, а вакуум-баллон служил для сглаживания возможных колебаний давления в системе и сбора конденсата, получаемого при охлаждении паровоздушной смеси, откачиваемой из вакуумной камеры [6-8].

Выгрузка готового экструдата без разгерметизации вакуумной камеры обеспечивалась с помощью шлюзового затвора, выполненного в виде корпуса цилиндрической формы и вращающейся в нем восьмилопастной крыльчатки (ротора) на шариковых подшипниках.

В качестве объекта исследования была выбрана смесь зерна пшеницы, семян раптаропши пятнистой и бобов овощной фасоли с разным соотношением входящих в них ингредиентов.

Смеси экструдировались в течение 10 с при температуре 100-105°C с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера сырье пониженным давлением, равным 0,05 МПа. Частота вращения шнека пресса-экструдера составляла 7,5 с-1, диаметр фильеры матрицы экструдера – 4 мм. Эксперимент проводился в трехкратной повторности.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что при влажности перерабатываемой смеси бобов овощной фасоли и зерна пшеницы 24-28% и соотношением ингредиентов 1 : 1 экструдаты имеют умеренно пористую структуру с некоторыми включениями не переработанных частиц бобов (рис. 1).

Переработка смеси бобов овощной фасоли и семян раптаропши с соотношением ингредиентов, входящих в состав экструдата 1 : 1, показала, что экструдаты имеют пластинчатую структуру, при которой липиды хорошо агрегированы с углеводами и белками (рис. 2).

Образец экструдата смеси бобов овощной фасоли, зерна пшеницы и семян раптаропши при соотношении перечисленных ингредиентов 1 : 1 : 1, по своей структуре оказался ближе к первому образцу.

Выводы

Выбор рациональных параметров экструзионного процесса обычно обусловлен свойствами макроэлемента, концентрация которого в обрабатываемой пищевой системе наибольшая, и корректируются с учетом минимально допустимой деформации остальных значимых компонентов сырья. С этой точки зрения термовакуумная экструзия в эксперименте была выполнена при высоком содержании влаги, умеренной температуре и более мягких условиях деформации обрабатываемого сырья. Резкое снижение давления в вакуумной камере ма-

шины при поступлении туда экструдата приводит к возникновению дополнительного эффекта по его обезвоживанию, что позволяет получать продукт с влажностью 8-10%. Механизм термовакуумного воздействия на экструдат в процессе его обезвоживания обеспечивает частичное замещение жесткой

термической составляющей процесса на ее более мягкой аналог – механическую. В конечном итоге это позволит снизить энергоёмкость экструзионного процесса и повысить сохранность термолабильных ингредиентов обрабатываемого сырья.

Литература

- [1] Бахчевников, О.Н. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) / О.Н. Бахчевников, С.В. Брагинец // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. №4. С. 690-706.
- [2] Босак, В.Н. Биологическая ценность и аминокислотный состав различных сортов фасоли овощной / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Овощеводство. 2017. т. 25. С. 5-10.
- [3] Воронина, П. К. Полифункциональный композит с повышенным содержанием пищевых волокон / П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015. № 4. С. 65-71.
- [4] Курочкин, А. А. 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.
- [5] Олейников, В.В. Разработка технологии продуктов питания на основе нативных мясных и растительных компонентов методом термопластической экструзии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.12/Олейников Владислав Владимирович. – Москва: 2004. – 24 с.
- [6] Пат. 189317 Российская Федерация СПК В29С 48/00. Экструдер с вакуумной камерой /заявители: П.К. Гарькина, В.М. Зимняков, А.А. Курочкин, О.Н. Кухарев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2019105424; заявл. 26.02.2019; опубл. 22.05.2019, Бюл. № 19. 7с.
- [7] Пат. 198439 Российская Федерация МПК А23Р 30/20. Экструдер с вакуумной камерой / заявители: П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2020110297; заявл. , 10.03.2020; опубл. 09.07.2020, Бюл. № 19. 6с.
- [8] Пат. 2783914 Российская Федерация МПК А23Р 10/25. Агрегат для термовакуумной экструзии растительного сырья /заявители: А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Гарькина, Т.В. Шептак; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2021110152; заявл. , 13.04.2021; опубл. 13.10.2022, Бюл. № 29. 9с.
- [9] Степанов, В. И. Исследование влияния гранулометрического состава экструдированной смеси на процесс экструзии и качество многокомпонентных снежков / В.И. Степанов, В.В.

