
ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БОБОВИХ У ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З ЕМУЛЬСІЙНОЮ СТРУКТУРОЮ

Радченко А. Е., Дегтяр В. В.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-445-0-5>

ВСТУП

Виробництво харчової продукції супроводжується низкою проблем, які впливають на різні аспекти людського життя, що потребує комплексного підходу до їх вирішення. Основною проблемою лишається нерівномірність доступу людей до природних ресурсів планети, що пов'язано з економічними, географічними чи соціальними чинниками та спричиняє голодування різного ступеня тяжкості. Виробництво харчової продукції потребує значних природних ресурсів, що призводить до негативного впливу на довкілля. Кожен етап виробництва спричиняє утворення харчових відходів, що відображає нераціональне використання наявних природних ресурсів. Згідно зі звітом¹ щодо досягнення Цілей сталого розвитку від діяльності 193 країн-членів ООН, від перероблення та виробництва харчової продукції до етапу дистрибуції втрачається 13,3% харчових продуктів від загальної світової кількості, 17,0% втрачається безпосередньо споживачами. Отже, виробництво харчової продукції та вибір сировини мають базуватися на врахуванні проблем сьогодення та потреб майбутнього. Це є основою концепції сталого розвитку, що у випадку харчової промисловості відноситься до сталої продовольчої системи.

Виробництво харчової продукції стосується таких цілей сталого розвитку, як подолання голоду, міцне здоров'я та благополуччя, чиста вода та санітарні умови, індустріалізація, інновації та інфраструктура, подолання нерівності, відповідальне споживання та виробництво, пом'якшення наслідків зміни клімату, збереження морських ресурсів, захист екосистем суші, партнерство заради стійкого розвитку.

Відповідальне споживання та виробництво мають базуватися на принципах раціонального використання природних ресурсів, що є

¹ The Sustainable Development Goals Report 2022. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>

основою продовольчої безпеки. Показниками дотримання відповідального виробництва є зниження кількості відходів та перетворення донедавна супутніх напівфабрикатів виробництва харчової промисловості в нові види сировини, компоненти, матеріали, а з боку відповідального споживання – зменшення імпульсивних і надмірних покупок.

Однією з причин зміни клімату є викиди вуглецю, які утворюються внаслідок різної людської діяльності, особливо під час виробництва харчової продукції. При отриманні 1 кг яловичини вуглецевий слід становить 27,0 кг, сиру 13,5 кг, курки 6,9 кг, горіхів 2,3 кг, квасолі 2,0 кг, сочевиці 0,9 кг².

Надмірне використання води як природного ресурсу є негативним явищем, яке несе загрозу для продовольчої безпеки людства. Виробництво 1 кг яловичини потребує 15,415 л води, свинини 5,988 л, вершкового масла 5,553 л, курятини 4,325 л, бобових 4,055 л³.

Використання землі для виробництва 100 г білка яловичини становить 163,6 м², сиру 39,8 м², молока 27,1 м², свинини 10,7 м², горіхів 7,9 м², яєць 5,7 м², бобових 3,4 м²⁴.

Досягнення Цілей сталого розвитку потребує реалізації моделі циркулярної економіки на кожному етапі харчових ланцюгів. Втілення моделі циркулярної економіки базується на принципах recover, recycle, repurpose, remanufacture, refurbish, repair, reuse, reduce, refuse⁵. Реалізація зазначеного дозволяє зменшити негативний вплив на екологію шляхом зниження використання наявних ресурсів завдяки раціональному, повторному та інноваційному їх застосуванню.

Відповідно до вищезазначених даних виробництва бобових як сировини для виробництва харчових продуктів має такі переваги, як низький рівень викидів вуглецю, використання посівної площі землі, води, що відображає екологічні переваги цього джерела рослинного білка.

Актуальними завданнями харчової промисловості залишаються задоволення зростаючої потреби людства в білку, розширення асортименту харчових продуктів, які відповідатимуть етичним, екологічним, релігійним обмеженням, пов'язаним зі споживанням

² How to lower your food's carbon footprint. URL: <https://www.greeneatz.com/foods-carbon-footprint.html>

³ HeaLabel. Water Footprint Of Food List. URL: <https://www.healabel.com/water-footprint-of-food-list/>

⁴ Our World in Data. Land use per 100 grams of protein. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/land-use-protein-poore>

⁵ Модель циркулярної економіки. Дія. Бізнес. URL: <https://business.diia.gov.ua/handbook/impact-investment/model-cirkularnoi-ekonomiki>

тваринних білків, чим спричинена необхідність пошуку альтернативних джерел білка.

Згідно з даними Bloomberg⁶, за минулі роки посилилась тенденція до споживання вегетаріанських харчових продуктів, що пов'язано зі збільшенням споживання рослинної продукції серед населення світу внаслідок підвищення рівня обізнаності щодо позитивного впливу цих продуктів на здоров'я та загальних принципів концепції сталого розвитку. У комплексному дослідженні⁷ серед основних причин дотримання вегетаріанської системи харчування етичний фактор зазначили 61,2% опитаних, екологічний 21,2%, здоров'я – 14,5%. Серед бобових лідером за популярністю є соя, що підтверджується статистичними даними розподілу світового ринку харчових продуктів рослинного походження, де соя займає перше місце, або 19,56%⁸, із неї виробляють молоко, тофу, борошно, соуси, аналоги м'яса. Інші види бобових залишаються дещо недооціненими. У зв'язку із зазначеним актуальними напрямками є пошук та популяризація бобових як джерела рослинного білка.

Прогнозується збільшення популярності вегетаріанських харчових продуктів серед споживачів. Так, до 2028 року передбачається середньорічне зростання виробництва на 12,195% вегетаріанських альтернатив тваринним продуктам⁹. В Україні на жовтень 2020 року нараховувалось 11% населення, яке не споживало м'яса, 2% не споживали продуктів тваринного походження¹⁰. Ця статистика не враховує релігійних поглядів та періодів постування, але свідчить про появу споживачів зазначеного сегмента харчових продуктів і в Україні. Згідно з даними GFI¹¹, основною перешкодою для придбання споживачами вегетаріанських харчових продуктів є смак, висока ціна, текстура. Вегетаріанський споживчий кошик на 61% дорожче, ніж у

⁶ Henze V., Boyd S. Bloomberg. Plant-based Foods Market to Hit \$162 Billion in Next Decade, Projects Bloomberg Intelligence. URL: <https://www.bloomberg.com/company/press/plant-based-foods-market-to-hit-162-billion-in-next-decade-projects-bloomberg-intelligence/>

⁷ Stenico A., Zarbonello D., Vittadello F., Kob M. A Comprehensive Examination of Vegan Lifestyle in Italy. *Nutrients*. 2024. Vol. 16. No 1:86. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010086>

⁸ Distribution of the global plant-based food ingredient market size from 2019 to 2026, by source. URL: <https://www.statista.com/statistics/1285597/global-plant-based-food-market-by-source/>

⁹ Market research report. Vegan Food Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Product Type (Vegan Meat, Vegan Milk, and Others), Distribution Channel (Supermarkets/Hypermarkets, Convenience Stores, Online Retailers, and Others), and Regional Forecast, 2021-2028. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/vegan-food-market-106421>

¹⁰ Ukrainian vegan cuisine: how volunteers in Uzhhorod organize healthy food for displaced people. URL: <https://rubryka.com/en/article/vegan-cuisine-uzhgorod/>

¹¹ Good Food Institute. Consumer insights. URL: <https://gfi.org/resource/consumer-insights/>

м'ясоїдів¹², чим обумовлена потреба пошуку сировини для розробки більш доступних харчових продуктів, які зможуть придбати споживачі, незалежно від рівня їхніх доходів. Серед 51% споживачів вегетаріанського сегмента харчових продуктів не задоволені асортиментом та хочуть різноманітніші джерела рослинного білка¹¹. Таким чином, популярність вегетаріанських харчових продуктів збільшується щороку, але одноманітність сировинного набору, що входить до складу харчових продуктів, вартість, органолептичні показники залишаються основними чинниками, які гальмують розвиток цього сегмента товарів. Ураховуючи зростаючу популярність вегетаріанського сегмента харчових продуктів та супутні проблеми з їх просуванням на ринку, виникла необхідність комплексного підходу до розробки та виробництва нових харчових продуктів на основі альтернативних джерел рослинного білка, а саме бобових.

1. Теоретичні та практичні аспекти виробництва харчової продукції з емульсійною структурою на основі бобових

1.1. Бобові

Виробництво інноваційної та конкурентоспроможної харчової продукції, яка відповідатиме вимогам часу та споживчим потребам, основний напрям розвитку харчової промисловості. Сьогодні споживачі під час вибору харчових продуктів керуються такими параметрами: якість, смак, ціна, наявність поживних нутрієнтів, таких як білки, жири, вуглеводи, вітаміни, калорійність, терміни придатності¹³. Це свідчить про підвищення обізнаності споживачів щодо правильного харчування та зниження впливу маркетингових інструментів на їх вибір. Натомість виробництво інноваційних харчових продуктів, яке відповідає вимогам сьогодення та враховує потреби майбутніх поколінь, має базуватися на вирішенні різноманітних проблем. Основні з них: екологічність, ресурсозбереження, зручність споживання, наявність рослинного білка, відсутність алергенів, урахування етичних, дієтичних і релігійних поглядів різних груп споживачів, дотримання принципів циркулярної економіки, «від лану до столу»/сталой продовольчої системи, харчових ланцюгів.

¹² New Hope. Bumper crop of plant-based products feeds growing consumer demand. URL: <https://www.newhope.com/market-data-and-analysis/bumper-crop-of-plant-based-products-feeds-growing-consumer-demand>

¹³ Gurbuz Ismail, Macabangin Modassir. Factors affecting consumer's behaviour on purchasing and consumption of food products. *Scientific Papers. Series Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development*. 2019. Vol. 19. Issue 1. P. 215-222. URL: <http://surl.li/swfns>

Прикладом альтернативного джерела білка є бобові, які вирощуються в різних кліматичних зонах та широко використовуються в харчовій промисловості.

Основними перевагами вирощування бобових є відновлення агроекологічного стану виснажених ґрунтів, підвищення стійкості ґрунту до порушень екосистеми. Бобові насичують ґрунт калієм, кальцієм і фосфором завдяки симбіотичному взаємозв'язку з азотфіксуючими бактеріями насичують азотом, виконуючи роль природного добрива, що дозволяє знизити додаткове використання хімічних препаратів. Залишки бобових підвищують мікробіологічну активність у ґрунті, що додатково насичує його органічними речовинами. Бобові мають унікальні біологічні властивості, такі як адаптація до ґрунтово-кліматичних умов, висока сумісність вирощування з іншими культурами, розвинена коренева система, що дозволяє поглинати рідину з нижніх шарів ґрунту.

Від початку широкомасштабного вторгнення в Україну зменшилися посівні площі вирощування бобових у Харківській, Запорізькій, Одеській областях. Щоб не втратити позиції вирощування бобових, були розширені посівні площі в Київській, Полтавській, Вінницькій, Кіровоградській областях. Так, у 2022 році врожай бобових становив 334,17 тис. тонн, а в 2023 році 390 тис. тонн, що у два рази менше за довоєнні показники¹⁴. На сьогодні досить складним є логістичний ланцюг доставки продуктів у Європу, проте тривалі терміни зберігання бобових відіграють ключову роль у можливості цього процесу. Згідно з ДСТУ 6006:2008 термін зберігання бобових як посівного матеріалу становить 3...6 років без втрати схожості, а продовольчих бобових – 1 рік, при цьому норма природних втрат дорівнює 0,12%¹⁵. Бобові можна зберігати насипом, у тарі, на елеваторах.

Лушпиння бобових може використовуватися як джерело клітковини та функціональна добавка для виготовлення тваринних кормів^{16,17},

¹⁴ Головний сайт для агрономів. Урожай бобових в Україні у 2023 році аналітики оцінюють на рівні 390 тис. т. URL: <http://surl.li/sulkj>

¹⁵ Освітній портал «Облік і фінанси АПК». Норми природних втрат. URL: <https://magazine.faaf.org.ua/normi-prirodnih-vtrat-472.html>

¹⁶ Ngwe Tin, Nukui Yoko, Oyaizu Shinya, Takamoto Genki, Koike, Satoshi Ueda, Koichiro, Nakatsuji Hiroki, Kondo Seiji, Kobayashi Yasuo. Bean husks as a supplemental fiber for ruminants: Potential use for activation of fibrolytic rumen bacteria to improve main forage digestion. *Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho*. 2012. Vol. 83. P. 43-9. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2011.00916.x.

