

Технологическая линия изготовления функциональных продуктов питания на основе растительного сырья

Родионов Ю.В., Майстренко Н.В., Скоморохова А.И., Алексенцев Д.С.

Аннотация. Повышения качества питания населения является важной задачей пищевой промышленности и сельского хозяйства. Производство продуктов здорового питания основано на правильном подборе качественного, экологически безопасного сырья, переработка которого должна сопровождаться наиболее оптимальными режимными параметрами, исключающими потерю биологически активных веществ. Приведена блок-схема изготовления пищевых продуктов с применением пищевого 3D-принтера. Основу разрабатываемой технологической линии составляет комплексная безотходная переработка растительного материала. Предусматривается реализация отходов производства, непригодных к употреблению в пищу (кожуры, ботвы, семечек и др.). Наиболее важными этапами переработки являются: сушка, измельчение и экстрагирование. Протекание этих процессов во многом определяет количество витаминов, микро- и макрокомпонентов готового продукта. Поэтому разработке оптимальных режимных параметров и проектированию оборудования для их проведения уделяется особое внимание. Высушивание сырья выполняется на двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушильной установке. Измельчение до заданной фракции осуществляется с помощью двухступенчатой дисково-шаровой вакуумной мельницы. Экстрагирование проводится на комбинированной вакуумной экстракционной установке. Наиболее перспективным при производстве продукции с определенным набором функциональных свойств является использование аддитивных технологий. Для повышения эффективности печати предлагается внедрение теплоаккумулирующих элементов в устройство печатающей головки и рабочий стол. Экструдер разрабатываемого принтера имеет сопло с регулируемым диаметром проходного сечения в зависимости от выдавливаемого материала и требуемой скорости печати. Также предлагается внедрение вакуумных технологий для доведения продукта до готовности (выпекания, жарки и т.д.) с целью поддержания щадящих температурных режимов для сохранения биологически активных веществ.

Ключевые слова: аддитивное производство, переработка, биологически активные вещества, растительные материалы, функциональные продукты питания.

Для цитирования: Родионов Ю.В., Майстренко Н.В., Скоморохова А.И., Алексенцев Д.С. Технологическая линия изготовления функциональных продуктов питания на основе растительного сырья // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 4. С. 48–53.

Technological line for manufacturing functional food products based on vegetable raw materials

Rodionov Yu.V., Maistrenko N.V., Skomorokhova A.I., Aleksentsev D.S.

Abstract. Improving the quality of nutrition of the population is an important task for the food industry and agriculture. The production of healthy food products is based on the correct selection of high-quality, environmentally friendly raw materials, the processing of which should be accompanied by the most optimal operating parameters that exclude the loss of biologically active substances. A block diagram of food production using a food 3D printer is presented. The basis of the developed technological line is the complex waste-free processing of plant material. It is envisaged to sell production wastes that are unsuitable for human consumption (peels, tops, seeds, etc.). The most important processing steps are drying, grinding and extraction. The course of these processes largely determines the amount of vitamins, micro and macro components of the finished product. Therefore, special attention is paid to the development of optimal operating parameters and the design of equipment for their implementation. Drying of raw materials is carried out on a two-stage convective vacuum-impulse drying unit. Grinding to a given fraction is carried out using a two-stage disk-ball vacuum mill. Extraction is carried out

in a combined vacuum extraction unit. The most promising in the manufacture of products with a certain set of functional properties is the use of additive technologies. To increase the printing efficiency, it is proposed to introduce heat-accumulating elements into the print head device and the work table. The extruder of the developed printer has a nozzle with an adjustable diameter of the flow area depending on the extruded material and the required printing speed. It is also proposed to introduce vacuum technologies to bring the product to readiness (baking, frying, etc.) in order to maintain gentle temperature regimes to preserve biologically active substances.

Keywords: additive manufacturing, processing, biologically active substances, plant materials, functional foods.

For citation: Rodionov Yu.V., Maistrenko N.V., Skomorokhova A.I., Aleksentsev D.S. Technological line for manufacturing functional food products based on vegetable raw materials. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2021. Vol. 8. No. 4. pp. 48–53. (In Russ.).

