



УДК 640.43

PROSPECTS OF IMPLEMENTATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРОБНИЦТВО ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Piddubniy V. A. / Піддубний В.А.

*Corresponding member of the National Academy of Agrarian Sciences /
член-кореспондент Національної академії аграрних наук,
d.t.s., prof./д.т.н., проф.,
ORCID: 0000-0002-1497-7133*

*Director / директор,
State Scientific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology of
Food Products: 3, Senkivskiy lane, Kyiv, 03190, Ukraine /
Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут спирту і
біотехнологій продовольчих продуктів»*

Tarasiuk H. M. / Тарасюк Г.М.

*d.e.s., prof./д.е.н., проф.,
ORCID: 0000-0001-5112-102X*

Chahaida A. O. / Чагайда А.О.

*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0000-0003-1826-9545*

*Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, 10005, Ukraine /
Державний університет «Житомирська політехніка».*

Radchenko Iu.I. / Радченко Ю.І.

*independent researcher / незалежний дослідник
ORCID: 0009-0001-7435-0738*

*Azienda Darmi Fabarm, Travagliato Via averolda 31. Italy 25039 /
Компанія «Дармі Фабарм»*

Анотація. Функціональні харчові продукти містять сполуки, необхідні для підтримання здоров'я людини та знижують рівень серцево-судинних захворювань, діабету тощо. Такі продукти, коли до їжі додають функціональні компоненти, притаманні оригінальному продукту, викликають все більше зацікавленості у споживачів, тому розвиток ринку функціональних харчових продуктів відкритий до інновацій. Розвиток індустрії функціонального харчування призвів до розробки персоналізованої їжі, безмежний потенціал для створення якої мають адитивні технології. Технологія тривимірного друку вирішує питання складних візуальних структур і текстур, зменшення харчових відходів та енергетичних потреб, дозволяє прискорити виробничий процес.

Ключові слова: адитивні технології, технологія тривимірного друку, функціональні харчові продукти, біологічно активні речовини, точність друку, персоналізоване харчування

Вступ.

Розвиток медичних технологій збільшив тривалість життя людини, однак, у той час як показник тривалості життя є кількісним індексом, тривалість здоров'я – це індекс, який відображає якісні аспекти, що потенційно є під загрозою захворювань, пов'язаних з метаболізмом та серцево-судинною системою. Глобальна тривалість життя становить 73,2 роки, у порівнянні з орієнтовною тривалістю здоров'я в 64 роки, і оскільки довше життя пов'язане з більшою кількістю часу з хронічними захворюваннями, такими як хвороба Альцгеймера, серцево-судинні захворювання та діабет, зростає інтерес до



геропротекторних втручань, які затримують або запобігають появі цих хвороб. Крім того, з точки зору функціональних харчових продуктів, специфічні харчові екстракти та їх компоненти (тобто фітохімічні речовини) можуть запобігти хронічним та віковим захворюванням, пов'язаним з активними формами кисню [1].

Аддитивне виробництво, також відоме як тривимірний друк (3D-друк), є потужним інструментом для виробництва харчових продуктів завдяки налаштуванню форми та вмісту їжі, покращенню використання інгредієнтів і створенню продуктів, які відповідають персоналізованому харчуванню та адаптовані до конкретних потреб споживачів [2]. Основні 3D-програми для харчових продуктів базуються на технології екструзії та стосуються матеріалів, які можна надрукувати нативно, таких як зернові продукти та шоколад. Разом із тим, останнім часом все більше застосовуються альтернативні інгредієнти, такі як білки та волокна, виділені з комах, водоростей, мікроорганізмів та залишків сільськогосподарської продукції [3].

Основний текст.

Основним фактором підтримки росту, розмноження і здоров'я людини є їжа, вибір якої, в більшості випадків, є результатом імпульсивних рішень, а не наслідком ретельно продуманого обрання на основі оцінки потенційної користі та можливих ризиків. Тому спроби покращити здорове харчування не повинні зосереджуватися на переконанні споживачів, що є більш корисним, а мають налаштувати середовище таким чином, щоб люди автоматично спрямовувалися на здоровий вибір [4]. Узагальнені рекомендації щодо дієти та способу життя були сформульовані та опубліковані протягом десятиліть різними відповідними агенціями, намагаючись спрямувати людей до здорового вибору. Оскільки кількість пандемічних метаболічних захворювань продовжує збільшуватися, стало зрозуміло, що дієта, яка єдино підходить для всіх, не працює, і існують значні розбіжності в реакціях між індивідами на дієту та заходи щодо способу життя [5].