¹⁷ Linton R. G., Wilson A. N., Watson S. J., The Nutritive Value of Legume Husks, *The Journal of Agricultural Science*. Vol. 24. No 1934. P. 260–268. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600006638>

хлібобулочних виробів^{18,19,20,21,22}, харчових покриттів на основі екстракту поліфенолів, отриманих із лушпиння для пролонгування термінів зберігання харчових продуктів²³, отримання пектину²⁴ та антиоксидантів²⁵. Із побічних продуктів переробки бобових можна екстрагувати білки, клітковину, феноли та інші біологічно активні речовини²⁶.

Борошно з бобових використовується для виробництва хлібобулочних, кондитерських та макаронних виробів, що дозволяє отримати харчові продукти з функціональними властивостями, адже таке борошно підвищує їхню біологічну та харчову цінність. У роботі²⁷ досліджено вплив борошна з різних видів бобових на властивості отриманих макаронних виробів, додавання якого суттєво підвищило

¹⁸ Chockchaisawasdee S., Mendoza M. C., Beecroft C. A., Kerr A. C., Stathopoulos C. E., Fiore A. Development of a gluten free bread enriched with faba bean husk as a fibre supplement. *LWT – Food Science and Technology*. 2023. Vol. 173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114362>

¹⁹ Niño-Medina, Guillermo, Dolores Muy-Rangel, Ana Laura de la Garza, Werner Rubio-Carrasco, Briceida Pérez-Meza, Ana P. Araujo-Chapa, Kelsy A. Gutiérrez-Álvarez, and Vania Urías-Orona. Dietary Fiber from Chickpea (*Cicer arietinum*) and Soybean (*Glycine max*) Husk Byproducts as Baking Additives: Functional and Nutritional Properties. *Molecules*. 2019. Vol. 24. No 5: 991. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050991>

²⁰ Bose D., Shams-Ud-Din M. The effect of chickpea (*Cicer arietinum*) husk on the properties of cracker biscuits. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2010. Vol. 8. No 1. DOI: <https://doi.org/10.3329/jbau.v8i1.6412>.

²¹ Inam A. K. M., Sarwar Haque Md, Shams-Ud-Din M, Easani Md. Effects of chickpea husk on the baking properties of chapattis. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2011. Vol.8. DOI: <https://doi.org/10.3329/jbau.v8i2.7941>.

²² Dalgetty David, Baik Byung-Kee. Fortification of Bread with Hulls and Cotyledon Fibers Isolated from Peas, Lentils, and Chickpeas. *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0269>.

²³ Camiletti O. F., Bergesse A. E., Aleman R., Riveros C. G., Grosso N. R. Application of chickpea-based edible coating with chickpea husk polyphenols on the preservation of sunflower seeds. *Journal of Food Science*. 2023. Vol. 88, P. 1237–1252. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16489>

²⁴ Urías-Orona Vania, Rascon, Agustin & Lizardi-Mendoza, Jaime & Carvajal–Millán, Elizabeth & Gardea, Alfonso & Islas-Rubio, Alma. Extraction, Composition and Functional Properties of Pectin from Chickpea Husk. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1201/b12234-4>.

²⁵ Camiletti Ornella, Bergesse Antonella, Prieto María Cecilia, Quiroga, Patricia & Ojeda, Gonzalo & Sgroppo, Sonia & Riveros, Cecilia & Grosso, Nelson. Phenolic, volatile compounds, antioxidant, and preservative activity of Argentinian Kabuli chickpea husk extract. *Journal of the American Oil Chemists. Society*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/aocs.12759>.

²⁶ Gizem Seval Tomar, Rukiye Gundogan, Asli Can Karaca, Michael Nickerson, Chapter Four – Valorization of wastes and by-products of nuts, seeds, cereals and legumes processing, Editor(s): Esra Capanoglu, María Dolores Navarro-Hortal, Tamara Yuliett Forbes-Hernández, Maurizio Battino *Advances in Food and Nutrition Research, Academic Press*, 2023. Vol. 107. P. 131-174. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2023.03.004>.

²⁷ Teterycz D., Sobota A., Zarzycki P. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J Food Sci Technol* 2020. Vol. 57. P. 301–309. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5>

вміст білка, клітковини, незамінних амінокислот, крім того, борошно із сочевиці та гороху виступило в ролі натурального барвника.

Із бобових отримують білковий ізолят (вміст білка до 90%) та концентрат (вміст білка до 70%), які використовуються для збагачення харчових продуктів рослинним білком, виробництва спортивного харчування. Отримання ізоляту чи концентрату можливе в разі застосування та поєднання певних процесів, таких як суха та рідинна екстракція, електрична сепарація, сухе фракціонування, обробка ультразвуком, гомогенізація під високим тиском, гідродинамічна кавітація, гідротермічне оброблення²⁸.

Окрім виробництва харчових продуктів, бобові використовуються для отримання кормів для тварин, біопалива, харчових плівок, у фармакології.

До наборів військових сухих пайків, як і до традиційної, кошерної, халяльної, вегетаріанської систем харчування, обов'язково включені страви з бобовими, адже вони відповідають основам зазначених систем харчування, забезпечують тривале відчуття насичення завдяки наявності білка та клітковини.

Бобові – джерело рослинного білка та нутрієнтів, які позитивно впливають на організм людини. Наукові дослідження дозволяють поглибити знання про бобові та розширити сферу їх застосування для створення харчових продуктів нового покоління, які урізноманітнять асортимент існуючих харчових продуктів, багатих на рослинні білки, відповідатимуть вимогам екологічної та продовольчої безпеки, дозволять знизити залежність від продуктів тваринництва.

Білки бобових мають емульсійні, піноутворюючі, гелеутворюючі властивості, завдяки чому широко використовуються в харчовій промисловості. Вони використовуються для отримання емульсійних систем, потрібних для створення традиційних та збагачених харчових продуктів, інкапсуляції біологічно активних речовин, ароматів, вітамінів, пробіотиків²⁹. На емульгуючі властивості білка бобових впливає загальна концентрація білка, іонна сила, рН³⁰. Емульсійним

²⁸ Neji C., Semwal J., Kamani M.H., Máthé E., Sipos P. Legume Protein Extracts: The Relevance of Physical Processing in the Context of Structural, Techno-Functional and Nutritional Aspects of Food Development. *Processes*. 2022. Vol. 10. No12:2586. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10122586>

²⁹ Muhammad Afzaal, Farhan Saeed, Muhammad Aamir, Ifrah Usman, Iqra Ashfaq, Ali Ikram, Muzzamal Hussain, Faqir Muhammad Anjum, Muhammad Waleed & Hafiz Suleria Encapsulating properties of legume proteins: recent updates & perspectives, *International Journal of Food Properties*. 2021. Vol. 24. No 1. P. 1603-1614, DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1987456>

³⁰ Yakoub Ladjal Ettoumi, Mohamed Chibane, Alberto Romero, Emulsifying properties of legume proteins at acidic conditions: Effect of protein concentration and ionic strength. *LWT* –

системам із білковим ізолятом бобових притаманні процеси коалесценції, флокуляції, адсорбції білка³⁰. Білки бобових мають низьку стабільність, через що використовуються поліцукридно-білкові комплекси для стабілізації емульсійних систем. Поліцукриди підвищують в'язкість і зменшують міжфазний натяг емульсійних систем. Перевагами білкових ізолятів бобових є їхні амфіфільні властивості, розчинність, водо- та жиропоглинаюча здатність, низька вартість, високий вихід, піноутворюючі, емульгуючі властивості³¹. У складі бобових із поліцукридів найвищий вміст крохмалю. У роботі³² досліджено застосування білків бобових для створення харчової плівки, що дозволить зменшити використання поліетилену та негативний вплив на екологію.

Сапоніни мають амфіфільні та поверхнево-активні властивості, містяться в бобових у кількості 0,1–24,5%³³. Вони використовуються в харчовій промисловості як натуральні емульгатори, піноутворювачі, природні антиоксиданти. За великої концентрації сапоніни мають гіркий присмак та перешкоджають засвоєнню нутрієнтів організмом людини, проте вони характеризуються протимікробними, протипухлинними, протизапальними властивостями^{34,35}.

Бобові – джерело фенольних сполук, які позитивно впливають на здоров'я кишківника, покращуючи перетравлення їжі та підвищуючи

Food Science and Technology. 2016. Vol. 66. P. 260-266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.051>.

³¹ Onyango E. Legume Protein: Properties and Extraction for Food Applications. *Legumes Research*. 2022. Vol. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.100393>

³² Linares-Castañeda, A., Sánchez-Chino, X. M., Yolanda de las Mercedes Gómez y Gómez, Jiménez-Martínez, C., Martínez Herrera, J., Cid-Gallegos, M. S., & Corzo-Ríos, L. J. Cereal and legume protein edible films: a sustainable alternative to conventional food packaging. *International Journal of Food Properties*. 2023. Vol. 26. No 2. P. 3197–3213. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2267785>

³³ Kartik Sharma, Ramandeep Kaur, Satish Kumar, Ramesh Kumar Saini, Surabhi Sharma, Subhash V Pawde, Vikas Kumar, Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications. *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100191>.

³⁴ Timilsena, Yakindra Prasad, Arissara Phosanam, and Regine Stockmann. Perspectives on Saponins: Food Functionality and Applications. *International Journal of Molecular Sciences* 2023. Vol. 24. No 17: 13538. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241713538>

³⁵ Kareem O., et al. Positive Health Benefits of Saponins from Edible Legumes: Phytochemistry and Pharmacology. In: Masoodi, M.H., Rehman, M.U. (eds) *Edible Plants in Health and Diseases*. Springer. 2022. P. 279–298. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-4959-2_8.

біодоступність нутрієнтів³⁶. Авторами³⁷ зазначено, що на вміст фенольних сполук впливає забарвлення бобових, у кольорових бобових вміст фенольних сполук вище. Крім того, їх вміст може використовуватися як індикатор антиоксидантної здатності бобових. Хімічний склад бобових наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад бобових³⁸

Найменування бобових	Вміст г на 100 г бобових									
	Вода	Білки	Вуглеводи				Жири			
			Загальна кількість	Крохмаль	Клітковина	Цукри	Загальна кількість	Жири кислоти поліненасичені	Жири кислоти мононенасичені	Жири кислоти насичені
Нут	7,68	20,5	63,0	46,1	12,2	4,70	6,04	2,73	1,38	0,60
Ква-соля	11,30	23,4	60,3	37,5	15,2	2,11	0,85	0,36	0,07	0,22
Горох	8,69	23,1	61,6	44,9	13,56	3,14	3,89	1,00	0,62	0,41
Соче-виця	8,26	24,6	63,4	49,9	10,7	2,03	1,06	0,53	0,19	0,15

Позитивний вплив на здоров'я людини від споживання бобових пов'язаний із їхнім унікальним хімічним складом. Регулярне споживання бобових зменшує ризик онкологічних і серцево-судинних захворювань, діабету, остеопорозу, знижує артеріальний тиск, рівень холестерину, запалення в організмі, позитивно впливає на зниження ваги та лікування ожиріння³⁹, гіпертонії, посилює відчуття насиченості

³⁶ Nicolás-García Mayra, Cristian Jiménez-Martínez, Madeleine Perucini-Avedaño, Brenda Hildeliza Camacho-Díaz, Antonio Ruperto Jiménez-Aparicio, and Gloria Dávila-Ortiz. Phenolic Compounds in Legumes: Composition, Processing and Gut Health. *Legumes Research*. 2022. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98202>.

³⁷ I Rodríguez Madrera, Roberto. Phenolic Content and Antioxidant Activity in Seeds of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods* (Basel, Switzerland). 2021. Vol. 10. No 4:864. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10040864>

³⁸ U.S Department of agriculture. *Agricultural Research Service*. URL: <https://www.usda.gov/>

³⁹ Polak Rani et al. Legumes: Health Benefits and Culinary Approaches to Increase Intake. *Clinical diabetes: a publication of the American Diabetes Association*. 2015. Vol. 33. No 4. P.198-205. DOI: <https://doi.org/10.2337/diaclin.33.4.198>

організму їжею^{40,41} що підтверджує загальні рекомендації щодо користі включення бобових у раціон. Вітамінний склад та енергетична цінність бобових наведені в таблиці 2.