Введение

Задача обеспечения населения здоровым питанием является одной из наиболее приоритетных. Сбалансированный ежедневный рацион способствует укреплению и поддержанию иммунной системы организма, оказывает положительное влияние на эмоциональное состояние человека и его внешний вид. При этом актуальной темой исследований является поиск новых подходов к изготовлению продуктов, обладающих функциональными свойствами удовлетворяющих индивидуальным требованиям к питанию различных групп населения.

Создавать продукцию функционального назначения можно за счет использования специально отобранного растительного сырья, которое является источником многих витаминов, микро- и макрокомпонентов, необходимых организму человека. Кроме того, сырье растительного происхождения является возобновляемым ресурсом, что обуславливает перспективность его использования в качестве ингредиентов при производстве блюд с лечебно-профилактическими свойствами [1].

Одним из наиболее перспективных подходов к созданию функциональных изделий является внедрение аддитивных технологий [2]. Их главное достоинство заключается в возможности производства продуктов, удовлетворяющих индивидуальные потребности в сфере питания. Пищевая 3D-печать уже получила признание среди потребителей различных стран [3]. Её применение способствует расширению блюд ежедневного рациона со строго определенным набором лечебно-профилактических свойств на основе растительного сырья.

Аддитивное производство имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами производства, например [4]:

- возможность выполнять большое количество индивидуальных заказов;
- не требует постоянного присутствия человека ввиду высокой степени автоматизации;

- возможность производства идентичных пищевых продуктов;
- нет строгих ограничений по конфигурации изготавливаемых продуктов питания;
- точно определенное количество необходимых ингредиентов, что сокращает остатки сырья при производстве;
- для изготовления продукции нет необходимости использовать труд высококвалифицированного персонала.

Создание продуктов питания с применением аддитивных технологий позволит задавать точно определенный набор функциональных свойств, придавать блюду требуемые вкусовые качества, экспериментировать с внешним видом практически без ограничений. Точно заданный набор полезных свойств упрощает поддержание диетического питания при различных заболеваниях и их профилактике [5-7].

Целью работы являлась разработка технологической схемы производства продуктов питания функционального назначения с применением пищевого 3D-принтера.

Объекты и методы исследований

В процессе разработки технологической линии изготовления продуктов питания с определенным набором функциональных показателей были проведены экспериментальные исследования различных этапов переработки сырья: сушки, измельчения и экстрагирования. По их результатам определены оптимальные режимные параметры, позволяющие добиться максимального сохранения биологически активных веществ в растительном материале. Детальное описание опытов представлено в работах [8-12].

Полученные порошки и экстракты предлагается использовать в качестве сырья для 3D-печати.

В настоящее время при аддитивном производстве продуктов питания в основном используют шоколад, тесто, различные фруктовые и овощные пасты, пищевую мастику, однако их номенклатура



Рис. 1. Блок-схема производства продуктов функционального назначения с применением пищевого 3D-принтера

может значительно расширяться ввиду возможности использования нетрадиционных видов сырья (насекомых, мучных червей, водорослей), которое при традиционном производстве трудно, а зачастую невозможно, подать в эстетически приемлемом виде. Главное требование при подготовке материала к печати – обеспечение подходящей консистенции. Ввиду этого при разработке технологической линии особое внимание уделяется не только подбору ингредиентов, но и выбору связующего.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемая технологическая схема включает комплексную безотходную переработку растительного материала, подготовку сырья к печати и последующую печать с возможным этапом дополнительной обработки. При этом решается задача сокращения количества производственных отходов за счет:

- значительного увеличения сроков хранения растительного сырья посредством высушивания и экстрагирования;
- реализации непригодных к употреблению в пищу частей исходного материала (корней, ботвы, кожуры и т.д.), обладающих богатым витаминно-минеральным составом;
- введения дополнительных стадий переработки, позволяющих использовать отходы основной переработки для создания продукции.