Серед багатьох типів харчових продуктів основними категоріями, які досліджувалися протягом останніх 20 років, є продукти для спеціальних дієтичних цілей і ті, що класифікуються як функціональні продукти. До функціональних продуктів відносять натуральну та промислово оброблену їжу, яка окрім основного харчування при регулярному споживанні в рамках різноманітної дієти на ефективних рівнях потенційно позитивно впливає на здоров'я. Основними критеріями для визнання харчового продукту функціональним є безпека харчових продуктів, вільний доступ без потреби медичного рецепта (або медичної консультації) та докази користі для здоров'я при регулярному вживанні у збалансованому раціоні [6].

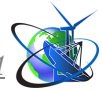
Концепція функціональної їжі була вперше оприлюднена в 1984 році японськими вченими, які вивчали взаємозв'язок між харчуванням, сенсорним задоволенням, збагаченням і модуляцією фізіологічних систем. Таким чином, за цією концепцією функціональні – це харчові продукти, збагачені спеціальними компонентами, які мають позитивні фізіологічні ефекти і така їжа може покращити загальний стан організму (наприклад, пре- та пробіотики), знизити



ризик деяких захворювань (наприклад, продукти, що знижують рівень холестерину), і навіть може використовуватися для лікування деяких хвороб. Традиційні функціональні продукти харчування в Японії розглядаються як окрема категорія продуктів (які часто називають функціональними продуктами першого покоління), де функціональні властивості мають перевагу над смаком. У Європі та США мова йде більше про концепцію: функціональна їжа означає додавання функціональності існуючому традиційному харчовому продукту і такі збагачені харчові продукти не створюють окремої групи [7].

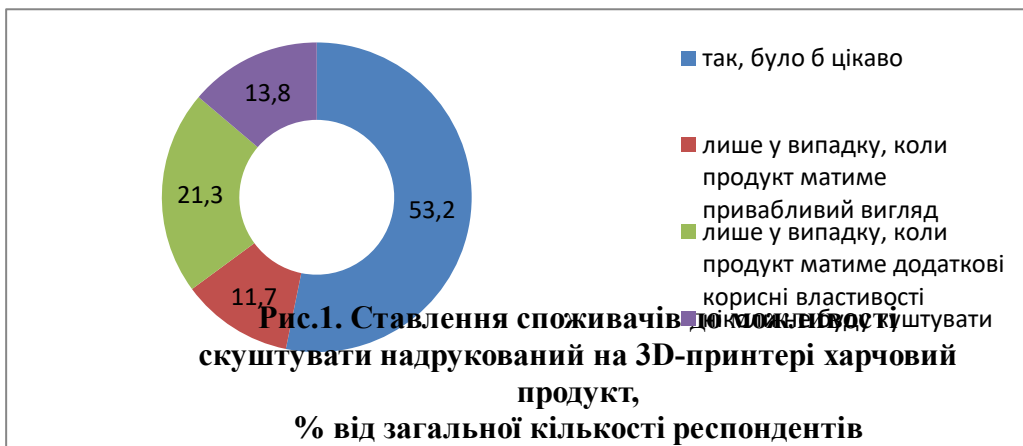
Функціональні харчові продукти можна загалом класифікують за такими групами: – звичайна їжа, що містить біоактивні речовини природного походження (як приклад: β -глюкан у вівсяних висівках для зниження рівня холестерину в крові); – харчові продукти, які були модифіковані біоактивними речовинами шляхом збагачення або іншим способом (як приклад: маргарин, який містить доданий фітостерин, який знижує рівень холестерину в сироватці крові); – синтезовані харчові інгредієнти (такі як деякі спеціальні вуглеводи, що мають пробіотичний ефект) [8]. Численні переваги для зміцнення здоров'я, взаємодіючи з одним або кількома компонентами живих тканин і систем, забезпечують біологічно активні сполуки, але більшість з них мають низьку біодоступність, що перешкоджає їх потенційній дії. Звичайні методи інкапсуляції вимагають багато часу та мають серйозні обмеження для застосування в харчових продуктах, включаючи використання нехарчових хімікатів, небажані сенсорні властивості та проблеми зі стабільністю зберігання. Тривимірний друк харчових продуктів може допомогти захистити біологічно активні сполуки шляхом їх точного включення в тривимірні матриці, що може забезпечити їх захист під час зберігання, покращену біодоступність і ефективну доставку та контрольоване вивільнення [9].