Таблиця 2
Вітамінний склад та енергетична цінність бобових³⁸

Найменування бобових	Вміст на 100 г бобових											
	Мг %							Мкг %			ккал	
	Холін	С Аскорбінова кислота	Е Альфа-токоферол	В1 Тіамін	В2 Рибофлавін	В3 Ніацин	В6 Піроксидин	В9 Фолатна кислота	Бетакаротин	Фітолінон		А Ретинол
Пут	99,3	4,0	0,82	0,48	0,21	1,5	0,54	557	40	9,0	3	378
Квасоля	66,2	–	0,21	0,44	0,15	0,5	0,32	388	0	5,6	0	344
Горох	157,0	1,8	0,12	0,72	0,24	3,6	0,14	15	89	15,9	7	364
Сочевиця	96,4	4,5	0,49	0,87	0,21	2,6	0,54	479	23	5,0	2	352

Мінеральний склад бобових наведено в таблиці 3.

Таблиця 3
Мінеральний склад бобових³⁸

Найменування бобових	Вміст на 100 г бобових									
	Мг %							Мкг %		
	К	Р	Мg	Са	Na	Mn	Fe	Zn	Cu	Se
Пут	718	252	79	57	24	21,3	4,31	2,76	0,66	-
Квасоля	1800	301	190	240	16	1,80	10,40	3,67	0,98	12,8
Горох	852	334	63	46	5	1,19	4,73	3,49	0,81	10,7
Сочевиця	677	281	47	35	6	1,39	6,51	3,27	0,75	0,1

Популяризація та розширення можливостей використання бобових для виробництва харчової продукції дозволить забезпечити споживання населенням України рекомендованої норми рослинного білка 20...25 г на день⁴².

Аналіз літературних джерел та інтернет-ресурсів доводить актуальність і доцільність використання саме бобових як рецептурного

⁴⁰ Polak R., Phillips E.M., Campbell A. Legumes: Health Benefits and Culinary Approaches to Increase Intake. *Clin Diabetes*. 2015. Vol. 33. No 4. P. 198-205. DOI: <https://doi.org/10.2337/diaclin.33.4.198>.

⁴¹ Nerea Becerra-Tomás, Christopher Papandreou, Jordi Salas-Salvadó, Legume Consumption and Cardiometabolic Health, *Advances in Nutrition*. 2019. Vol. 10. *Supplement 4*. P. 437-450. DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz003>.

⁴² Amoah Isaac, Angela Ascione, Fares M. S. Muthanna, Alessandra Feraco, Elisabetta Camajani, Stefania Gorini, Andrea Armani, Massimiliano Caprio, and Mauro Lombardo. Sustainable Strategies for Increasing Legume Consumption: Culinary and Educational Approaches. *Foods*. 2023. Vol. 12. No 11: 2265. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12112265>

компонента у виробництві інноваційної харчової продукції. Узагальнений харчовий ланцюг, який охоплює процеси діяльності, пов'язані із бобовими, від вирощування до отримання харчових продуктів подано на рис.1.

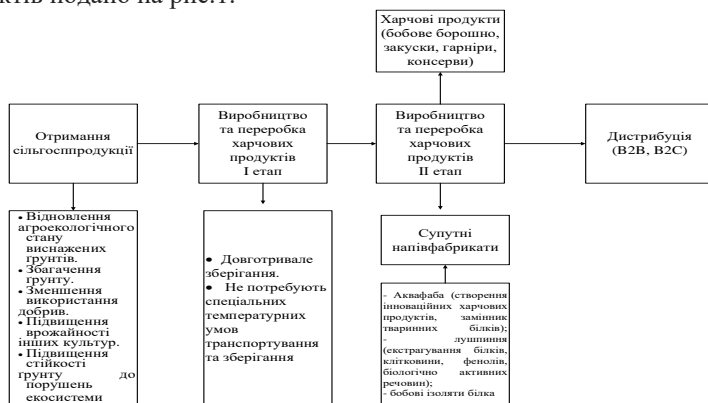


Рис. 1. Переваги бобових для кожного операційного сектору виробничого процесу перетворення посівного матеріалу в харчовий продукт

Бобові мають ніжний, не яскраво-виражений смак, який добре поєднується з різноманітними спеціями, прянощами й іншими харчовими продуктами. Це дозволить створювати продукти із заданими органолептичними показниками з широкою смаковою лінійкою, що задовольнить споживчі запити й дасть змогу оновлювати смаки та текстуру залежно від споживчих трендів.

Бобові – джерело рослинного білка, вуглеводів, поліцукридів, клітковини, вітамінів, що при споживанні позитивно впливають на організм людини. Але слід зазначити, що поряд із високою поживною цінністю для бобових характерна наявність антинутриєнтів, негативний вплив яких майже повністю втрачається після гідромеханічного та гідротермічного оброблення.

1.2. Процеси, які відбуваються під час гідромеханічного та гідротермічного оброблення бобових

Технологічний процес приготування бобових починається з гідромеханічного оброблення. Попереднє замочування приводить до набухання бобових, що розм'якшує їхню текстуру⁴³, зменшує тривалість

⁴³ Rui Costa, Francesca Fusco, João F.M. Gândara, Mass transfer dynamics in soaking of chickpea, *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 227. P. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.004>

наступного гідротермічного оброблення, поліпшує засвоюваність бобових організмом, адже знижується вміст антинутрієнтів, які дифундують у воду для замочування. До антипоживних речовин, які входять до складу бобових, відносять: інгібітори ферментів⁴⁴ і трипсину⁴⁵, олігоцукриди⁴⁶, дубильні речовини (таніни)^{47,48}, фітинову кислоту^{49,50}. Антипоживні речовини бобових зменшують засвоєння білка, вітамінів, мінеральних речовин^{44,45}; крім того, деякі з них спричиняють метеоризм і здуття⁴⁶. Проте олігоцукриди мають пребіотичні властивості, що підтверджено в роботі⁵¹, виявлено їхні антиоксидантні властивості, потенціал для розробки синбіотиків. В огляді⁵² зазначено, що фітинова кислота має антиоксидантні, протипухлинні властивості, знижує рівень холестерину і цукру.

Замочування починається з дифузії води в насінневу оболонку бобових із наступною міграцією рідини всередину для поглинання її крохмалем, білками, волокнами і займання вільних порожніх просторів. Це приводить до набухання, рівномірного розподілу води всередині

⁴⁴ Gouri Das, Anand Sharma, Prabir K. Sarkar, Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes, *Applied Food Research*. 2022. Vol. 2. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>.

⁴⁵ Abd El-Hady E.A., Habiba R.A., Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds, *LWT – Food Science and Technology*. 2003. Vol. 36. Issue 3. P. 285-293. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00217-7](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00217-7).

⁴⁶ Oligosaccharide Content and Composition of Legumes and Their Reduction by Soaking, Cooking, Ultrasound, and High Hydrostatic Pressure In Hwa Han, Byung-Kee Baik. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0428>

⁴⁷ Gilani G.S., Cockell K.A., Sepehr E. Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *JAOAC Int*. 2005. Vol. 88. No 3. P. 967-987. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16001874/>

⁴⁸ Timoracká M., Vollmannová A., Bystrická J. Polyphenols in chosen species of legume – a review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2010. Vol. 4. No 4. P. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.5219/81>

⁴⁹ Tabekhia M. M., and B. S. Luh. Effect of germination, cooking, and canning on phosphorus and phytate retention in dry beans. *Journal of Food Science*. 1980. Vol. 45. No 2. P. 406–408. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb02631.x>.

⁵⁰ Wang X., Yang R., Jin X. Effect of germination and incubation on Zn, Fe, and Ca bioavailability values of soybeans (*Glycine max L.*) and mung beans (*Vigna radiate L.*). *Food Sci Biotechnol*. 2015. Vol. 24. P.1829–1835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0239-0>

⁵¹ Neeranara Pandae, Weerada Krangkrathok, Thornthan Sawangwan, Nipapom Ngernyung, Sudathip Chantorn, Bioactivity and prebiotic properties of raffinose oligosaccharides derived from different chickpeas for alternative functional food application, *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2024. Vol. 31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100412>.

⁵² Jasia Nissar, Tehmeena Ahad, HR Naik and SZ Hussain. A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical. *J Pharmacogn Phytochem*. 2017. Vol. 6. No 6. P.1554-1560. URL: <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartV/6-6-208-319.pdf>

міжклітинних стінок⁵³, що забезпечує середовище для розчинення твердих речовин і втрати розчинних твердих речовин. Замочування відбувається до досягнення рівноваги між концентраціями внутрішніх та зовнішніх розчинів⁴³. Попереднє поглинання води полегшує набухання, желатинізацію та денатурацію крохмалю^{53,54}. Замочування зменшує вміст антипоживних речовин, адже вони мають водорозчинну природу та дифундують у рідину для замочування⁴⁵. Так, інгібітори трипсину за попереднього замочування можна зменшити на 92%⁵⁵, олігоцукриди на 28...36%, фітинову кислоту на 57...58%⁵⁵.

На початку замочування швидкість водопоглинання пришвидшена через заповнення вільних просторів через насіннєвий рубчик⁵⁶. Протягом перших годин замочування залежно від виду бобових досягається поглинання рідини до 90% від загальної маси бобових⁵⁷. Підвищення температури замочування, завдяки денатурації білка, покращує водоутримуючу здатність⁴³, зменшує загальну тривалість гідромеханічного оброблення. Замочування вище температури желатинізації крохмалю (56...60°C) збільшує втрати сухих речовин, а саме сполук азоту, цукру, кальцію, магнію, водорозчинних вітамінів⁴³, надає твердості бобовим⁵³.

pH водного середовища впливає на водопоглинання рідини бобовими, втрату ними вітамінів, антипоживних речовин, твердості. У лужному середовищі поглинання води бобовими збільшується до 40%⁵⁵, зростає вміст легкорозчинної геміцелюлози, целюлози, відбуваються втрати антипоживних речовин, проте одночасно із цим збільшується втрата вітамінів до 57%⁵⁸.

⁵³ Koriyama T., Sato Y., Iijima K., Kasai M. Influences of Soaking Temperature and Storage Conditions on Hardening of Soybeans (*Glycine max*) and Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*). *J Food Sci.* 2017. Vol. 82. No 7. P. 1546-1556. DOI: 10.1111/1750-3841.13749.

⁵⁴ Cevdet Nergiz, Erkan Gökğöz. Effects of traditional cooking methods on some antinutrients and in vitro protein digestibility of dry bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Turkey. *International Journal of Food Science and Technology.* 2007. Vol. 42. P. 868-873. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01297.x

⁵⁵ Muhammad Siddiq, Mark A. Uebersax. Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition. *John Wiley & Sons.* 2012. |DOI:10.1002/9781118448298.

⁵⁶ Johnny S., Razavi S.M., Khodaei D. Hydration kinetics and physical properties of split chickpea as affected by soaking temperature and time. *J Food Sci Technol.* 2015. Vol. 52. No 12. P. 8377-8382. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1893-1>.

⁵⁷ He Yue, Youn Young Shim, Jianheng Shen, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Venkatesh Meda, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soybean II: Physicochemical Properties and Composition Characterized by NMR Analysis. *Foods.* 2021. Vol. 10. No 11: 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112589>

⁵⁸ Marin Prodanov, Isabel Sierra, Concepción Vidal-Valverde, Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes. *Food Chemistry.* 2004. Vol. 84. Issue 2. P. 271-277. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00211-5).

Варіння основним способом у великій кількості рідини – традиційний спосіб теплової обробки, який дозволяє отримати продукт, готовий до вживання. Варіння розм'якшує бобові, надаючи їм ніжну, однорідну текстуру, що пов'язано з деструкцією клітинних стінок, набуханням і клейстеризацією крохмалю, денатурацією білків⁵⁹. Під час гідротермічного оброблення шкірка бобових контролює дифузію речовин із насіння у воду; вона пошкоджується в разі тривалого гідротермічного оброблення, що пришвидшує дифузію нерозчинних речовин у розчин для варіння⁶⁰.

Доведення бобових до готовності мікрохвильовим нагріванням знижує вміст вітамінів групи В, мінеральних речовин Na, Ca, Mg, сірковмісних амінокислот⁶¹. Автоклавування, обробка високим тиском та ультразвуком у середньому дають менший відсоток засвоюваного білка⁶². У ході бланшування та стерилізації, порівняно з варінням, додатково втрачаються 30% білка, 44% харчових волокон, 33% магнію, 38% фітинової кислоти⁶³.

1.3. Сучасний стан та теоретичні уявлення про супутній напівфабрикат – аквафабу

Донедавна однією з причин дещо обмеженого використання бобових серед операторів ринку був складний технологічний процес, який потребував надмірного споживання води. Проте зараз рідина перетворилась із побічного продукту в інноваційний харчовий продукт, що відповідає одному з принципів циркулярної економіки «resycle» та отримав назву «аквафаба».