На первом этапе переработки осуществляется тщательная промывка сырья и очистка от непригодных к употреблению в пищу частей, после чего производится нарезка определенным способом (пластинами, соломкой, кубиками и др.). Экспериментально были выявлены зависимости протекания процесса сушки от

формы и размеров высушиваемого материала. Для максимального сохранения биологически активных веществ продукта определяются оптимальные режимные параметры сушки на разработанной двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилке [13]. Получение порошка заданной фракции выполняется на двухступенчатой дисково-шаровой вакуумной мельнице, исключая сильный нагрев частиц в процессе измельчения [12]. Производство экстрактов из растительного материала проводится с помощью комбинированной вакуумной экстракционной установки, также предназначенной для дальнейшего упаривания (повышения концентрации) раствора [14].

Подготовка сырья к печати предполагает анализ химического состава полученного после переработки материала с последующей разработкой оптимальной рецептуры. На данном этапе определяются требуемые функциональные свойства продукта и его качественные показатели, ориентированные на конкретного потребителя (детей, спортсменов, людей с непереносимостью какого-либо компонента и т.д.). При этом необходимо учитывать, что консистенция должна быть пригодной к печати, однородной и иметь свойство затвердевать при определенных условиях (комнатной температуре или вследствие термообработки).

Создание 3D модели сопровождается выполнением требований, обеспечивающих возможность печати конструкции и ее привлекательный внешний вид. После разработки модели будущего блюда, ее необходимо подготовить к печати. На данном этапе определяются такие параметры как ориентация изделия на рабочем столе, оптимальная толщина подаваемого материала, температура печати и др. Так же здесь

назначаются режимы последующей термической обработки, если в качестве ингредиентов используется, например, тесто.

Для повышения эффективности процесса печати разрабатывается конструкция пищевого 3D-принтера. Особое внимание уделяется модернизации экструдера и рабочего стола, так как от них зависит скорость и качество построения модели.

В зависимости от используемого материала и требуемой скорости его выдавливания, поэтому сопло экструдера выполняется с возможностью регулирования диаметра проходного сечения. Также в процессе печати важно обеспечивать постоянную температуру, что возможно за счет внедрения в конструкцию принтера теплоаккумулирующих элементов. Нагрев до определенной температуры осуществляется с помощью нагревателей, основу которых составляют эластомеры, позволяющие равномерно подводить тепло к поверхностям сложной формы.

При нагреве необходимо соблюдать щадящие температурные режимы, не превышающие температуру денатурации важных биологически активных веществ, обеспечить это можно за счет внедрения вакуумных технологий.

Литература

- [1] Sinha N. K., Hui Y. H. Evaranus E. O., Siddiq, M., Ahmed, J. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing (In English). Wiley-Blackwell, 2010. 776 с.
- [2] Cakmak H., Gumus C.E. 3D food printing with Improved functional properties: A review // International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2020. № 4 (2). С. 178-192.
- [3] Lupton D. 'Download to delicious': Promissory themes and sociotechnical imaginaries in coverage of 3D printed food in online news sources // Futures. Elsevier. 2017. № 93. С. 44-53. DOI:10.1016/j.futures.2017.08.001.
- [4] Дресвянников В.А., Страхов Е.П., Возмищева А.С. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности // Продовольственная политика и безопасность, 2017. №3. Т.4. С. 133-139. DOI:10.18334/ppib.4.3.38500.
- [5] Derossi A., Caporizzi R., Azzollini D., Severini C., Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children // Journal of Food Engineering, 2018. № 220. P. 65-75. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015.
- [6] Paediatric-friendly chocolate-based dosage forms for the oral administration of both hydrophilic and lipophilic drugs fabricated with extrusion-based 3D printing / C. Karavasili, A. Gkaragkounis, T. Moschakis [et al.] // European Journal of Pharmaceutical Sciences. 2020. № 147: 105291. DOI:10.1016/j.ejps.2020.105291.

Выводы

Предлагаемая технологическая схема производства предназначена для изготовления продуктов питания с определенным набором функциональных свойств лечебно-профилактического назначения. Разработанное оборудование для сушки, измельчения и экстрагирования растительного материала обеспечивает проведение процессов переработки при щадящих режимных параметрах с максимальным сохранением биологически активных веществ.