Сучасна технологія 3D-друку харчових продуктів, як і будь-яке виробництво, має свої переваги та обмеження. До переваг можна віднести створення персоналізованого харчування та розробка більш корисної їжі; свободу створення нових і більш складних візуальних структур і текстур; зменшення харчових відходів; можливість використання альтернативних джерел матеріалів; можливість вирішення проблем, пов'язаних з алергією та перехресним зараженням; можливість спростити та прискорити виробничий процес; створення децентралізованого виробництва; зменшення енергетичних і транспортних потреб. Недоліки 3D-друку харчових продуктів пов'язані все ще з високими витратами виробництва, незначною кількістю сумісних матеріалів, дуже повільним процесом друку, остаточно не вирішеними питаннями безпеки харчових продуктів і санітарії принтера, проблемами із сприйняттям споживачами, обмеженою точністю друку та обробкою поверхні [10]. Інтеграція штучного інтелекту з технологією 3D-друку робить революцію в харчовій промисловості, адже ця синергія обіцяє, на основі використання великих баз даних, постачати персоналізовані та поживні харчові продукти, адаптовані до індивідуальних дієтичних потреб і вподобань. Аналізуючи індивідуальні дані про здоров'я, харчові звички та харчові потреби, штучний інтелект може розробляти на 3D-принтері продукти, які відповідають певним



захворюванням, таким як діабет, гіпертонія чи недоїдання. Окрім того, штучний інтелект допомагає прогнозувати реологічні властивості харчових чорнил, гарантуючи, що вибрані матеріали мають необхідну текучість, стійкість до зсуву та структурну цілісність для успішного друку, а системи моніторингу в режимі реального часу, оснащені штучним інтелектом, можуть виявляти та виправляти відхилення від бажаних умов друку, забезпечуючи високу точність і повторюваність у виробництві надрукованих продуктів [11].

Для дослідження сприйняття надрукованої на 3D-принтері їжі українською молоддю було проведено анкетування 188 респондентів (39,3% – чоловіки, 60,7% – жінки). Більше 50% респондентів готові із цікавості скуштувати надруковані харчові продукти (рис.1), при цьому 21,3% опитаних будуть їсти надруковану їжу лише у випадку, якщо вона матиме додаткові корисні властивості, тобто продаватись як функціональна та мати збагачений певними компонентами склад.



Майже 14% респондентів з різних причин не готові до споживання надрукованої на 3D-принтері їжі, тому у подальшому враховувались відповіді тільки тих, хто має бажання скуштувати таких харчовий продукт. Серед показників привабливості, у потенційних споживачів, на першому місці стоїть зовнішній вигляд надрукованої їжі, а ось показник текстури для молоді є не таким важливим (рис.2).





Що стосується конкретних продуктів, які викликають зацікавлення у молодих споживачів, то лідерами є шоколадні вироби, піца з сиром, кулінарні тістові вироби і м'ясний стейк (рис.3). В даному випадку зацікавленість саме м'ясним стейком пояснюється тим, що респонденти хотіли б побачити як 3D-принтер справиться із завданням і надрукує структуру м'яса.

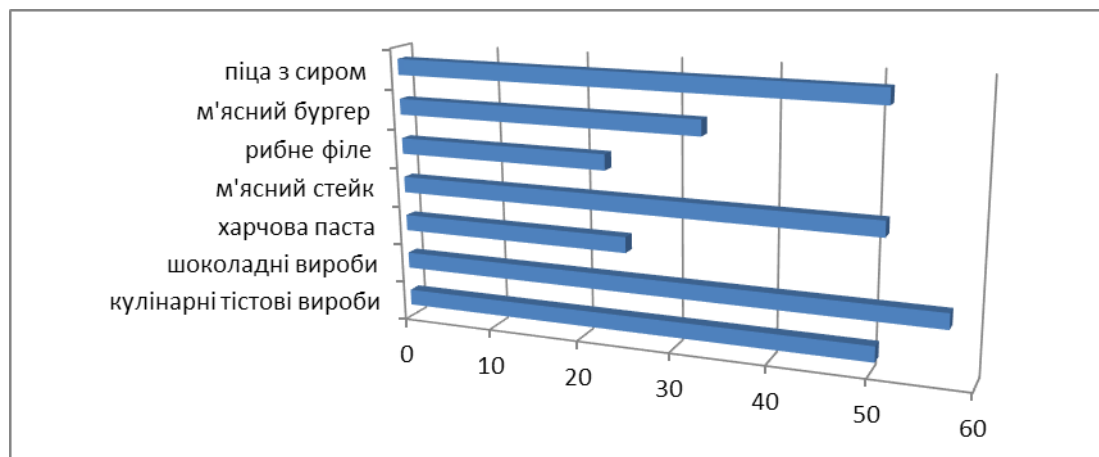


Рис.3. Їжу, надруковану на 3D-принтері, яку готові скуштувати, % від респондентів, що готові скуштувати таку їжу