Аквафаба – багатофункціональний харчовий продукт, широке використання якого дозволить зменшити негативний вплив

⁵⁹ Beata Klameczynska, Zuzanna Czuchajowska, Byung-Kee Baik. Composition, soaking, cooking properties and thermal characteristics of starch of chickpeas, wrinkled peas and smooth peas. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00486.x>

⁶⁰ Yue He, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney, Rana Mustafa, Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 111. P. 27-42, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.035>.

⁶¹ Ohanenye, Ikenna C., Flora-Glad C. Ekezie, Roghayeh A. Sarteshnizi, Ruth T. Boachie, Chijioko U. Emenike, Xiaohong Sun, Ifeanyi D. Nwachukwu, and Chibuikwe C. Udenigwe. Legume Seed Protein Digestibility as Influenced by Traditional and Emerging Physical Processing Technologies. *Foods*. 2022. Vol. 11. No 15: 2299. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152299>

⁶² Drulyte, Donata, and Vibeke Orlien. The Effect of Processing on Digestion of Legume Proteins. *Foods*. 2019. Vol. 8. No 6: 224. <https://doi.org/10.3390/foods8060224>

⁶³ Margier, Marielle, Stéphane Georgé, Noureddine Hafnaoui, Didier Remond, Marion Nowicki, Laure Du Chaffaut, Marie-Josèphe Amiot, and Emmanuelle Reboul. Nutritional Composition and Bioactive Content of Legumes: Characterization of Pulses Frequently Consumed in France and Effect of the Cooking Method. *Nutrients*. 2018. Vol. 10. No 11: 1668. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111668>

тваринництва на природу, витрати води та забезпечити дотримання принципів циркулярної економіки під час виробництва інноваційних харчових продуктів.

З огляду на вже існуючі шляхи використання бобових у харчовій промисловості увага науковців зосереджена на супутньому напівфабрикаті – аквафабі, залишковій рідині, отриманій після гідротермічного оброблення бобових, яка проявляє емульгуючі, піноутворюючі, загущуючі, geleутворювальні властивості^{64,65}. На функціонально-технологічні властивості, хімічний склад аквафаби впливають сорт і генотип обраних бобових, регіон їх вирощування, клімат⁶⁶, параметри технологічного процесу доведення до кулінарної готовності бобових.

Зростаючий інтерес науковців до аквафаби обумовлений тим, що вона може стати потенційним альтернативним заміником тваринного білка, маючи схожі функціонально-технологічні властивості. Унаслідок узагальнення даних із літературних джерел та інтернет-ресурсів хімічний склад аквафаби подано у вигляді таблиці 4. Зведені дані дозволяють попередньо визначити теоретичну можливість використання аквафаби в харчовій промисловості.

⁶⁴ He, Yue, Sarah K. Purdy, Timothy J. Tse, Bunyamin Tar'an, Venkatesh Meda, Martin J. T. Reaney, and Rana Mustafa. Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs. *Foods*. 2021. Vol. 10. No. 9: 1978. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10091978>

⁶⁵ Mustafa R., Reaney M.J.T. Aquafaba, from Food Waste to a Value-Added Product. In *Food Wastes and By-products* (eds R. Campos-Vega, B.D. Oomah and H.A. Vergara-Castañeda). 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch4>

⁶⁶ He Yue, Youn Young Shim, Rana Mustafa, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney. Chickpea Cultivar Selection to Produce Aquafaba with Emulsion Properties. *Foods*. 2019. Vol. 8. No 12: 685. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8120685>

Хімічний склад аквафаби, %

Найменування сировини	Вміст, %						Л-ра
	Білок	Жир	Вуглеводи	Клітковина	Сапоніни	Зола	
1	2	3	4	5	6	7	8
Із сухого нуту	0,39...1,21	0,10...0,14	3,28...3,79	0,50...2,37	0,30...0,45	0,49...0,77	67, 68, 69, 70, 71
Із консервованого нуту	1,0...2,48	0,15...0,20	2,90...1,46	–	–	0,40...1,15	68, 72
У вигляді порошку з відвару нуту	21,70...22,6	0,00...0,01	–	6,00...8,70	–	13,10...13,40	73
Із колотого жовтого гороху	1,27±0,02	–	–	1,63±0,18	0,47±0,04	0,40±0,00	67
Із квасолі продовольчої	0,70±0,00	–	–	0,93±0,05	0,59±0,05	0,75±0,03	67
Із цілої зеленої сочевиці	1,51±0,01	–	–	2,09±0,02	1,20±0,10	0,48±0,00	67

Інформація щодо хімічного складу аквафаби різниться, адже авторами використовуються різні методики технологічного процесу

⁶⁷ Stantiall S.E., Dale K.J., Calizo F.S. Application of pulses cooking water as functional ingredients: the foaming and gelling abilities. *Eur Food Res Technol.* 2018. Vol. 244. No 11. P. 97–104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2943-x>

⁶⁸ Fuentes Choya P., Combarros-Fuertes P., Abarquero Camino D., Renes Bañuelos E., Prieto Gutiérrez B., Tornadijo Rodríguez ME, Fresno Baro JM. Study of the Technological Properties of Pedrosillano Chickpea Aquafaba and Its Application in the Production of Egg-Free Baked Meringues. *Foods.* 2023. Vol. 12. No 4:902. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12040902>

⁶⁹ Grossi Bovi Karatay, Grazielle, Ana Paula Rebellato, Caroline Joy Steel, and Miriam Dupas Hubinger. Chickpea Aquafaba-Based Emulsions as a Fat Replacer in Pound Cake: Impact on Cake Properties and Sensory Analysis *Foods.* 2022. Vol. 11. No 16: 2484. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162484>

⁷⁰ Crawford, Kaelyn, Catrin Tyl, and William Kerr. Evaluation of Processing Conditions and Hydrocolloid Addition on Functional Properties of Aquafaba. *Foods.* 2023. Vol. 12. No 4: 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12040775>

⁷¹ Alsalmán, Fatemah B., Mehmet Tulbek, Michael T. Nickerson and Hosahalli S. Ramaswamy. Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba. *Legume Science.* 2020. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.30>

⁷² Aquafaba Nutrition. URL: <https://www.aquafaba.com/nutrition.html>

⁷³ Edleman D., Hall C. Impact of Processing Method on AQF Functionality in Bakery Items. *Foods.* 2023. Vol.12. No 11:2210. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12112210>

отримання готової аквафаби та методики визначення її хімічного складу. Так, вміст білка в роботах^{68,74,75,76,77} визначено методом К'ельдаля, із перемноженням на коефіцієнт 6,25; у працях^{78,79,80} застосовано протонний магнітний резонанс; у розробках^{70,79,80,81,80} використано електрофорез у поліакриламідному гелі, завдяки якому можна визначити типи білків; у дослідженні⁷¹ застосовано метод Бредфорда; у роботах^{73,74,82} використано міжнародні методи аналізу АОАС хімічного складу для зернових та зернобобових культур. Для визначення мінеральних речовин у роботі⁸³ використано атомно-емісійний спектрометр з індуктивно зв'язаною плазмою. Вміст вуглеводів науковці⁶⁸ визначали за кількістю сухих речовин, за якими рораховували певні інші речовини. У праці⁸¹ застосовано феноло-сірчанокислотний метод, а вміст поліфенолів визначено методом Сінглтон і Россі.

⁷⁴ Grossi Bovi Karatay, Grazielle, Andrêssa Maria Medeiros Theóphilo Galvão, and Miriam Dupas Hubinger. Storage Stability of Conventional and High Internal Phase Emulsions Stabilized Solely by Chickpea Aquafaba. *Foods*. 2022. Vol. 11. No 11: 1588. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11111588>

⁷⁵ Mariana Cassel Meurer, Daiana de Souza, Lígia Damasceno Ferreira Marczak, Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba), *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109688>

⁷⁶ Erem Erenay, Akdeniz Esra, Çayır Merve, İçyer Necattin, Toker Omersaid. Fruit-based vegan ice cream-type frozen dessert with aquafaba: effect of fruit types on quality parameters. *Journal of Food Science and Technology*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05885-y>.

⁷⁷ Kumar A., Wadikar D., Pal S., Yadav D.K., Semwal A.D. Development and Evaluation of High Protein Spread Based on Aquafaba. *Food Science and Engineering*. 2023. Vol. 4 No. 2. P. 314-323. URL: <https://ojs.wiserpub.com/index.php/FSE/article/view/3226>

⁷⁸ He, Yue, Youn Young Shim, Jianheng Shen, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Venkatesh Meda, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soy bean II: Physicochemical Properties and Composition Characterized by NMR Analysis. *Foods*. 10. 2021. No. 11: 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112589>

⁷⁹ Shim Y. Y., Mustafa R., Shen J., Ratanapariyanuch K., Reaney M. J. T. Composition and Properties of Aquafaba: Water Recovered from Commercially Canned Chickpeas. *J. Vis. Exp*. 2018, Vol. 132. DOI: <https://doi.org/10.3791/56305>

⁸⁰ Ramos-Figueroa J.S., Tse T.J., Shen J., Purdy S.K., Kim J.K., Kim Y.J., Han B.K., Hong J.Y., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Foaming with Starch: Exploring Faba Bean Aquafaba as a Green Alternative. *Foods*. 2023. Vol. 12. 3391. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12183391>

⁸¹ Echeverria-Jaramillo, Esteban, Yoon-ha Kim, Ye-rim Nam, Yi-fan Zheng, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Sang Jin Kang, Ji Hye Kim, Youn Young Shim, and Weon-Sun Shin. Revalorization of the Cooking Water (Aquafaba) from Soybean Varieties Generated as a By-Product of Food Manufacturing in Korea. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 10: 2287. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10102287>

⁸² Shim Youn Young, Yue He, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Venkatesh Meda, Wan Soo Hong, Weon-Sun Shin, Sang Jin Kang, Ji Hye Kim, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soybean I: A Functional Vegan Food Additive. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 10: 2433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10102433>

⁸³ Puzhen Sun, Yuwei Zhang, Yanyu Zhang, Ziqian Feng, Sung Je Lee, Luca Serventi, Antimicrobial activity of tofu whey and steam blanching pea water for enhancement of shelf-life of 3D printed mashed potatoes. *Food Bioscience*, 2022. Vol. 50. Part A. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102049>.

Узагальнивши одержані результати, слід зазначити, що вміст білка в аквафабі залежить від виду бобових та технологічних параметрів доведення бобових до готовності. Таким чином, вміст білка в аквафабі з нуту становить 0,39...3,00%, із квасолі 0,70%, із жовтого колотого гороху 1,27%, із цілої червоної сочевиці 1,51%⁶⁷. У дослідженні⁷⁹ ідентифіковано наявність в аквафабі білків теплового шоку, терморозчинних, запасних, а саме легуміну та провіциліну, а в роботі⁷⁰ виявлено лише альбуміни та глобуліни. Оскільки аквафаба містить термостабільні білки, це дозволяє використовувати її в широкому діапазоні температур, заморожуючи чи нагріваючи без втрати властивостей⁸⁴. Унаслідок нагрівання аквафаби, завдяки наявності в її складі поліцукридів та білків, утворюються амфіфільні полімери з покращеними емульгуючими та піноутворюючими властивостями⁶⁵.

Аквафаба, отримана з консервованого нуту, містить 63% вуглеводів у перерахунку на суху вагу⁸⁵, аквафаба свіжозварена містить 3,39...7,10% вуглеводів^{68, 69, 74, 76, 81}.

Сухий порошок аквафаби з нуту містить 20% крохмалю, з якого (24,25±0,58)% швидко засвоюваний, (0,77±0,44)% повільно засвоюваний, (3,84±0,10)% резистентний крохмаль⁸⁵.

У роботі⁸³ наведено мінеральний склад екстракту аквафаби, отриманої після бланшування гороху, де зазначено вміст речовин: фосфор (7313,0±93,0) мг/кг; сірка (4458,0±22,0) мг/кг; калій (57721,0±2187,0) мг/кг; кальцій (810,0±6,0) мг/кг; магній (1960,0±40,0) мг/кг; цинк (208,0±4,0) мг/кг; купрум (44,9±0,5) мг/кг; залізо (18,1±2,9) мг/кг; манган (32,0±0,4) мг/кг. Іншими дослідженнями⁷² визначено мінеральний склад аквафаби з консервованого нуту, де кальцію міститься 7,3 мг/100 г, заліза – 0,5 мг/100 г, натрію – 3,2 мг/100 г.