References

- [1] Bakhchevnikov, O.N. Extrusion of vegetable raw materials for food products (review) / O.N. Bakhchevnikov, S.V. Braginets // Technics and technology of food production. 2020. V. 50. No. 4. P. 690-706.
- [2] Bosak, V.N. Biological value and amino acid composition of various varieties of vegetable beans / V.N. Bosak, T.V. Sachivko //Vegetable growing. 2017. vol. 25. p. 5-10.
- [3] Voronina, P. K. Multifunctional composite with a higher content of dietary fiber / P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // Izvestiya of the Samara State Agricultural Academy. 2015. No. 4. P. 65-71.
- [4] Kurochkin, A. A. Extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Izvestiya of the Samara State Agricultural Academy. 2014. No. 4. P. 70-74.
- [5] Oleynikov, V.V. Development of food technology based on native meat and plant components using thermoplastic extrusion: abstract of thesis. dis. ...cand. tech. Sciences: 05.18.04, 05.18.12/Oleynikov Vladislav Vladimirovich. – Moscow: 2004. – 24 p.
- [6] Pat. 189317 the Russian Federation is SPK B29C 48/00. Extruder with vacuum chamber / applicants: P. K. Garkina, V. M. Zimnyakov, A. A. Kurochkin, O. N. Kukharev; applicant and patentee of FGOU IN Penza GAU.- No. 2019105424; declared. 26.02.2019; publ. 22.05.2019, Byul. No. 19. 7 p.
- [7] Patent 198439 Russian Federation, IPC A23P 30/20, CPC A23P 30/20. Extruder with vacuum chamber / P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova [et al.]. Date of publication: 09.07.2020. Bull. No. 19.
- [8] Pat. 2783914 Russian Federation IPC A23P 10/25. Unit for thermal vacuum extrusion of plant raw materials / applicants: A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Garkina, T.V. Sheptak; applicant and patent holder FGOU VO Penza State Agrarian University. – No. 2021110152; application , 04/13/2021; publ. 10/13/2022, Bulletin. No. 29. 9с.
- [9] Stepanov, V.I. Study of the influence of the granulometric composition of the extruded mixture on the extrusion process and the quality of multicomponent snacks / V.I. Stepanov, V.V. Ivanov, A.Yu. Sharikov et al. //Technology and technology of food production. 2016. T. 43. No. 4. pp. 129-134.
- [10] Kaleda A. et al. Physicochemical, textural, and sensorial properties of fibrous meat analogs from oat-pea protein blends extruded at different moistures,

- Иванов, А.Ю. Шариков и др. //Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. №. 4. С. 129-134.
- [10] Kaleda A. et al. Physicochemical, textural, and sensorial properties of fibrous meat analogs from oat-pea protein blends extruded at different moistures, temperatures, and screw speeds //Future Foods. 2021. Т. 4. С. 100092.
- [11] Kantanen K. et al. Physical properties of extrudates with fibrous structures made of faba bean protein ingredients using high moisture extrusion //Foods. 2022. Т. 11. №. 9. С. 1280.
- [12] Schreuders F. K. G. et al. Structure formation and non-linear rheology of blends of plant proteins with pectin and cellulose //Food Hydrocolloids. 2022. Т. 124. С. 107327.
- [13] Wittek P., Karbstein H. P., Emin M. A. Blending proteins in high moisture extrusion to design meat analogues: Rheological properties, morphology development and product properties //Foods. 2021. Т. 10. №. 7. С. 1509.
- temperatures, and screw speeds //Future Foods. 2021. Т. 4. С. 100092.
- [11] Kantanen K. et al. Physical properties of extrudates with fibrous structures made of faba bean protein ingredients using high moisture extrusion //Foods. 2022. Т. 11. No. 9. С. 1280.
- [12] Schreuders F. K. G. et al. Structure formation and non-linear rheology of blends of plant proteins with pectin and cellulose //Food Hydrocolloids. 2022. Т. 124. С. 107327.
- [13] Wittek P., Karbstein H. P., Emin M. A. Blending proteins in high moisture extrusion to design meat analogues: Rheological properties, morphology development and product properties //Foods. 2021. Т. 10. No. 7. С. 1509.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Курочкин Анатолий Алексеевич доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p>Kurochkin Anatoly Alekseevich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p>Новикова Ольга Анатольевна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>	<p>Novikova Olga Anatolievna upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>
<p>Юрьев Вячеслав Юрьевич аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Yuryev Vyacheslav Yurievich postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>