

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

Поступила 24.01.2022

Поступила после рецензирования 15.02.2022

Принята в печать 25.02.2022

© Корниенко В. Ю., Минаев М. Ю., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Корниенко В. Ю.*, Минаев М. Ю.

Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

3D-печать,
аддитивные технологии

АННОТАЦИЯ

В статье сделан обзор существующих схем 3D-принтеров для печати съедобными компонентами. Рассмотрены основные виды экструдеров, используемых для печати пищевыми смесями. Описаны перспективные компоненты, на основе которых возможно создание смесей для пищевой 3D-печати. Приведены примеры успешного применения 3D-печати для создания пищевых продуктов. Рассмотрено понятие 4D-печати.

Received 24.01.2022

Accepted in revised 15.02.2022

Accepted for publication 25.02.2022

© Kornienko V. Yu., Minaev M. Yu., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF 3D FOOD PRINTING

Vladimir Yu. Kornienko*, Mihail Yu. Minaev

V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:

3D-printing,
additive technology

ABSTRACT

This article reviews the currently existing schemes of 3D printers assigned for printing with edible components. The main types of extruders used for printing with food mixtures are considered in the article. Promising components are described, which serve as a base for creating the mixtures for 3D food printing. Examples of the successful application of 3D printing to create food products are given. The concept of 4D printing is considered.

1. Введение

Трехмерная печать (3D-печать) представляет собой процесс создания физического объекта из трехмерной цифровой модели [1,2]. Технология 3D-печати использует в качестве материалов для печати съедобные материалы, например, шоколад, мастика, сахар, взбитый творог, овощные и фруктовые пасты, рыбные и мясные паштеты, тесто, сыр и т. д. (Рисунок 1). В литературе, посвященной аддитивным технологиям, композитные материалы для 3D-печати также называют композитными чернилами, филаментом, сырьем (или составом) для 3D-печати, все эти слова являются синонимами.

Быстро растущее число публикаций по различным аспектам 3D-печати пищевых продуктов указывает на интерес к этой технологии [3]. Потенциал предоставления персонализированного питания и персонализированного выбора продуктов питания может быть одной из причин того, что технология 3D-печати пищевых продуктов развивается так стремительно.

Технология 3D-печати позволяет создавать продукты питания для удовлетворения потребностей людей с различными вкусовыми предпочтениями и диетическими потребностями [4]. Искусственно созданные пищевые продукты через добавление определенных питательных веществ и определенных компонентов или через замену определенных ингредиентов в рецептуре могут способствовать укреплению здоровья и профилактике болезней [5].

Технология 3D-печати персонализирует питание, позволяя производить продукты, которые удовлетворяют

требованиям потребителей в соответствии с их профессией, полом, возрастом и образом жизни [6]. Отмечается, что возможность использования обезвоженных компонентов позволяет создавать пищу для космонавтов и военизированных подразделений с использованием 3D-печати [7].

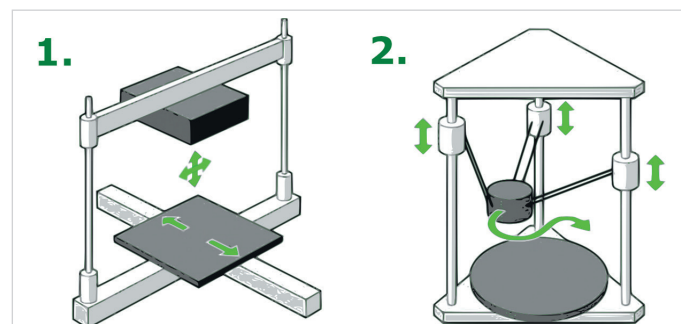


Рисунок 1. Различные схемы 3D-принтеров
(1-X, Y схема; 2-дельта схема)

Figure 1. Various schemes of 3D printers (1-X, Y scheme, 2- delta scheme)

Zhao и др. [3] предлагают следующую схему применения 3D-печати для больных диабетом. Пациенты с диабетом загружают данные об уровне глюкозы в крови на платформу облачного сервиса, затем компьютер с помощью программы вычисляет сбалансированный по содержанию сахаров рецепт, после чего 3D-принтер для пищевых продуктов создает индивидуальное блюдо. Также напечатанная еда с улучшенным вкусом и внешним видом может быть более

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Корниенко, В. Ю., Минаев, М. Ю. (2022). Тенденции в развитии трехмерной печати продуктов питания. *Пищевые системы*, 5(1), 23-29. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

FOR CITATION: Kornienko, V. Yu., Minaev, M. Yu. (2022). Trends in the development of 3d food printing. *Food systems*, 5(1), 23-29. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>

привлекательной для пожилых людей и пациентов с дисфагией [8]. Напечатанные продукты могут быть обогащенными животным белком, а также специально разработанными так, чтобы подходить по внутренней текстуре и быть привлекательными для людей с различными болезнями. Желаемая внутренняя текстура достигается за счет использования различных сопел и режимов заполнения [3]. Напечатанные продукты могут создаваться для удовлетворения особых потребностей подростков и детей [9].