Автори⁸² виявили в аквафабі з нуту рафінозу, арабінозу, стахіозу, при цьому глюкоза та галактоза переходили в рідину лише в разі гідромеханічного оброблення, під час гідротермічного оброблення руйнувалися. У роботі⁷⁹ виявлено наявність глюкози, цукрози, поліцукридів у готовій аквафабі. У праці⁷³ науковці визначили конкретні значення певних моноцукридів і поліцукридів, дослідивши порошок аквафаби, який попередньо висушили, використавши ліофізацію, сублімацію чи розпилювальну сушку. У порошок аквафаби виявлено 0,10–0,30% глюкози, 12,70–14,20% цукрози,

⁸⁴ Tomás Lafarga, Silvia Villaró, Gloria Bobo, Ingrid Aguiló-Aguayo, Optimisation of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2019. Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100177>

⁸⁵ Alsaman, Fatemah B., Hosahalli S. Ramaswamy. Evaluation of Changes in Protein Quality of High-Pressure Treated Aqueous Aquafaba. *Molecules*. 2021. Vol. 26. No 1: 234. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26010234>

0,10–0,20% фруктози, 9,70–10,30% стахіози, 3,90–4,00% рафінози. При цьому у свіжозвареній і профільтрованій аквафабі виявлено (0,01±0,01)% глюкози, (2,00±0,12)% цукрози, (1,40±0,09)% стахіози, (0,50±0,03)% рафінози⁷³.

В аквафабу переходять і поліфеноли, вміст яких складає 0,00290...0,00558% залежно від виду бобових⁸⁶. Вони проявляють антиоксидантну, протизапальну, знеболювальну, зміцнювальну дію на організм людини⁸⁷. За даними дослідників кафедри харчової науки університету в Греції, загальний вміст фенолів в аквафабі складає (18,87±0,66) мг/г, загальний вміст флавоноїдів (1,10±0,03) мг/г⁸⁸. Наявні фенольні екстракти та біологічно активні сполуки в аквафабі мають протипухлинні й антиоксидантні властивості, позитивно впливають на розвиток апоптозу^{89,90}, а виявлений леводоп використовується для лікування паркінсонізму⁸⁰. Доведено, що аквафаба завдяки своєму хімічному складу має потенціал для використання не лише в харчовій, а і фармацевтичній промисловості.

У роботі⁸⁰ після екстракції сухого порошку аквафаби етанолом виявлено 77% амілози та 23% білка. Амілоза, як окремий компонент, у харчовій промисловості застосовується для загущення та стабілізації емульсій, проте визначити реальний вплив амілози на функціонально-технологічні властивості аквафаби зараз неможливо, адже її виявлено тільки в одному дослідженні⁸⁰.

В аквафабу дифундують переважно альбуміни і глобуліни, що дозволяє припустити, що температура денатурації білків в аквафабі перебуває в межах 83...110°C⁸⁵. Наявні в аквафабі білки впливають на її властивості утворювати емульсійні системи, ступінь денатурації яких

⁸⁶ Lafarga Tomas, Villaró Silvia, Bobo Gloria, Simó Joan, Aguiló-Aguayo Ingrid. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in cooked pulses. *International Journal of Food Science & Technology*. 2019. Vol.54. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14082>.

⁸⁷ Balwinder Singh, Jatinder Pal Singh, Amritpal Kaur, Narpinder Singh, Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*. 2017. Vol. 101. P. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>.

⁸⁸ Achilladelis P., Petsas A.S., Karantonis H.C. Effect of Fortification of Tahini with Natural Plant Origin Raw Materials on Its Bioactivity. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No 17:9626. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179626>

⁸⁹ Bochenek H., Francis N., Santhakumar A.B., Blanchard C.L., Chinkwo K.A. The antioxidant and anticancer properties of chickpea water and chickpea polyphenol extracts in vitro. *Cereal Chemistry*. 2023. Vol. 100. No 4. P. 895-903. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10671>

⁹⁰ Bochenek H., Francis N., Santhakumar A.B., Blanchard C.L., Chinkwo K.A. Chickpea Water and Chickpea Polyphenols Induce Apoptosis and Alleviate Cell Migration In Vitro in Human Colon Adenocarcinoma Cells. *Preprints* 2022. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202206.0317.v1>

спричиняє збільшення розміру крапель емульсійної системи, що знижує їх стійкість^{91,92}.

Ізоелектрична точка аквафаби з нуту становить 4,6⁷⁰, що відповідає ізоелектричній точці білка відварного нуту 4,5⁹³.

Тривале гідротермічне оброблення бобових необхідне для отримання відварних бобових із високими органолептичними показниками, нормального перебігу денатурації білків та клейстеризації крохмалю⁹⁴, дифузії нутрієнтів із бобових у аквафабу, що забезпечує її функціонально-технологічні властивості. У разі недостатньої тривалості гідротермічного оброблення бобових отримана аквафаба містить антинутрієнти, зокрема фітинову кислоту 0,011...0,068%, таніни 0,00064...0,01180%, має менший вміст білка 0,5...0,8%. У разі доведення до кулінарної готовності бобових із одночасним тривалим гідротермічним обробленням показники антинутрієнтів в аквафабі знижуються до (0,00±0,01)%, адже змінюються їхні гідролітична активність і біодоступність, що водночас відповідає вищим значенням білка в аквафабі⁷¹.

Аквафаба, отримана без попереднього гідротермічного оброблення, має низьку піноутворюючу та емульгуючу здатність, проте на стійкість отриманих пін чи емульсій це не впливає⁸². Крім того, вихід готової аквафаби менший, адже негідратовані бобові під час гідротермічного оброблення поглинають більшу кількість рідини, чим обумовлена необхідність цього етапу не тільки для зменшення тривалості гідротермічного оброблення, але й для отримання якісного харчового продукту.

Гідромеханічне оброблення нуту у воді при 85°C зменшує тривалість гідротермічного оброблення, проте це знижує індекс емульгуючої активності аквафаби. Крім того, зменшення або збільшення тривалості гідротермічного оброблення знижує емульгуючу активність на 27...46%, але на стабільність отриманих емульсій це не впливає⁶⁴. За

⁹¹ Nataly Dapuetto, Elizabeth Troncoso, Camila Mella, Rommy N. Zúñiga. The effect of denaturation degree of protein on the microstructure, rheology and physical stability of oil-in-water (O/W) emulsions stabilized by whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol.1. P. 253-261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.005>.

⁹² Pan N., Wan W., Du X., Kong B., Liu Q., Lv H., Xia X., Li F. Mechanisms of Change in Emulsifying Capacity Induced by Protein Denaturation and Aggregation in Quick-Frozen Pork Patties with Different Fat Levels and Freeze-Thaw Cycles. *Foods*. 2021. Vol.11. No 1:44. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010044>.

⁹³ El-Sohaimy Sobhy, Brennan Marageta, Darwish Amira & Brennan, Charles. Chickpea Protein Isolation, Characterization and Application in Muffin Enrichment. *International Journal of Food Studies*. 2021. P. 57-71. DOI: <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.SI.2021.a5>.

⁹⁴ Alsaman F.B., Tulbek M., Nickerson M., Ramaswamy H.S., Evaluation of factors affecting aquafaba rheological and thermal properties. *LWT – Food Science and Technology*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109831>.

традиційного способу гідротермічного оброблення бобових концентрація білка в аквафабі вище, ніж при варінні під тиском, а гідромодуль гідротермічного оброблення впливає на концентрацію білка та в'язкість рідини⁷⁰. Для максимальної дифузії нутрієнтів із бобових в аквафабу деякі автори рекомендують залишити бобові в рідині до повного остигання, але ця рекомендація можлива для реалізації лише в лабораторних умовах та при отриманні невеликої кількості рідини.

Колір бобових впливає на органолептичні показники аквафаби та харчових продуктів на основі неї, адже різні види бобових містять рослинні пігменти, які під час гідромеханічного та гідротермічного оброблення екстрагуються у водяний розчин. Бобові темного забарвлення мають у своєму складі антоціани, зелений горошок – хлорофіл, червона сочевиця, жовтий горох, нут – каротиноїди. У роботі⁹⁵ відзначено, що в разі використання жовтої сочевиці та нуту отриманий майонез має жовто-оранжевий колір, адже змінюється його індекс жовтизни, проте в інших наукових працях сильні зміни забарвлення не зазначено, що може бути пов'язано з різним вмістом сухих речовин в аквафабі та відповідно концентрацією пігментів.

У роботах^{70,95,96,97} охарактеризовано емульгуючі властивості аквафаби. Так, науковці^{96,97} дослідили стабільність емульсійних систем «аквафаба–жир» за умови додавання поліцукридів, а саме цитрусової клітковини. Проте найвищі значення стабільності були досягнені лише в разі поєднання клітковини із ксантановою камеддю. Автори^{95,70} підтвердили необхідність використання 0,2...0,3% ксантанової камеді для підвищення в'язкості та стійкості систем. Низька стабільність емульсійних систем «аквафаба–жир» пов'язана з коалесценцією, про що зазначено в наукових джерелах. Проте, ця інформація стосується аквафаби, отриманої за різних технологічних параметрів, відповідно, концентрація певних сухих речовин відрізняється.

Основною проблемою дослідження аквафаби є різні технологічні параметри доведення бобових до готовності, що безпосередньо впливає на дифузію речовин із них у варильне середовище. На сьогодні це унеможливує отримання єдиної стандартизованої методики

⁹⁵ Emanuele Armaforte, Lynsey Hopper, Gillian Stevenson, Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. *LWT*. 2021. Vol. 136. Part 2, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341>

⁹⁶ Nguyet Nguyen, Chánh Ngô. Vai trò của citrus fiber đến các tính chất cấu trúc của mayonnaise chay, ít béo được chế biến từ dịch đậu ván và dầu dừa role of citrus fiber in the textural properties of vegan and low-fat mayonnaise made from lablab purpureus aquafaba and coconut oil

⁹⁷ Dương Trịnh, Trang NGUYỄN, Nguyet Nguyen. ảnh hưởng của xơ cam quýt đến tính chất cấu trúc, vật lý của kem lạnh không sữa từ dịch đậu ngự, sữa dừa và khoai lang tím. *Journal of Science and Technology*. 2021. IUH. 50. DOI: <https://doi.org/10.46242/jst-iuh.v50i08.967>

виробництва аквафаби з однаковими функціонально-технологічними властивостями.

Після аналітичного огляду літературних джерел виникла об'єктивна потреба практичного дослідження можливостей використання аквафаби для виробництва харчових продуктів з емульсійною структурою. Дослідження стійкості емульсійних систем «аквафаба–жир» дозволить визначити раціональні параметри отримання емульсій, що є передумовою створення нових зразків харчової продукції з емульсійною структурою з одночасним дотриманням принципів циркулярної економіки.

Ураховуючи інноваційний потенціал аквафаби, постають завдання щодо дослідження її хімічного складу, функціонально-технологічних властивостей, харчової цінності. Одним із перспективних напрямів використання аквафаби є виробництво харчової продукції з емульсійною структурою.

1.4. Сучасні уявлення про створення та досягнення стабілізації емульсійних систем

Серед представлених на ринку харчових продуктів значний відсоток становлять продукти з емульсійною структурою. Виробництво продукції на основі емульсійних систем дозволяє отримувати функціональні харчові продукти, регулювати вміст жиру, формувати необхідні органолептичні показники, знижувати вартість і пролонговувати терміни зберігання. Створення емульсійних систем, забезпечення їх стійкості – питання, що вимагає не лише практичних, але й наукових основ розуміння емульсійних систем та явищ, які виникають на межі поділу фаз, що є передумовою створення інноваційних харчових продуктів з емульсійною структурою.

Наукові основи стійкості емульсійних систем викладено в роботах Гринченко О. О.^{98,99,100,101}, Гурського П. В.¹⁰², Гринченко Н. Г.¹⁰³, Горальчука А. Б.^{99, 100,101}, McClements D. J.¹⁰⁴, Shen W.¹⁰⁵, Gerald Muschiolik¹⁰⁶, Xin Qiao¹⁰⁷, César Burgos-Díaz¹⁰⁸, Shahin Roohinejad¹⁰⁹.

Емульсії – це ліофобні дисперсійні системи, які складаються із взаємно незмішуваних рідин, одна з яких виступає дисперсійним середовищем, інша – дисперсною фазою. Емульсії поділяються на прямі, обернені та складні. Прямі емульсії першого роду, або емульсії неполярної рідини в полярній – це емульсії типу «жир у воді», коли дисперсна фаза (жир) розподілений в дисперсійному середовищі (вода).