Аддитивное производство является перспективным направлением для расширения ассортимента функциональных продуктов питания. Разработка новых конструкций пищевого 3D-принтера способствует повышению эффективности производства и улучшению качества продукции. Предлагается выполнять экструдер с возможностью регулирования диаметра проходного сечения сопла в зависимости от используемого материала и требуемой скорости печати. Использование тепловых аккумуляторов в устройство печатающей головки и рабочий стол позволит поддерживать стабильные температурные режимы, а внедрение вакуумных технологий способствует проведению постобработки (выпекания, жарки и т.д.) при низкой температуре.

References

- [1] Sinha N. K., Hui Y. H. Evaranus E. O., Siddiq, M., Ahmed, J. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing (In English). Wiley-Blackwell, 2010. 776 p.
- [2] Cakmak H., Gumus C.E. 3D food printing with Improved functional properties: A review // International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2020. No. 4 (2). P. 178-192.
- [3] Lupton D. 'Download to delicious': Promissory themes and sociotechnical imaginaries in coverage of 3D printed food in online news sources // Futures. Elsevier. 2017. No. 93. P. 44-53. DOI:10.1016/j.futures.2017.08.001.
- [4] Dresvjannikov V.A., Strahov E.P., Vozmishheva A.S. Analiz primenenija additivnyh tehnologij v pishhevoj promyshlennosti [Analysis of the application of additive technologies in the food industry] // Prodovol'stvennaja politika i bezopasnost', 2017. No. 3. T. 4. pp. 133-139. DOI:10.18334/ppib.4.3.38500.
- [5] Derossi A., Caporizzi R., Azzollini D., Severini C., Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children // Journal of Food Engineering, 2018. No. 220. pp. 65-75. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015.
- [6] Paediatric-friendly chocolate-based dosage forms for the oral administration of both hydrophilic and lipophilic drugs fabricated with extrusion-based 3D printing / C. Karavasili, A. Gkaragkounis, T. Moschakis [et al.] // European Journal of Pharmaceutical Sciences [et al.] // European Journal of Pharmaceutical