Таким образом, 3D-печать позволяет изготавливать персонализированные продукты питания, содержащие компоненты, подобранные для индивидуального организма.

2. Основные схемы устройства 3D-принтеров для создания пищевых продуктов

Развитие аддитивных технологий связано не только с развитием оборудования, но и с поиском новых смесей для пищевой 3D-печати. Устройство пищевого 3D-принтера, как правило, является универсальным и схожим со схемами для 3D-печати из других отраслей (Рисунок 1). Основными схемами устройств, используемыми для 3D-печати, являются: дельта схема; схема с экструдером, перемещающимся по осям X и Y; X и Z; X, Y и Z (Таблица 1). Среди перечисленных схем выделяется дельта схема, остальные схемы визуально похожи между собой. В этой ситуации основной движущей силой, развивающей прогресс в 3D-печати, может стать именно разработка новых рецептов смесей для 3D-печати. Далее будут перечислены перспективные компоненты для таких смесей.

Таблица 1. Сравнение преимуществ и недостатков различных схем 3D-принтеров

Table 1. Comparison of advantages and disadvantages of various schemes of 3D printers

Схема 3D-принтера	Преимущества	Недостатки
Дельта схема	Большая скорость печати и возможность печати относительно крупных объектов.	Более низкое разрешение печати, влияющее на качество изделия.
X, Y схема	Наиболее популярные схемы из-за характеристик по скорости печати и разрешению.	Плохо подходит для печати относительно крупных объектов.
X, Z схема	Предметный стол принтера с изделием закреплен неподвижно.	
X, Y, Z схема		

3. Ксантановая камедь

Ксантановая камедь является одним из наиболее широко используемых гидроколлоидов при 3D-печати пищевых продуктов, который действует как загуститель и желирующий агент [10]. Установлено, что ксантановая камедь обладает функцией антиоксиданта и способствует укреплению иммунитета [11]. Kim и др. [12] показали, что добавление ксантановой камеди решает проблему деформации во время выпечки напечатанных на 3D-принтере печений. Добавление от 0,5 г до 100 г ксантановой камеди в сырье для 3D-печати улучшало термические свойства образца печенья, созданного с использованием 3D-принтера. При этом его текстура была аналогична текстуре контрольного печенья, созданного обычным способом, также полученный образец был похож на контрольное печенье по твердости и способности к деформации. Таким образом, для 3D-непечатных изделий, которые могут подвергаться воздействию высоких температур во время технологического процесса, структурирующие и уплотняющие свойства ксантановой камеди могут быть использованы с целью повышения их механической прочности [3]. Kim и др. в другой такой работе [13] сообщили, что ксантановая камедь улучшает однородность печати, когда в качестве печатных материалов

используются вещества, содержащие порошки высушенной моркови, шпината и брокколи. По другим данным, добавление ксантановой камеди улучшает связывание компонентов в гетерогенных системах [14]. Ксантановая камедь также используется в рецептурах на основе крахмала для изменения реологических свойств материалов из-за ее сильной влагоудерживающей способности [3,15,16].

4. Пектин

Пектин — это природный гидроколлоид. В пищевой промышленности он используется в качестве структурообразователя (гелеобразователя) и загустителя. Также он применяется при 3D-печати, когда требуется желирующий агент. Внутри желудочно-кишечного тракта пектин сохраняет способность сгущать раствор и, следовательно, оказывает множество физиологических эффектов на организм человека. В том числе он улучшает обмен липидов и холестерина [3]. Также пектин обладает некоторыми уникальными свойствами, позволяющими использовать его для профилактики таких болезней, как ожирение, рак, атеросклероз и кишечные инфекции [17]. Vancanwenberghe с соавторами [18] использовали гель с низким содержанием метоксилированного пектина в качестве 3D-чернил для печати лабораторных образцов на основе пектина. Они также продемонстрировали, что пузырьки воздуха и растительные клетки могут быть успешно внедрены в композитные чернила на основе пектина. Отмечается, что для приготовления пектиновых 3D-чернил используют способность ионов Ca^{2+} образовывать поперечные связи между карбоксильными группами молекул пектина [18,19,20].

5. Пищевые волокна

Овощи содержат большое количество пищевых волокон и биологически активных веществ, которые важны для укрепления здоровья и профилактики болезней [21].

Целлюлоза является самым распространенным полимером на земле, а также одним из важнейших для организма человека нерастворимых волокон. Однако в человеческом организме нет необходимых ферментов для переваривания этого вещества [3,22]. Для использования в 3D-печати пищевые волокна измельчают и смешивают с ксантановой камедью и (или) глюкоманнаном [3].