⁹⁸ Andrievieva S., Kolesnikova M., Hrynchenko O., Iurchenko S., and R. Plotnikova. Technologies of sweet sauces with the use of physical modification starches. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31435/rsglobal/008>

⁹⁹ Goralchuk A., Omel'chenko S., Kotlyar O., Grinchenko O., Mikhaylov V. Developing a model of the foam emulsion system and confirming the role of the yield stress shear of interfacial adsorption layers to provide its formation and stability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3/11 (81). P. 11-19. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69384>.

¹⁰⁰ Omelchenko S., Horalchuk A., Hrynchenko O. Argumentation of emulsifier part in the recipe of foam and emulsion dairy products containing vegetable fats. *The advanced science journal*. 2014. № 7. P. 28-32. DOI: 10.15550/ASJ.2014.07.028.

¹⁰¹ Горальчук А. Б. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів збивних для кулінарної та кондитерської продукції з поліфазною структурою: дис. д-ра техн. наук: 05.18.16. Х., ХДУХТ. 2016. 374 с.

¹⁰² Sachko A., Sema O., Grinchenko O., Gubsky S. Canned Beans Aquafaba as an Egg White Substitute in the Technology of Low-Fat Mayonnaise. *Engineering Proceedings*. 2023. Vol. 56 No1:206. DOI: <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-16291>

¹⁰³ Grynchenko N., Tyutyukova D., Pyvovarov P., Nagornyi O. Development of technology for the production of semifinished products with an emulsion structure based on the decalcified dairy raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 2(11-92). P. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127113>

¹⁰⁴ McClements D.J. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*, Second Edition (2nd ed.). CRC Press. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420039436>

¹⁰⁵ Chen L., Ao F., Ge X., Shen W. Food-Grade Pickering Emulsions: ration, Stabilization and Applications. *Molecules*. 2020. Vol. 25. No 14:3202. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25143202>.

¹⁰⁶ Gerald Muschiolik, Multiple emulsions for food use. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2007. Vol. 12. Issues 4–5, P. 213-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2007.07.006>.

¹⁰⁷ Xin Qiao, Fudi Liu, Zhihao Kong, Zhenyu Yang, Lei Dai, Yanfei Wang, Qingjie Sun, David Julian McClements, Xingfeng Xu, Pickering emulsion gel stabilized by pea protein nanoparticle induced by heat-assisted pH-shifting for curcumin delivery. *Journal of Food Engineering*. 2023. Vol. 350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111504>.

¹⁰⁸ César Burgos-Díaz, Traudy Wandersleben, Ana M. Marqués, Mónica Rubilar, Multilayer emulsions stabilized by vegetable proteins and polysaccharides. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2016. Vol. 25. P. 51-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2016.06.014>.

¹⁰⁹ Roohinejad Shahin, Greiner Ralf, Oey Indrawati, Wen Jingyuan. Emulsion-based Systems for Delivery of Food Active Compounds: Formation, Application. *Health and Safety*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119247159>

Обернені емульсії (другого роду), або емульсії полярної рідини в неполярній – типу «вода в жирі», коли дисперсна фаза (вода) розподілена в дисперсійному середовищі (жирі). Для розробки технології закусок з емульсійною структурою необхідне розуміння принципів утворення емульсійних систем та знання їх класифікацій, у зв'язку з чим проведено детальний аналіз літературних джерел та інтернет-ресурсів.

Емульсії широко використовуються в харчовій промисловості як структурна основа продуктів з емульсійною структурою, зокрема соусів, напоїв, салатних заправок, закусок, морозива, десертів. Емульсії надають харчовим продуктам необхідні функціонально-технологічні та органолептичні властивості, такі як смак, запах, зовнішній вигляд, дозволяють інкапсулювати різноманітні харчові добавки, біологічно активні речовини, запахи. Проте використання емульсій у харчовій промисловості має певні обмеження, адже вони агрегативно та кінетично не стійкі протягом часу, що спричиняє використання емульгаторів. Більшість емульсій є непрозорими, містять підвищену кількість жиру, що перешкоджає отриманню харчових продуктів зі зниженою калорійністю. Зниження стійкості емульсій пов'язане з хімічними та фізичними процесами, які відбуваються в емульсійних системах. До фізичних чинників належать процеси коалесценції, флокуляції, седиментації, інверсії фаз, оствальдівського визрівання; до хімічних – окиснення ліпідів, гідроліз. Розуміння вищезазначених чинників необхідне для виробництва харчових продуктів із високими органолептичними показниками.

Коалесценція – злиття крапель емульсійної системи, що приводить до розділення емульсії на дві фази, цей процес необоротний¹¹⁰. Дослідження перебігу коалесценції в емульсійних системах – обов'язкова умова для отримання харчових продуктів пролонгованих термінів зберігання. Коалесценція пов'язана з фізико-хімічними процесами в емульсійній системі, колоїдними та гідродинамічними взаємодіями між краплями, властивостями міжфазних мембран, на що впливає відсотковий вміст і тип емульгатора та технологічні параметри отримання емульсійних систем¹⁰⁴.

Флокуляція – з'єднання частинок у більші, що призводить до утворення осаду, це пришвидшує гравітаційне розділення емульсій та підвищує в'язкість систем, процес характерний для системи «жир у воді». Для контрольованої флокуляції необхідне врахування електростатичної, гідрофобної, гідродинамічної, стеричної взаємодії, біополімерних властивостей¹⁰⁴, що впливає на вибір типу та вмісту

¹¹⁰ Tadros T. Coalescence. In: Tadros, T. (eds) Encyclopedia of Colloid and Interface Science. Springer, Berlin, Heidelberg. 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20665-8_51

необхідного емульгатора, чим зумовлено теоретичне розуміння зазначених властивостей.

Інверсія фаз – перехід емульсії типу «жир у воді» в емульсію типу «вода в жирі». Цей процес широко використовується в харчовій промисловості для отримання масла, маргарину, спреду. Причинами інверсії фаз є тип і концентрація використаного емульгатора, температура, відсотковий вміст дисперсної фази, при цьому змінюється в'язкість.

Оствальдівське визрівання – процес, при якому розмір краплі змінюється внаслідок поглинання краплі меншого розміру у зв'язку з дифузією дисперсної фази через безперервну фазу. На зазначений процес впливає розмір крапель емульсії, міжфазний натяг, дифузія, склад емульсійної системи¹⁰⁴, частіше цей процес характерний для емульсійних систем типу «вода в маслі».

Седиментація – осадження твердих частинок під дією сил тяжіння, на що впливає вміст дисперсної фази, розміри і вага твердих частинок¹¹¹.

Для покращення агрегативної та кінетичної стійкості емульсійних систем, запобігання їх фізико-хімічним змінам використовуються емульгатори – поверхнево-активні речовини, які зменшують міжфазний натяг, покращують органолептичні показники, збільшують терміни зберігання.

За природою походженням емульгатори поділяються на синтетичні та натуральні. До натуральних емульгаторів відносяться сапоніни й лецитини, до синтетичних – полісорбати, сорбітани моностеарату, карбоксиметилцелюлоза. Вибираючи емульгатор, необхідно враховувати його тип, концентрацію, сумісність з іншими рецептурними компонентами, іонну силу, в'язкість системи, функціонально-технологічні властивості та необхідність отримання «чистої етикетки»¹¹².

Окремо класифікуються емульгатори з низькою молекулярною масою, амфіфільні біополімери, колоїдні (тверді) частинки (для емульсій Пікерінга)¹¹³. Низькомолекулярні емульгатори залежно від заряду

¹¹¹ Błaszczuk, Mariola M., Łukasz Przybysz. Sedimentation of Microparticles in Highly Concentrated Non-Newtonian Emulsions. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. No. 20: 10442. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122010442>

¹¹² Kupikowska-Stobba, Barbara, Jacek Domagała, and Mirosław M. Kasprzak. Critical Review of Techniques for Food Emulsion Characterization. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. No. 3: 1069. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14031069>

¹¹³ Selina Cox, Alicia Sandall, Leanne Smith, Megan Rossi, Kevin Whelan, Food additive emulsifiers: a review of their role in foods, legislation and classifications, presence in food supply, dietary exposure, and safety assessment, *Nutrition Reviews*. 2021. Vol. 79. Issue 6. P. 726–741. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa038>

полюсної головки поділяються на неіонні, іонні та амфотерні¹¹⁴; до цього виду емульгаторів належать лецитини, моногліцериди, дигліцериди, полісорбати. До амфіфільних біополімерів відносяться рослинні й тваринні білки, фосфоліпіди, поліцукриди [145].

Поділяють емульгатори також за значенням гідрофільно-ліпофільного балансу НЛВ. Числа 2-6 вказують на гідрофобну (розчинність в маслі), 8-18 на гідрофільну (розчинність у воді) природу емульгатора¹¹⁵, зміна розчинності емульгаторів змінює їх можливість використання з емульсій типу «вода в жирі» до типу «жир у воді».

Для отримання емульсій використовують низькоенергетичні або високоенергетичні методи. До високоенергетичних методів відносять оброблення ультразвуком, гомогенізацію високим тиском, мікрофлюїдизацію. Вони дозволяють контролювати розмір крапель, проте ці методи дорого коштують, потребують спеціального устаткування, не застосовуються для термолабільних речовин. До низькоенергетичних методів належать мимовільне емульгування, інверсія фаз, метод заміни розчинника. Ці методи не вимагають спеціального обладнання, мають низьку вартість, проте вимагають точності при виборі типу та концентрації вмісту ПАВ, обмеження у вмісті жирової фази¹¹⁶. Вибір методу отримання емульсій залежить від розміру крапель, вмісту дисперсної фази, технологічних параметрів.

Емульсії залежно від відсоткового вмісту дисперсної фази поділяють на розведені, концентровані та висококонцентровані¹¹⁷. Розведені емульсії мають об'ємну частку дисперсної фази до 1%, використовуються у виробництві різноманітних напоїв. Отримання розведених емульсій не потребує використання емульгаторів, стабілізація відбувається завдяки електролітам. Емульсійні системи відносять до концентрованих, якщо вони мають об'ємну частку дисперсної фази до 74%, використовуються для виробництва різноманітних харчових продуктів, регулювання їх жирності, 3D-друку, інкапсуляції ароматів та біологічно активних речовин. Концентровані емульсії мають гелеподібні властивості, для їх стабілізації застосовують фосфоліпіди та біополімери. Властивості концентрованих емульсій

¹¹⁴ Jiang Jiang, Yan Jin, Xinyu Liang, Michael Piatko, Shawn Campbell, Seong Koon Lo, Yuanfa Liu, Synergetic interfacial adsorption of protein and low-molecular-weight emulsifiers in aerated emulsions, *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 81. P. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.038>.

¹¹⁵ Norm V. Emulsifiers in Food Technology, *Emulsifiers in Food Technology: Second Edition*. Wiley-Blackwell. 2015. P. 12-20. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118921265.ch1>

¹¹⁶ Hadžiabdić, Jasmina & Džana, Orman & Elezovic, Alisa & Vranic, Edina & Rahic, Ognjenka. Preparation of nanoemulsions by high-energy and lowenergy emulsification methods. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2_48.

¹¹⁷ Колоїдна хімія: Підруч. /Л.С. Воловик, Є.І. Ковалевська, В.В. Манк та ін.; За ред. д-ра хім. наук, проф. В.В. Манка. К.: НУХТ. 2011. с.196-211.

залежать від відсоткового вмісту емульгаторів, рН, об'ємної частки дисперсної фази^{118,119}. Висококонцентровані емульсії мають об'ємну частку дисперсної фази від 74%, завдяки чому в них не відбувається седиментація, структура гелева, напівтверда^{120,121,122,123,124}. Отримання концентрованих та висококонцентрованих емульсій можливе за умов застосування низькоенергетичних і високоенергетичних методів, а отримання розведених емульсій – тільки в разі низькоенергетичних.

Залежно від діаметра крапель дисперсної фази емульсії поділяють на макро-, мікро- та наноемульсії. Макроемульсії мають діаметр крапель дисперсної фази 0,5...100,0 мкм, застосовуються для виробництва харчових продуктів (молоко, напої, соуси, майонези). Макроемульсії кінетично стабільні, непрозорі, мутні, мають високу в'язкість, термодинамічну метастабільність^{125,126,127}. Мікроемульсії

¹¹⁸ Yinxuan Hu, Lirong Cheng, Sung Je Lee, Zhi Yang, Formation and characterisation of concentrated emulsion gels stabilised by faba bean protein isolate and its applications for 3D food printing, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. Vol. 671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131622>.