- [7] Tan C., Toh W. Y., Wong G., Li L. Extrusion-based 3D food printing - Materials and machines // International Journal of Bioprinting, 2018. № 4 (2). DOI:10.18063/ijb.v4i2.143.
- [8] Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования топинамбура сорта «Интерес» / Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова, Д. А. Матвеев [и др.] // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 1. С. 32-37.
- [9] Производство комбинированного водного экстракта смеси зеленого лука, редиса, укропа / М. Ю. Кравченко, И. В. Иванова, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 1(66). С. 17-22. DOI 10.33979/2219-8466-2020-66-1-17-22.
- [10] Инновационные конструкции и технологии сушки плодоовощной продукции / Э. С. Иванова, Ю. В. Родионов, О. А. Зорина [и др.] // Наука в центральной России. 2021. № 1(49). С. 43-53. DOI 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53.
- [11] Совершенствование технологии получения порошков из растительного сырья / С. И. Данилин, Ю. Ю. Родионов, Ю. В. Родионов [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 150-159.
- [12] Двухступенчатая шаровая мельница с вакуумным отводом частиц для измельчения сухого растительного материала / Ю. Ю. Родионов, Ю. А. Чумиков, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 4. С. 88.
- [13] Патент № 2548230 С2 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 5/04. Энергосберегающая двухступенчатая сушильная установка для растительных материалов: № 2013111266/06 : заявл. 12.03.2013 : опубл. 20.04.2015 / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» ФГБОУ ВПО ТГТУ, Общество с ограниченной ответственностью «Новые агрегаты вакуумной сушки» ООО Навакс».
- [14] Патент № 2738938 С1 Российская Федерация, МПК B01D 11/02, B01D 1/22. Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка: № 2019143887 : заявл. 23.12.2019: опубл. 18.12.2020 / С. А. Анохин, Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»).
- Sciences. 2020. No. 147: 105291. DOI:10.1016/j.ejps.2020.105291.
- [7] Tan C., Toh W. Y., Wong G., Li L. Extrusion-based 3D food printing - Materials and machines // International Journal of Bioprinting, 2018. № 4 (2). DOI:10.18063/ijb.v4i2.143.
- [8] Issledovanie i vybor rezhimnyh parametrov jekstragirovanija topinambura sorta «Interes» [Research and selection of operating parameters for the extraction of Jerusalem artichoke variety «Interest»] / Ju. V. Rodionov, A. I. Skomorohova, D. A. Matveev [i dr.] // Innovacionnaja tehnika i tehnologija. 2021. T. 8. No. 1. P. 32-37.
- [9] Proizvodstvo kombinirovannogo vodnogo jekstrakta smesi zelenogo luka, redisa, ukropa [Production of a combined aqueous extract of a mixture of green onions, radishes, dill] / M. Ju. Kravchenko, I. V. Ivanova, Ju. V. Rodionov, A. I. Skomorohova // Tehnologija i tovarovedenie innovacionnyh pishhevyh produktov. 2021. No. 1(66). pp. 17-22. DOI 10.33979/2219-8466-2020-66-1-17-22.
- [10] Innovacionnye konstrukcii i tehnologii sushki plodoovoshhnoj produkcii [Innovative designs and technologies for drying fruits and vegetables] / Je. S. Ivanova, Ju. V. Rodionov, O. A. Zorina [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. 2021. No. 1(49). pp. 43-53. DOI 10.35887/2305-2538-2021-1-43-53.
- [11] Sovershenstvovanie tehnologii poluchenija poroshkov iz rastitel'nogo syr'ja [Improving the technology of obtaining powders from plant raw materials] / S. I. Danilin, Ju. Ju. Rodionov, Ju. V. Rodionov [i dr.] // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2020. No. 4. pp. 150-159.
- [12] Dvuhstupenchataja sharovaja mel'nica s vakuumnym otvodom chastic dlja izmel'chenija suhogo rastitel'nogo materiala [Two-stage ball mill with vacuum particle removal for grinding dry plant material] / Ju. Ju. Rodionov, Ju. A. Chumikov, Ju. V. Rodionov, A. I. Skomorohova // Nauka i Obrazovanie. 2020. T. 3. No. 4. P. 88.
- [13] Jenergosberegajushhaja dvuhstupenchataja sushil'naja ustanovka dlja rastitel'nyh materialov [Energy-saving two-stage drying plant for plant materials] / Ju. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin [i dr.]. Patent RF, no. 2548230 C2, 2013.
- [14] Universal'naja vakuumnaja jekstraktno-vyparnaja ustanovka [Universal vacuum extraction and evaporation plant] / S. A. Anohin, D. V. Nikitin, Ju. V. Rodionov [i dr.]. Patent RF, no. 2738938 C1.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Родионов Юрий Викторович доктор технических наук профессор кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>	<p>Rodionov Yuri Viktorovich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(920) 478-04-91 E-mail: rodionow.u.w@rambler.ru</p>
<p>Майстренко Наталья Владимировна кандидат технических наук директор Института заочного обучения ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: E-mail: ig_nataly@rambler.ru</p>	<p>Maystrenko Natalia Vladimirovna PhD in Technical Sciences director of the Institute of Distance Learning Tambov State Technical University Phone: E-mail: ig_nataly@rambler.ru</p>
<p>Скоморохова Анастасия Игоревна магистрант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(475) 263-04-59 E-mail: nasta373@mail.ru</p>	<p>Skomorokhova Anastasia Igorevna undergraduate of the department «Computer-integrated systems in mechanical engineering» Tambov State Technical University Phone: +7(475) 263-04-59 E-mail: nasta373@mail.ru</p>
<p>Алексенцев Денис Сергеевич студент кафедры «Техника и технология производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(475) 263-04-59 E-mail: aleksentsevds@yandex.ru</p>	<p>Aleksentsev Denis Sergeevich student of the department «Technique and technology for the production of nanoproducts» Tambov State Technical University Phone: +7(475) 263-04-59 E-mail: aleksentsevds@yandex.ru</p>