Kim и др. [13] разработали составы для 3D-печати, содержащие от 10% до 30% (по массе) растительных порошков (моркови, шпината и брокколи). Их исследование показало, что увеличение содержания порошка с 10% до 30% существенно влияло на реологические свойства и качество печати. Было обнаружено, что добавление ксантановой камеди в рецептуру уменьшало различия в физических свойствах у порошков между различными растительными источниками. Lee и соавторы [23] использовали порошки шпината с различным размером частиц с целью изучения их пригодности для 3D-печати. Результаты показали, что при размере частиц 307 мкм улучшалась механическая прочность напечатанного объекта при сохранении его формы, структуры и гладкости поверхности [23]. Derossi и др. [24] использовали грушу, морковь, листья брокколи, киви и авокадо в качестве печатных материалов и изготовили смузиподобные продукты с помощью 3D-печати. Эти продукты имели пирамидальную форму и были визуально привлекательными. Технология 3D-печати не повлияла на содержание ароматических соединений, антиоксидантную способность и на такие характеристики, как цвет, вкус и запах [24]. Huang и др. [25] изготовили продукт с использованием рецептуры на основе коричневого риса вместе с гуаровой и ксантановой камедью в рецептуре. Коричневый рис содержит пищевые волокна,

глутамат, глутатион, полисахарид рисовых отрубей, инозитол и другие соединения, способствующие укреплению здоровья [25]. Содержание пищевых волокон в коричневом рисе в шесть раз больше, чем в белом рисе. Это исследование показывает, что, используя 3D-печать, можно производить продукты, подходящие людям с диабетом, при котором требуется медленное переваривание крахмала [26]. Lille с соавторами [27] разработали 3D-печатные структуры, используя рецептуры, богатые белком и клетчаткой, с низким содержанием сахара и жира. Лучшие напечатанные структуры были получены на основе рецептур, содержащих 10% крахмала (холодного набухания), 15% сухого обезжиренного молока, 60% сухого полуобезжиренного молока, 30% ржаных отрубей, 35% овсяного белка или 45% белка бобов фаба (*Vicia faba* L.) [27]. Другие водорастворимые пищевые волокна, такие как гуаровая камедь, агар-агар, мальтодекстрин (паточка), также широко используются в качестве материалов для 3D-печати с целью изучения различных параметров печати.

6. Пробиотики и водоросли

Считается, что добавление пробиотических бактерий может быть полезным для организма человека [3]. Пробиотические бактерии способны не только продуцировать антимикробные вещества, но и благотворно влиять на состояние иммунитета человека. Живые пробиотические бактерии могут быть добавлены в смеси для печати продуктов питания. Технология 3D-печати подразумевает термическое воздействие, поэтому большая выживаемость пробиотических бактерий важна при использовании этой технологии. Так, Zhang и др. исследовали технологию, включающую процесс культивирования *Lactobacillus plantarum* и дальнейшее добавление этого микроорганизма в смесь для 3D-печати [28]. Этими исследователями была оценена выживаемость бактерий в процессе 3D-печати. При выпекании в диапазоне температур от 145 °C до 205 °C концентрация бактерий не изменялась, в то же время при выпекании при 145 °C в течение 6 мин концентрация бактерий составляла больше 10⁶ КОЕ/г. An и др. изучили возможность добавления цианобактерий *Nostoc sphaeroides* в смеси для 3D-печати на основе картофельного крахмала [29]. В результате было определено, что гидратация смеси для 3D-печати существенно улучшает качество создаваемых продуктов. Другой группой исследователей изучена возможность включения *Bifidobacterium animalis* в картофельное пюре, которое в дальнейшем было использовано для 3D-печати [30]. Авторы использовали разные диаметры сопла экструдера и разные температуры. В результате было определено, что при использовании самого маленького диаметра сопла 3D-принтера (0,6 мм) концентрация бактерий уменьшалась очень незначительно. В то же время при нагревании в течение 45 мин при 55 °C концентрация бактерий значительно снижалась.

7. Белок гороха

Считается, что белок гороха лучше усваивается организмом человека по сравнению с белком сои [31]. Также белок гороха богат незаменимыми аминокислотами [32]. Feng и др. [33] исследовали влияние белка гороха на композитную смесь на основе картофельного крахмала, разработанную для применения в 3D-печати. Они показали, что текстурные, термические и структурные свойства наполнителя для печати на основе крахмала существенно улучшились при добавлении белка гороха. Добавление 1% горохового белка в наполнитель позволило получить высококачественный продукт после 3D-печати (Рисунок 2). Кроме того, белок гороха способствовал желатинизации, повышению гидрофобности поверхно-

сти и обеспечивал ощущение специфического вкуса [31]. Zhao и др. отмечают, что его можно использовать для замены жира в низкокалорийных пищевых продуктах, что снизит частоту возникновения ожирения, атеросклероза и злокачественных опухолей у потребителей [3].