¹¹⁹ Mohammad Anvari, Helen S. Joyner (Melito), Concentrated emulsions as novel fat replacers in reduced-fat and low-fat Cheddar cheeses. Part 2. Large amplitude oscillatory shear behavior. *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 91. P. 137-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.018>.

¹²⁰ Chen Tan, Yuqian Zhu, Hamed Ahari, Seid Mahdi Jafari, Baoguo Sun, Jing Wang, Sonochemistry: An emerging approach to fabricate biopolymer cross-linked emulsions for the delivery of bioactive compounds. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2023. Vol. 311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102825>.

¹²¹ Li X., Xu X., Song L., Bi A., Wu C., Ma Y., Du M., Zhu B. High Internal Phase Emulsion for Food-Grade 3D Printing Materials. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2020. Vol. 12. No 40. P. 45493-45503. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11434>.

¹²² Tan C., McClements D.J. Application of Advanced Emulsion Technology in the Food Industry: A Review and Critical Evaluation. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 4: 812. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10040812>.

¹²³ Jerzy Kizling, Bengt Kronberg, Jan Christer Eriksson, On the formation and stability of high internal phase O/W emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2006. Vol. 123–126. P. 295-302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.05.006>.

¹²⁴ María Artiga-Artigas, Júlia Montoliu-Boneu, Laura Salvia-Trujillo, Olga Martín-Belloso, Factors affecting the formation of highly concentrated emulsions and nanoemulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2019. Vol. 578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123577>.

¹²⁵ Serdaroglu Meltem, Öztürk Kerimoğlu, Burcu Kara, Ayşe. An Overview of Food Emulsions: Description, Classification and Recent Potential Applications. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2015. Vol. 3. P. 430-438. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i6.430-438.336>.

¹²⁶ Aswathanarayan Jamuna Bai, Vittal Ravishankar Rai. Nanoemulsions and Their Potential Applications in Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 3. 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2019.00095>. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095>.

¹²⁷ Karunaratne D. Nedra Geethi Pamunuwa, Udayana Ranatunga. Introductory Chapter: Microemulsions. Properties and Uses of Microemulsions. *InTech*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.68823>.

характеризуються діаметром крапель дисперсної фази 5...100 нм, використовуються в харчовій промисловості для інкапсуляції біологічно активних речовин, харчових добавок. Мікроемульсії –термодинамічно стабільні ізотропні системи, які не впливають на органолептичні показники харчових продуктів, мають низьку в'язкість, ньютонівські властивості, напівпрозорість, покращену здатність солюбілізації БАР, на їхню стійкість впливають фізичні та хімічні чинники^{126,127,128,129}. Наноемульсії отримують, якщо діаметр крапель дисперсної фази менше 100 нм; вони використовуються для інкапсуляції, перенесення функціональних інгредієнтів, створення біорозкладаних покриттів та пакувальних плівок. До основних характеристик наноемульсій відносяться кінетична стійкість, прозорість, висока biodostupnist', термодинамічна нестабільність, залежність від типу і концентрації емульгатора, залежність стійкості від розміру крапель^{125, 126, 130,131,132}. У роботі¹³³ встановлено, що крохмаль бобових має потенціал для стабілізації наноемульсій, проте на його властивості впливають іонна сила та рН. У праці¹³⁴ підтверджено, що білки бобових як емульгатори в

¹²⁸ Maria D. Chatzidakī, Vassilikī Papadimitriou, Aristotelis Xenakis, Chapter Four – Encapsulation of food ingredients by microemulsions, Editor(s): Seid Mahdi Jafari, In Nanoencapsulation in the Food Industry, Lipid-Based Nanostructures for Food Encapsulation Purposes. *Academic Press*. 2019. P. 129-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815673-5.00004-0>.

¹²⁹ Garti N., Aserin A., Micelles and microemulsions as food ingredient and nutraceutical delivery systems, Editor(s): Nissim Garti, D. Julian McClements, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals. *Woodhead Publishing*. 2012. P. 211-251. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095909.3.211>.

¹³⁰ Cheng Qian, David Julian McClements, Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*. 2011. Vol. 25. Issue 5. P. 1000-1008, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.017>.

¹³¹ Conxita Solans, Isabel Solé, Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2012. Vol. 17. Issue 5, P. 246-254, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2012.07.003>.

¹³² Gupta Ankur, Eral Burak, Hatton T., Doyle Patrick. Nanoemulsions: Formation, Properties and Applications. *Soft Matter*. 2016. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5SM02958A>.

¹³³ Sharma M., Bains A., Sharma M., Inbaraj B.S., Ali N., Iqbal M., Patil S., Chawla P., Sridhar K., Structural and Thermal Properties of Faba Bean Starch and Flax Seed Oil Nanoemulsion: Effect of Processing Conditions on Nanoemulsion. *Starch*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202300173>

¹³⁴ Niharika Walia, Lingyun Chen, Pea protein based vitamin D nanoemulsions: Fabrication, stability and in vitro study using Caco-2 cells. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125475>.

наноемulsionів підвищують біодоступність вітамінів. Авторами ¹³⁵ досліджено механізм покращення емульгуючих властивостей білка бобових обробленим гомогенізацією під високим тиском для доставки нутрицевтиків у наноемulsionів.

За структурою емульсійні системи поділяють на прості та складні. До простих емульсій належать емульсії типу «жир у воді», «вода в жирі», до складних – множинні (подвійні), багат шарові, Пікерінга та гелеві.

Емульсії типу «жир у воді» широко використовуються в харчовій промисловості для виробництва харчових продуктів, таких як майонези, соуси, морозиво, вершкові лікери, молоко, для інкапсуляції, 3Д-друку, перенесення функціональних інгредієнтів. На стійкість емульсійних систем типу «жир у воді» впливають рН, іонна сила, температура; для підвищення стійкості використовуються біополімери, фосфоліпіди, низькомолекулярні ПАР¹³⁶. Емульсії типу «вода в жирі» використовуються переважно для виробництва спреда, маргарину, шоколаду, створення імітацій та заміників жиру, інкапсуляції. Емульсії цього типу характеризуються складністю довготривалої стабілізації, термодинамічною нестабільністю ^{137,138}, у зв'язку з чим для їх стабілізації використовуються різноманітні поверхнево активні речовини, такі як полігліцерол полірицинолеату, Span80, лецитин, полімери (білки, поліцукриди), нерозчинні частинки (целюлоза) та комбінація зазначеного¹³⁹. Білки бобових –перспективні рослинні емульгатори для стабілізації емульсій типу «жир у воді». За даними статті¹⁴⁰, білковий ізолят бобових мають емульгуючі властивості, подібні до Tween 20,

¹³⁵ Donsì F., Senatore B., Huang Q., Ferrari G. Development of novel pea protein-based nanoemulsions for delivery of nutraceuticals. *J Agric Food Chem.* 2010. Vol. 58. No 19. P.10653-10660. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf101804g>.

¹³⁶ Verkempinck S.H.E., Kyomugasho C., Salvia-Trujillo L., Denis S., Bourgeois M., Van Loey A.M., Hendrickx M.E., Grauwet T., Emulsion stabilizing properties of citrus pectin and its interactions with conventional emulsifiers in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids.* 2018. Vol. 85. P. 144-157, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.014>.

¹³⁷ Zhu Qiaomei, Pan Yijun, Jia Xin, Li Jinlong, Zhang Min, Yin Lijun. Review on the Stability Mechanism and Application of Water-in-Oil Emulsions Encapsulating Various Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2019. Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12482>.

¹³⁸ Xin Hong, Qiaoli Zhao, Yuanfa Liu & Jinwei Li. Recent advances on food-grade water-in-oil emulsions: Instability mechanism, fabrication, characterization, application, and research trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2023. Vol. 63. No 10. P.1406-1436. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1964063>

¹³⁹ Morfo Zembyla, Brent S. Murray, Anwesha Sarkar, Water-in-oil emulsions stabilized by surfactants, biopolymers and/or particles: a review. *Trends in Food Science & Technology.* 2020. Vol. 104, P. 49-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.028>.

¹⁴⁰ Benjamin O, Silcock P, Beauchamp J, Buettner A, Everett DW. Emulsifying properties of legume proteins compared to β -lactoglobulin and Tween 20 and the volatile release from oil-in-water emulsions. *J Food Sci.* 2014. Vol. 79. P. 2014-2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12593>.

молочного білка, β -lg. У роботі ¹⁴¹ зазначено, що поєднання ксантанової камеді та ізоляту білка бобових взаємно покращує їхні властивості. У праці ¹⁴² досліджено вплив рН та концентрації білка бобових на їхні властивості стабілізації емульсій, виявлено найвищі показники стійкості при рН 2,4 та концентрації білка 2,0%. Авторами ¹⁴³ доведено високий потенціал білків бобових для отримання функціональних харчових продуктів на прикладі стабілізації білками емульсійних систем, збагачених омега-3.

Складні множинні емульсії поділяються на типи «вода–жир–вода» та «жир–вода–жир». Перший тип емульсій застосовується для інкапсуляції ароматів, нестабільних інгредієнтів, ферментів та пробіотиків, зниження вмісту жиру, покращення антиоксидантних властивостей, органолептичних показників; другий тип – для доставки, захисту і вивільнення чутливих біоактивних утворень, інкапсуляції, зниження окиснення ретинолу. Стійкість множинних емульсій залежить від умов технологічної обробки харчового продукту, вони характеризуються низькою термодинамічною рівновагою. Для отримання стійких множинних емульсій застосовуються білки та поліцукриди, методи подвійного емульгування, модифікованого двоетапного емульгування, фазової інверсії (одноетапне емульгування), мембранного емульгування^{122, 125, 144, 145, 146, 147}.

¹⁴¹ Papalamprou Evdoxia, Makri Eleousa, Kiosseoglou Vassilios, Doxastakis Georgios. Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil-in-water emulsion stabilized with legume proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol. 85. P. 1967 – 1973. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2159>.

¹⁴² Felix M., Isurralde N., Romero A., Guerrero A. Influence of pH value on microstructure of oil-in-water emulsions stabilized by chickpea protein flour. *Food Science and Technology International*. 2018. Vol. 24. No 7. P. 555-563. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013218774707>

¹⁴³ Gumus C.E., Decker E.A., McClements, D.J. Formation and Stability of ω -3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: Lentil, Pea, and Faba Bean Proteins. *Food Biophysics*. 2017. Vol. 12. P. 186–197. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9475-6>

¹⁴⁴ Claire Berton-Carabin, Karin Schroën, Towards new food emulsions: designing the interface and beyond. *Current Opinion in Food Science*. 2019. Vol. 27. P. 74-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.006>.

¹⁴⁵ Ghiasi Fatemeh, Hadi Hashemi, Sara Esteghlal, and Seyed Mohammad Hashem Hosseini. An Updated Comprehensive Overview of Different Food Applications of W1/O/W2 and O1/W/O2 Double Emulsions. *Foods*. 2024. Vol. 13. No. 3: 485. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13030485>

¹⁴⁶ Sharma Neha, Devi Rohini, Singh Sarbjeet, Garg Mr, Khathuriya Rajesh, Singhvi Indrajee. AN OVERVIEW ON MULTIPLE EMULSIONS. 2022. Vol. 5. P. 200-204. URL: https://www.ejbps.com/ejbps/abstract_id/4360

¹⁴⁷ Luo Tian, Wei Zihao. Recent progress in food-grade double emulsions: Fabrication, stability, applications, and future trends. *Food Frontiers*. 2023. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.276>.

Багатошарові емульсії дають можливість включення нутрицевтиків у харчові продукти, мікрокапсулювання, знижують швидкість окиснення ліпідів. Серед основних властивостей багатошарових емульсій виділяють стійкість до флокуляції, агрегації, умов навколишнього середовища (рН, іонної сили, вмісту дисперсної фази, нагрівання чи заморожування), залежність від концентрації та типу полімеру, товщини шару емульгатора, схильність до агрегації^{108, 122, 148}. Для отримання цього типу емульсій застосовуються методи насичення, центрифугування, фільтрування; стійкість досягається поєднанням рослинних білків та поліцукридів, фосфоліпідів, біополімерів^{108, 122, 148, 149}. У роботах^{150, 151} встановлено, що білки бобових для стабілізації багатошарових емульсій можуть використовуватися тільки в поєднанні з хітозаном і ксантановою камеддю.