В цілому, якщо нові продукти та технології їх виготовлення викликають певну недовіру та занепокоєння у споживачів, то технологія тривимірного друку харчових продуктів розглядається молоддю як сучасна тенденція створення унікальної за формою та смаковими властивостями їжі. Разом із тим, збагачення їжі має, здебільшого, відбуватись за рахунок використання натуральних добавок та ретельного відбору компонентів харчового продукту. Окрему увагу при процесі друкування їжі необхідно приділити стерилізації елементів принтера, які контактують із харчовими інгредієнтами, що дозволить гарантувати продовольчу безпеку.

Висновки.

Рівень споживання здорової їжі та попит на продукти функціонального харчування значно зросли за останні роки. Отримані класичним способом збагачення харчові продукти не завжди сприймаються споживачами, а технології тривимірного друку, завдяки своїй адаптивності, виглядають як перспективний метод створення нових функціональних продуктів, адже дозволяють створити їжу із збільшеним вмістом біологічно активних речовин, визначеними смаковими властивостями і текстурою.

Література.

1. Park, S.-H., Lee, D.-H., Lee, D.-H., & Jung, C. H. (2024). Scientific evidence of foods that improve the lifespan and healthspan of different organisms. *Nutrition Research Reviews*, 37(1), 169–178. DOI: 10.1017/S0954422423000136.
2. Zhu W, Iskandar MM, Baeghbali V, Kubow S. (2023). Three-Dimensional Printing of Foods: A Critical Review of the Present State in Healthcare Applications, and Potential Risks and Benefits. *Foods*, 12(17), 3287. DOI: [10.3390/foods12173287](https://doi.org/10.3390/foods12173287)



3. Baiano, A. (2020). 3D Printed Foods: A Comprehensive Review on Technologies, Nutritional Value, Safety, Consumer Attitude, Regulatory Framework, and Economic and Sustainability Issues. *Food Reviews International*, 38(5), 986–1016. DOI: [10.1080/87559129.2020.1762091](https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1762091)

4. Piddubniy V. A., Tarasiuk H. M., Chahaida A. O. Youth nutrition knowledge and food security. International Scientific Periodical Journal «Modern engineering and innovative technologies». 2022. Issue 24. Part 1. P.41-46 DOI: [10.30890/2567-5273.2022-24-01-011](https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-24-01-011)

5. Тарасюк Г.М., Чагайда А.О. Тенденції вибору збалансованого харчування споживачами послуг індустрії гостинності. *Наукове видання Державного університету «Житомирська політехніка»: «Економіка, управління та адміністрування»*. Житомир. 2024, № 1(107). С.26-38. DOI: [10.26642/ema-2024-1\(107\)-26-38](https://doi.org/10.26642/ema-2024-1(107)-26-38)

6. Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual review of food science and technology*, 11, 93–118. DOI: [10.1146/annurev-food-032519-051708](https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708)

7. Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance--a review. *Appetite*, 51(3), 456–467. DOI: [10.1016/j.appet.2008.05.060](https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060)

8. Henry, C. (2010). Functional foods. *European Journal Clinical Nutrition*, 64, 657–659. DOI: [10.1038/ejcn.2010.101](https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.101)

9. Ahmadzadeh, S., Lenie, M. D. R., Mirmahdi, R. S., & Ubeyitogullari, A. (2023). Designing future foods: Harnessing 3D food printing technology to encapsulate bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–17. DOI: [10.1080/10408398.2023.2273446](https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2273446)

10. Pereira, T., Barroso, S. & Gil, M.M. (2021). Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*, 10(2), 320. DOI: [10.3390/foods10020320](https://doi.org/10.3390/foods10020320)

11. Neamah, H. A., & Tandio, J. (2024). Towards the development of foods 3D printer: Trends and technologies for foods printing. *Heliyon*, 10(13), e33882. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e33882](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33882)

Abstract. Functional foods contain compounds necessary to maintain human health and reduce the level of cardiovascular diseases, diabetes, etc. Such products, when functional components inherent in the original product are added to food, arouse more and more interest among consumers, therefore the development of the market of functional food products is open to innovation. The development of the functional food industry has led to the development of personalized food, for which additive technologies have unlimited potential. Three-dimensional printing technology solves the issue of complex visual structures and textures, reducing food waste and energy needs, and allows you to speed up the production process.

Key words: additive technologies, hree-dimensional printing technology, functional food products, biologically active substances, print accuracy, personalized nutrition