8. Яичный альбумин

Основным белком в курином яйце является альбумин, его концентрация, по разным данным, составляет 54–65% [34,35]. Яичный альбумин также называют овальбумином [33]. Овальбумин относится к группе белков серпинов, но он не обладает способностью ингибировать сериновые протеазы. Исторически овальбумин является одним из первых белков, которые удалось получить в чистом виде. Яичный альбумин имеет массу около 45 кДа и состоит из 385 аминокислотных остатков. Пептидная цепь овальбумина подвергается посттрансляционной модификации, его N-конец ацетируется, аспарат в 292 позиции гликозилируется, сериновые остатки в позициях 68 и 344 фосфорилируются [36]. Он может образовывать конъюгаты с сахарами (глюкозой, мальтозой и лактозой) и растворимым крахмалом [37]. Яичный альбумин легко образует съедобный гель при простом нагревании. Благодаря этим преимуществам, яичный альбумин в настоящее время широко используется для разработки продуктов с использованием 3D-печати [3].

Li и др. разработали рецептуру для 3D-печати, которая содержала белок яичного белка, сахарозу, кукурузный крахмал и желатин [38]. Результаты реологических и трибологических исследований показали, что оптимальным для наилучшего качества печати является содержание альбумина 5,0% (по массе). Включение альбумина в указанной концентрации повышало упругость и твердость геля и обеспечивало сохранение формы напечатанной пищи. В другом исследовании Li и др. создали рецептуру для 3D-печати продуктов, имеющую следующий состав: 12,98 г альбумина, 19,72 г кукурузного крахмала, 4,27 г желатина и 8,02 г сахарозы в 250 мл воды [39].

9. Сывороточный белок

В пищевой 3D-печати сывороточный белок используется в двух разновидностях, это так называемый концентрат и непосредственно выделенный и очищенный белок. Эти две разновидности различаются по степени очистки белка от посторонних примесей. Иногда они маркируются как WPI (90% белка) для изолята и WPC (от 55 до 89% белка) для концентрата [3,40]. Li и др. [40] разработали продукты с использованием 3D-печати на основе смесей с добавлением WPI и WPC и изучили влияние концентрации сывороточного белка на качество продуктов, полученных с использованием аддитивных технологий. Авторы обнаружили, что

добавление WPI и WPC снижает вязкость, что полезно для процесса 3D-печати. Сообщалось, что смесь для печати, приготовленная с использованием сывороточного белка (соотношения 2/5 WPI к WPC), обладает оптимальной способностью к печати [41]. В другом исследовании эти же авторы [41] создали композитный материал с использованием сывороточного белка путем смешивания WPC с раствором казеината натрия. Концентрация общего белка в композитном материале для 3D-печати была 400–450 г/л. Композитная смесь с этой концентрацией показала наилучшую производительность при печати и наилучшую пригодность для создания разработанной модели [3,42].

10. Витамины и микроэлементы

Многими исследователями отмечается, что пища людей должна быть сбалансирована по количеству витаминов и микроэлементов. Для продуктов, созданных искусственным путем, например, с использованием 3D-печати, важно наличие витаминов и микроэлементов.

Scerra и др. [42] разработали комплексный материал для 3D-печати, содержащий витамин Е. Он является жирорастворимым витамином с антиоксидантными свойствами. Известно, что добавление ацетата витамина Е продлевает срок хранения, например, арахисового масла. Исследователи сравнили снижение концентрации витамина Е при использовании двух технологий. Первая технология была классическим способом приготовления продукта с использованием термической обработки, а вторая технология подразумевала использование 3D-печати, в которой присутствовал нагрев. В процессе 3D-печати было выявлено снижение концентрации витамина Е на 24%, что было ниже, чем снижение концентрации на 42% из-за термической обработки [43]. Azam и др. добавили раствор витамина D в смесь апельсинового концентрата, пшеничного крахмала и жевательной резинки для получения конечного продукта, обогащенного витамином D с использованием 3D-печати [44].

При планировании рецептуры продукта может быть предусмотрено добавление ионов кальция в виде казеината кальция. При этом исследования показали, что добавление казеината кальция в тесто улучшало не только качество 3D-печати, но и стабильность структуры после печати [3]. Так, например, Zhang и др. в экспериментах по 3D-печати добавляли казеинат кальция в тесто до конечной концентрации 3% [28].

Derossi и др. использовали 3D-печать для создания прототипа продукта [24]. В основе рецептуры их смеси для 3D-печати был гомогенизированный банан (как основной ингредиент), с добавлением молока, грибов, белой фасоли и ангорбиновой кислоты.

Отмечается, что в качестве источника микроэлементов можно использовать фруктовый сок. Добавление фруктового сока может придать пище те или иные органолептические характеристики [3].

11. 3D-печать живыми растительными клетками

Современные технологии позволяют осуществлять печать живыми клетками. Преимуществом такого подхода является то, что клетки, нанесенные на подложку, продолжают расти, создавая внутреннюю текстуру, свойственную естественному продукту.

Vancauwenberghe и др. исследовали возможность печати растительными клетками. Они смешивали живые клетки салата (*Valerianella locusta*) с пектином, далее этой смесью осуществлялась 3D-печать [18]. Авторы отметили, что меха-

нические свойства продукта, полученного таким способом, в значительной степени зависели от концентрации пектина. Park и др. создали модель гидрогеля, содержащего клетки моркови (*Daucus carota* L.) [45]. После 3D-печати клетки, находящиеся в гидрогеле, продолжали расти, образуя кластеры, формирующие текстуру продукта.

12. 4D-печать продуктов питания

При 4D-печати подразумевается, что продукт после 3D-печати претерпевает некое изменение (цвета, аромата, вкуса или формы) [46]. Первоначально понятие 4D-печати было лишь концепцией, предложенной Miao и др., однако по мере развития технологии 3D-печати оно прижилось и в настоящий момент используется повсеместно [47]. Считается, что Wang и др. — первые, кто изготовил пищевой продукт, использующий дальнейшее пространственное преобразование [48]. Ими были изготовлены пластины, которые под воздействием анизотропного набухания принимали необходимую пространственную форму. Tao и др. определили, что в процессе обезвоживания продукты из теста (выпечка) могут изменять форму, что может быть использовано для целей 4D-печати [49]. Также сообщается о создании с помощью 4D-печати продуктов, способных изменять свой цвет по прошествии времени [3]. Это явление может достигаться как за счет изменения pH, так и путём химического взаимодействия компонентов пищи.

13. Выводы

Первоначально основное применение 3D-печати виделось как создание индивидуализированных продуктов питания для определенных категорий больных. Однако по мере развития этой технологии стало понятно, что в будущем пищевой 3D-принтер может стать обычным домашним аксессуаром. Вполне возможно, что в перспективе различные изделия из теста будут проще распечатать на 3D-принтере, чем изготавливать их обычным способом. Что же касается сложных изделий из шоколада, то их изготовление с использованием 3D-печати уже сейчас обладает преимуществом по сравнению с классической технологией. При этом пищевой 3D-принтер как устройство является достаточно универсальным аппаратом, способным работать с разными пищевыми материалами.

Одним из плюсов описываемой технологии является возможность быстрого переключения с производства одних продуктов на производство других продуктов питания. Фактически это переключение происходит без изменения производственной линии. Это, в свою очередь, создает новые вызовы в сфере правового регулирования и определения требований к организации производства с использованием 3D-печати. Ведь оборудование для различных видов 3D-печати часто взаимозаменяемо, поэтому пищевая смесь в 3D-принтере может быть заменена, например, глиной, и то же самое оборудование может быть быстро перепрофилировано для печати керамических изделий, что не совместимо с производством продуктов питания.

Так как описываемая технология является универсальной, вероятно, внедрение технологии 3D-печати затронет также и производства мясных полуфабрикатов. В основном перспективными считают два способа: это 3D-печать фаршем и печать суспензией живых клеток на сеткообразную подложку. Второй способ подразумевает, что клетки будут делиться и формировать некое подобие естественных мышечных тканей. Вероятно, эта технология способствует гуманизации мясных производств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gorbunova, N. A. (2020). Possibilities of additive technologies in the meat industry. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(1), 9–16. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-9-16>
- Дресвянников, В. А., Спрахов, Е. П., Возмищева, А. С. (2017). Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности. *Продовольственная политика и безопасность*, 4(3), 133–139. <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500>
- Zhao, L., Zhang, M., Chitrakar, B., Adhikari, B. (2020). Recent advances in functional 3D printing of foods: a review of functions of ingredients and internal structures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3489–3503. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1799327>
- Li, P., Mellor, S., Griffin, J., Waelde, C., Hao, L., Everson, R. (2014). Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing. *Journal of Intellectual Property Law and Practice*, 9(4), 322–332. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpt217>
- Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, S175–S178. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000705>
- Rodgers, S. (2016). Minimally processed functional foods: Technological and operational pathways. *Journal of Food Science*, 81(10), R2309–R2319. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15422>
- Terfanyan, M.L., Thangavelu, M. (September 10–12, 2013). *3D printing of food for space missions*. AIAA SPACE2013 Conference and Exposition. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., San Diego, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2013-5346>
- Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., Mirade, P. S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.023>
- Hamilton, C. A., Alici, G., Panhuis, M. I. H. (2018). 3D printing vegemite and marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*, 220, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
- Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
- Liu F., Zhang X., Ling P., Liao J., Zhao M., Mei L. et al. (2017). Immunomodulatory effects of xanthan gum in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Carbohydrate Polymers*, 169, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.003>
- Kim, H. W., Lee, J. J., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H., Park, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT*, 101, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
- Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
- Holland, S., Tuck, C., Foster, T. (2018). Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydrate Polymers*, 200, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.064>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. (2018). Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.048>
- Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S., Mantihal, S., Zhang, M. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, 87, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
- Lattimer, J. M., Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266–1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
- Vancauwenberghe, V., Baiye Mfortaw Mbong V., Vanstreels, E., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2019). 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink. *Journal of Food Engineering*, 263, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.003>
- Vancauwenberghe, V., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2018). Development of a coaxial extrusion deposition for 3D printing of customizable pectin-based food simulant. *Journal of Food Engineering*, 225, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.008>
- Fraeye, I., Colle, I., Vandevenne, E., Duvetter T., Van Buggenhout S., Moldenaers P. et al. (2010). Influence of pectin structure on texture of pectin-calcium gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.015>
- Liu, R.H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 SUPPL.), 517S–520S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517S>
- Wuestenberg, T. (2014). Cellulose and cellulose derivatives in the food industry: Fundamentals and applications. London, UK: John Wiley and Sons Ltd.
- Lee, J. H., Won D. J., Kim H. W., Park H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
- Huang, M.-S., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D Printing Precision and Texture Properties of Brown Rice Induced by Infill Levels and Printing Variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>
- Qi, L., Yu, L., Yu, Y. (2015). Research advancement in the nutritional value and processing technologies of brown rice. *Food and Nutrition in China*, 3, 68–71.
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsa-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.002>
- An, Y.-J., Guo, C.-F., Zhang, M., Zhong, Z.-P. (2019). Investigation on characteristics of 3D printing using Nostoc sphaeroides biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 639–646. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9226>
- Liu, Z., Bhandari, B., Zhang, M. (2020). Incorporation of probiotics (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. *Food Research International*, 128, Article 108795. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108795>
- Zhang, Q., Han, D., Li, D. (2012). Nutritional components and functional properties of yellow pea. *Food Science and Technology*, 37, 141–144.
- Palander, S., Laurinen, P., Perttilä, S., Valaja, J., Partanen, K. (2006). Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology*, 127(1–2), 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.07.003>
- Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Materials properties of printable edible inks and printing parameters optimization during 3D printing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(19), 3074–3081. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481823>
- Huntington, J. A., Stein P. E. (2001). Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 756(1–2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00108-6)
- Chen, C., Huang, X., Ma, M. H. (2015). Research advances on antioxidative proteins in egg. *China Poultry*, 21, 43–47.
- Nisbet, A. D., Saundry, R. H., Moir, A. J. G., Fothergill, L. A., Fothergill, J. E. (1981). The complete amino-acid sequence of hen ovalbumin. *European Journal of Biochemistry*, 115(2), 335–345. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1981.tb05243.x>
- Nakamura, S., Kato, A., Kobayashi, K. (1992). Enhanced antioxidative effect of ovalbumin due to covalent binding of polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2033–2037. <https://doi.org/10.1021/jf00023a001>
- Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y. (2019). 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267–279. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2209-z>
- Liu, L., Yang, X., Bhandari, B., Meng, Y., Prakash, S. (2020). Optimization of the formulation and properties of 3D-printed complex egg white protein objects. *Foods*, 9(2), Article 9020164. <https://doi.org/10.3390/foods9020164>
- Zhang, Z.-H., Peng, H., Woo, M.W., Zeng, X.-A., Brennan, M., Brennan, C. S. (2020). Preparation and characterization of whey protein isolate-chlorophyll microcapsules by spray drying: Effect of WPI ratios on the physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*, 267, Article 109729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109729>
- Liu, Y., Liu, D., Wei, G., Ma, Y., Bhandari, B., Zhou, P. (2018). 3D printed milk protein food simulant: Improving the printing performance of milk protein concentration by incorporating whey protein isolate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.018>
- Liu, Y., Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J. M., Liu, X., Zhou, P. (2019). Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing. *LWT — Food Science and Technology*, 102, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.053>
- Scerra, M. A., Barrett, S., Eswaranandam, S., Okamoto, M. (2018). Effects of 3D printing and thermal post processing on the stability of vitamin E acetate. *Journal of the American Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(10), Poster Session: Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; Research, A148. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.08.101>
- Azam, R. S. M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13(3), 250–262. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9531-x>

45. Park, S. M., Kim, H. W. Park, H. J. (2020). Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. *Journal of Food Engineering*, 271, Article 109781. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109781>
46. Николаев, Н. С., Корниенко, В. Н., Пляшешник, П. И. (2021). Особенности холодильной обработки замороженных десертов. *Молочная промышленность*, 2, 55–57. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-55-57>
47. Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X. et al. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*, 20(10), 577–591. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.06.005>
48. Wang, W., Yao, L., Zhang, T., Cheng, C.-Y., Levine, D., Ishii, H. (6–11 May, 2017). *Transformative appetite: Shape-changing food transforms from 2D to 3D by water interaction through cooking*. Conference on Human Factors in Computing Systems — Proceedings, 6123–6132. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026019>
49. Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, Y.-C., Wang, G., Mondoa, C. et al. (2019). Morphlour: Personalized flour-based morphing food induced by dehydration or hydration method. *UIST 2019 — Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 329–340. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347949>

REFERENCES

1. Gorbunova, N. A. (2020). Possibilities of additive technologies in the meat industry. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(1), 9–16. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-9-16>
2. Dresvyannikov, V. A., Strakhov, E. P., Vozmishcheva, A. S. (2017). Analysis of the application of additive technologies in the food industry. *Food Policy and Security*, 4(3), 133–139. <https://doi.org/10.18334/ppib.4.3.38500> (In Russian)
3. Zhao, L., Zhang, M., Chitrakar, B., Adhikari, B. (2020). Recent advances in functional 3D printing of foods: a review of functions of ingredients and internal structures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3489–3503. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1799327>
4. Li, P., Mellor, S., Griffin, J., Waelde, C., Hao, L., Everson, R. (2014). Intellectual property and 3D printing: A case study on 3D chocolate printing. *Journal of Intellectual Property Law and Practice*, 9(4), 322–332. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpt217>
5. Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, S175–S178. <https://doi.org/10.1097/MCG.0000000000000705>
6. Rodgers, S. (2016). Minimally processed functional foods: Technological and operational pathways. *Journal of Food Science*, 81(10), R2309–R2319. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13422>
7. Terfansky, M. L., Thangavelu, M. (September 10–12, 2013). *3D printing of food for space missions*. AIAA SPACE2013 Conference and Exposition. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., San Diego, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2013-5346>
8. Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., Mirade, P.S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.025>
9. Hamilton, C. A., Alici, G., Panhuis, M. I. H. (2018). 3D printing vegemite and marmite: Redefining “breadboards”. *Journal of Food Engineering*, 220, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008>
10. Saha, D., Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>
11. Liu F., Zhang X., Ling P., Liao J., Zhao M., Mei L. et al. (2017). Immunomodulatory effects of xanthan gum in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Carbohydrate Polymers*, 169, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.003>
12. Kim, H. W., Lee, J. I., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H., Park, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *LWT*, 101, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
13. Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. *Journal of Food Science*, 83(12), 2923–2932. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14391>
14. Holland, S., Tuck, C., Foster, T. (2018). Selective recrystallization of cellulose composite powders and microstructure creation through 3D binder jetting. *Carbohydrate Polymers*, 200, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.064>
15. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. (2018). Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.048>
16. Liu, Z., Bhandari, B., Prakash, S., Mantihal, S., Zhang, M. (2019). Linking rheology and printability of a multicomponent gel system of carrageenan-xanthan-starch in extrusion based additive manufacturing. *Food Hydrocolloids*, 87, 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.026>
17. Lattimer, J. M., Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266–1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
18. Vancauwenbergh, V., Baiye Mfortaw Mbong V., Vanstreels, E., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2019). 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink. *Journal of Food Engineering*, 263, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.003>
19. Vancauwenbergh, V., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2018). Development of a coaxial extrusion deposition for 3D printing of customizable pectin-based food simulant. *Journal of Food Engineering*, 225, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.01.008>
20. Fraeye, I., Colle, I., Vandevenne, E., Duvetter, T., Van Buggenhout S., Moldenaers P. et al. (2010). Influence of pectin structure on texture of pectin–calcium gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.015>
21. Liu, R. H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 SUPPL.), 517S–520S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517S>
22. Wu, T. (2014). *Cellulose and cellulose derivatives in the food industry: Fundamentals and applications*. London, UK: John Wiley and Sons Ltd.
23. Lee, J. H., Won D. J., Kim H. W., Park H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
24. Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
25. Huang, M.-S., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D Printing Precision and Texture Properties of Brown Rice Induced by Infill Levels and Printing Variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>
26. Qi, L., Yu, L., Yu, Y. (2015). Research advancement in the nutritional value and processing technologies of brown rice. *Food and Nutrition in China*, 3, 68–71.
27. Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsa-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
28. Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foosr.2018.10.002>
29. An, Y.-I., Guo, C.-F., Zhang, M., Zhong, Z.-P. (2019). Investigation on characteristics of 3D printing using *Nostoc sphaeroides* biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 639–646. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9226>
30. Liu, Z., Bhandari, B., Zhang, M. (2020). Incorporation of probiotics (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. *Food Research International*, 128, Article 108795. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108795>
31. Zhang, Q., Han, D., Li, D. (2012). Nutritional components and functional properties of yellow pea. *Food Science and Technology*, 37, 141–144.
32. Palander, S., Laurinen, P., Perttilä, S., Valaja, J., Partanen, K. (2006). Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology*, 127(1–2), 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.07.003>
33. Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Materials properties of printable edible inks and printing parameters optimization during 3D printing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(19), 3074–3081. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481823>
34. Huntington, J. A., Stein P. E. (2001). Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 756(1–2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00108-6)
35. Chen, C., Huang, X., Ma, M. H. (2015). Research advances on antioxidative proteins in egg. *China Poultry*, 21, 43–47.
36. Nisbet, A. D., Saundry, R. H., Moir, A. J. G., Fothergill, L. A., Fothergill, J. E. (1981). The complete amino acid sequence of hen ovalbumin. *European Journal of Biochemistry*, 115(2), 335–345. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1981.tb05243.x>
37. Nakamura, S., Kato, A., Kobayashi, K. (1992). Enhanced antioxidative effect of ovalbumin due to covalent binding of polysaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2033–2037. <https://doi.org/10.1021/jf00023a001>
38. Liu, L., Meng, Y., Dai, X., Chen, K., Zhu, Y. (2019). 3D printing complex egg white protein objects: Properties and optimization. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 267–279. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2209-z>
39. Liu, L., Yang, X., Bhandari, B., Meng, Y., Prakash, S. (2020). Optimization of the formulation and properties of 3D-printed complex egg white protein objects. *Foods*, 9(2), Article 9020164. <https://doi.org/10.3390/foods9020164>
40. Zhang, Z.-H., Peng, H., Woo, M.W., Zeng, X.-A., Brennan, M., Brennan, C. S. (2020). Preparation and characterization of whey protein isolate-chlorophyll microcapsules by spray drying: Effect of WPI ratios on the

- physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*, 267, Article 109729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109729>
41. Liu, Y., Liu, D., Wei, G., Ma, Y., Bhandari, B., Zhou, P. (2018). 3D printed milk protein food simulant: Improving the printing performance of milk protein concentration by incorporating whey protein isolate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.018>
 42. Liu, Y., Yu, Y., Liu, C., Regenstein, J. M., Liu, X., Zhou, P. (2019). Rheological and mechanical behavior of milk protein composite gel for extrusion-based 3D food printing. *LWT — Food Science and Technology*, 102, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.053>
 43. Scerra, M.A., Barrett, S., Eswaranandam, S., Okamoto, M. (2018). Effects of 3D printing and thermal post processing on the stability of vitamin E acetate. *Journal of the American Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(10), Poster Session: Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; Research, A148. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.08.101>
 44. Azam, R. S. M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13(3), 250–262. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9531-x>
 45. Park, S. M., Kim, H. W. Park, H. J. (2020). Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. *Journal of Food Engineering*, 271, Article 109781. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109781>
 46. Nikolaev N. S., Kornienko V. N., Plasheshnik P. I. (2021). Features of refrigeration of frozen desserts. *Dairy industry*, 2, 55–57. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-55-57> (In Russian)
 47. Miao, S., Castro, N., Nowicki, M., Xia, L., Cui, H., Zhou, X. et al. (2017). 4D printing of polymeric materials for tissue and organ regeneration. *Materials Today*, 20(10), 577–591. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.06.005>
 48. Wang, W., Yao, L., Zhang, T., Cheng, C.-Y., Levine, D., Ishii, H. (6–11 May, 2017). *Transformative appetite: Shape-changing food transforms from 2D to 3D by water interaction through cooking*. Conference on Human Factors in Computing Systems — Proceedings, 6123–6132. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026019>
 49. Tao, Y., Do, Y., Yang, H., Lee, Y.-C., Wang, G., Mondoa, C. et al. (2019). Morphlour: Personalized flour-based morphing food induced by dehydration or hydration method. *UIST 2019 — Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 329–340. <https://doi.org/10.1145/3332165.3347949>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Корниенко Владимир Юрьевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория Молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11(109), E-mail: unipraim@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9068-9814 * автор для контактов Минаев Михаил Юрьевич — кандидат технических наук, заведующий лабораторией Молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (109), E-mail: m.minaev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744	Vladimir Yu. Kornienko, candidate of biological sciences, Senior Researcher, Laboratory of molecular biology and bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia. Tel.: +7-495-676-95-11(109), E-mail: unipraim@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9068-9814 * corresponding author Mihail Yu. Minaev, candidate of technical sciences, head of Laboratory of molecular biology and bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia. Tel.: +7-495-676-95-11 (109), E-mail: m.minaev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.