Гелеві емульсії використовуються для інкапсуляції вітамінів, ароматів, пробіотиків, жирних кислот, виробництва харчових продуктів зі знизеним вмістом жиру або функціональними властивостями, отримання заміників жиру з подібними органолептичними показниками, виробництва вегетаріанських харчових продуктів (сири, рослинні жири, мармелад, масло, йогурти, майонези). Перевагами гелевих емульсій є контрольоване вивільнення інкапсульованих речовин, висока водоутримуюча здатність, стабільність до хімічних реакцій (гідроліз, окиснення) та фізичних процесів (інверсія фаз), в'язкоеластичність. На органолептичні, функціонально-технологічні властивості гелевих емульсій впливають тип і відсотковий вміст поліцукридів, емульгаторів, жиру, солі, спосіб їх отримання. Залежно від способу отримання гелеві емульсії поділяють на об'ємні, рідкі, частинки гелю. Об'ємні гелеві емульсії отримують із використанням низькоенергетичних (термічна, ензимна, ферментна обробка, зниження рН, додавання іонів) і високоенергетичних методів (гомогенізатори

¹⁴⁸ Guzey D., McClements D.J. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry. *Adv Colloid Interface Sci.* 2006, Vol.128-130, P.227-248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.11.021>.

¹⁴⁹ Bortnowska Grażyna. Multilayer Oil-in-Water Emulsions: Formation, Characteristics and Application as the Carriers for Lipophilic Bioactive Food Components – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.* 2015. Vol.3. P. 157-166. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0094-0>.

¹⁵⁰ Burgos-Díaz C., Gallardo M., Morales E., Piornos J.A., Marqués A.M. and Rubilar, M. Utilization of proteins from AluProt-CGNA (a novel protein-rich lupin variety) in the development of oil-in-water multilayer emulsion systems. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2016. Vol. 118. P. 1104-1112. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500260>

¹⁵¹ Rahmati N.F., Koocheki A., Varidi M. Thermodynamic compatibility and interactions between Speckled Sugar bean protein and xanthan gum for production of multilayer O/W emulsion. *J Food Sci Technol.* 2018. Vol. 55. P. 1143-1153. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3030-9>

високого тиску, обробка ультразвуком, мікрофлюїдація). Отримання рідких емульсійних систем можливе при електропрядінні (електроспіннінгу) емульсій, саморуйнуванні, руйнуванні гелевих або емульсій Пікерінга. Частинки емульсійного гелю отримують у разі використання аерозольного методу, гомогенізації, екструзії. Для стабілізації гелевих емульсій застосовуються поліцукриди, білки, желатини, сапоніни^{152,153,154}. Авторами¹⁵⁵ розроблено емульсійний гель на основі олії та борошна з бобових для імітації тваринних жирів. У роботі¹⁵⁶ досліджено створення аналога йогурту та тофу на основі гелю з бобового борошна, рапсової олії, молочнокислих бактерій та бобової безкрохмальної фракції, глюконо-дельта-лактону.

Емульсії Пікерінга – емульсії, для стабілізації яких використовують тверді частинки, властивості яких, а саме змочуваність, концентрація, електричний потенціал, розмір та форма, безпосередньо впливають на стійкість¹⁵⁷. Емульсії Пікерінга набули актуальності завдяки їхній стійкості при зміні рН, іонної сили, температури¹⁰⁵, кращій стабільності, ніж у звичайних емульсій, стійкості до коалесценції та оствальдівського визрівання¹⁵⁸, можливості зменшення вмісту жиру, ПАР у харчових продуктах. Сьогодні емульсії Пікерінга використовуються при створенні функціональних харчових систем для інкапсуляції та доставки в них біологічно активних утворень, таких як пребіотики, куркумін,

¹⁵² Lin Duanquan, Kelly Alan, Miao Song. Preparation, structure-property relationships and applications of different emulsion gels: Bulk emulsion gels, emulsion gel particles, and fluid emulsion gels. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 102. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.05.024.

¹⁵³ Yiu Canice Chun-Yin, Sophie Wenfei Liang, Kinza Mukhtar, Woojeong Kim, Yong Wang, and Cordelia Selomulya. Food Emulsion Gels from Plant-Based Ingredients: Formulation, Processing, and Potential Applications Gels. 2023. Vol. 9. No 5: 366. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels9050366>

¹⁵⁴ Abdullah, Liu Lang, Javed Hafiz Umer, Xiao Jie. Engineering Emulsion Gels as Functional Colloids Emphasizing Food Applications: A Review. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. DOI <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.890188>.

¹⁵⁵ Demir D., Özvural E., Ertuğrul B., Taş Ü.. Research on the characteristics of model meat systems with emulsion gels including different legume flours. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 2023. Vol. 7. No 4. P. 807-817. DOI: <https://doi.org/10.31015/ijaefs.2023.4.11>

¹⁵⁶ Jiang Z-Q, Wang J., Stoddard F., Salovaara H., Sontag-Strohm T. Preparation and Characterization of Emulsion Gels from Whole Faba Bean Flour. *Foods*. 2020. Vol. 9. No 6:755. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9060755>

¹⁵⁷ Burgos-Diaz César, Karla A. Garrido-Miranda, Daniel A. Palacio, Manuel Chacón-Fuentes, Mauricio Opazo-Navarrete, and Mariela Bustamante. Food-Grade Oil-in-Water (O/W) Pickering Emulsions Stabilized by Agri-Food Byproduct Particles. *Colloids and Interfaces*. 2023. Vol.7. No. 2: 27. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids7020027>

¹⁵⁸ Anwasha Sarkar, Eric Dickinson. Sustainable food-grade Pickering emulsions stabilized by plant-based particles, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2020. Vol. 49. P. 69-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.04.004>.

вітаміни¹⁵⁹, для зниження окиснення ліпідів¹⁶⁰, заміни тваринних жирів¹⁶⁰, виробництва біорозкладаних покриттів¹⁶¹. В оглядових статтях минулих років зазначено, що стабілізація емульсій Пікерінга досліджується використанням натуральних чи модифікованих поліцукридів¹⁶², побічних продуктів харчової промисловості, залишків чаю, кави, макухи, цедри¹⁵⁷, яблучних вичавків¹⁶³. У роботі¹⁶⁴ використана техніка твердої дисперсії куркуміну для отримання соусів – аналогів майонезу, які мали текстуру та показники подібні до аналога, проте більший термін зберігання та додатковий вміст нутрієнтів із куркуміну. Емульсії, стабілізовані білком нуту, з міозиновими гелями риби¹⁶⁵ покращували гелеутворювальні властивості міозину, стійкість під час заморожування та розморожування. У роботі¹⁰⁷ дослідили екстремальну зміну рН при нагріванні до 85°C білків гороху для отримання наночастинок, які надали емульсіям гелеву структуру, отримавши гелеві емульсії Пікерінга, що посилювали біодоступність і стабільність куркуміну. Авторами¹⁶⁶ досліджено стабілізацію емульсій використанням ковалентних поліфенолів наночастинок оболонки насіння квасолі адзукі, які підсилювали біодоступність астаксантину,

¹⁵⁹ James Cheon, Fatemah Haji, Jiyoo Baek, Qi Wang, Kam C. Tam, Pickering emulsions for functional food systems. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023. Vol. 11. 100510, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100510>.

¹⁶⁰ Berton-Carabin C.C., Schroën K. Pickering emulsions for food applications: background, trends, and challenges. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2015. Vol. 6. P.263-297. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-081114-110822>.

¹⁶¹ Niro C.M., Medeiros J.A., Freitas J.A., Azeredo H.M. Advantages and challenges of Pickering emulsions applied to bio-based films: a mini-review. *J Sci Food Agric*. 2021. Vol. 101. No 9. P.3535-3540. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11029>

¹⁶² Deng Wei, et al. Pickering emulsions stabilized by polysaccharides particles and their applications: a review. *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 42. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.24722>

¹⁶³ Huc-Mathis D., Guilbaud A., Fayolle N., Bosc V., Blumenthal D. Valorizing apple by-products as emulsion stabilizers: Experimental design for modeling the structure-texture relationships. *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110115>.

¹⁶⁴ Ghirro L.C., Rezende S., Ribeiro A.S., Rodrigues N., Carocho M., Pereira J.A., Barros L., Demczuk B. Jr., Barreiro M-F, Santamaria-Echart A. Pickering Emulsions Stabilized with Curcumin-Based Solid Dispersion Particles as Mayonnaise-like Food Sauce Alternatives. *Molecules*. 2022. Vol. 27. No (4):1250. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27041250>

¹⁶⁵ Huinan Wang, Jiaxin Zhang, Yongxia Xu, Hongbo Mi, Shumin Yi, Ruichang Gao, Xuepeng Li, Jianrong Li, Effects of chickpea protein-stabilized Pickering emulsion on the structure and gelling properties of hairtail fish myosin gel. *Food Chemistry*. 2023. Vol. 417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135821>.

¹⁶⁶ Sitong Ge, Rui Jia, Qi Li, Wei Liu, Meihong Liu, Dan Cai, Mingzhu Zheng, Huimin Liu, Jingsheng Liu, Pickering emulsion stabilized by zein/Adzuki bean seed coat polyphenol nanoparticles to enhance the stability and bioaccessibility of astaxanthin, *Journal of Functional Foods*. 2022. Vol. 88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104867>.

стійкість емульсії до нагрівання, наявності солі. У дослідженні ¹⁶⁷ підтверджено можливість використання поліцукридів для стабілізації емульсії Пікерінга, а саме наночастинок крохмалю з кукурудзи, батату, тапіоки розміром 100...220 нм.

Аналітичний огляд літературних джерел щодо наукових і практичних основ утворення емульсії та забезпечення їх стійкості необхідний для отримання харчових продуктів з емульсійною структурою з прогнозованими технологічними властивостями та високими органолептичними показниками.

Аналіз хімічного складу бобових дозволяє зробити припущення, що на емульгуючі властивості аквафаби впливають наявні в бобових білки, сапоніни, поліцукриди, поліцукридно-білкові комплекси, які під час гідротермічного оброблення дифундують в аквафабу. Природні емульгатори не токсичні, не чинять негативного впливу на організм людини, мають високу біодоступність, чим обумовлена їх популярність серед операторів ринку та споживачів, завдяки можливості отримання харчових продуктів із «чистою етикеткою». Використання методів модифікації гідротермічного чи гідромеханічного оброблення бобових впливає на емульгуючі властивості білків за рахунок зниження або підвищення гідрофільних властивостей ¹⁶⁸.

2. Матеріали та методи дослідження

2.1. Матеріали дослідження

Теоретичні та експериментальні дослідження виконані на базі Державного біотехнологічного університету в науково-дослідній лабораторії «Розробки та дослідження харчової продукції» (FOOD RESEARCH AND DEVELOPMENT (R&D) LAB) кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії.

Проведено дослідження емульсійних властивостей аквафаби після гідротермічного оброблення квасолі, гороху, нуту. Визначено агрегативну, кінетичну, загальну стійкість емульсійних систем «аквафаба-жир», емульгуючу ємність, залежність зміни емульгуючих властивостей аквафаби від зміни рН та додавання рецептурних компонентів, а саме хлориду натрію, лимонної кислоти, желатинізованого модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи, камеді ксантану. Визначено інтервал концентрацій добавок, за яких показники точок інверсії фаз мають максимальні значення.

¹⁶⁷ Ge S., Xiong L., Li M., Liu J., Yang J., Chang R., Liang C., Sun Q. Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size. *Food Chem.* 2017. Vol. 234. P. 339-347. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.150.

¹⁶⁸ Emkani M., Oliete B., Saurel R. Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation.* 2022. Vol. 8. No 6. 244. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>

Предмети дослідження:

- нут типу «Кабулі» сорту «Розанна» за ДСТУ 6019:2008 «Нут. Технічні умови»¹⁶⁹;
- горох жовтий звичайний колотий сорту «Девіз» за ДСТУ 4523:2006 «Горох. Технічні умови»¹⁷⁰;
- квасоля біла сорту «Мавка» за ДСТУ 8672:2016 «Квасоля продовольча»¹⁷¹;
- желатинізований хімічно модифікований харчовий крохмаль очищений із воскової кукурудзи «ULTRA-TEX 2131» виробництва фірми «Ingredion»;
- камедь ксантану Ziboxan F200 виробництва фірми Deosen Biochemical (Ordos) Ltd.;
- олія соняшникова рафінована дезодорована за ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова. Технічні умови»¹⁷²;
- лимонна кислота за ДСТУ 908:2006 «Кислота лимонна моногідрат харчова. Технічні умови»¹⁷³;
- бікарбонат натрію за ТУ У 10.8-30664064-006:2015.

Для дослідження взято бобові 2023 року врожаю, вирощені в помірно континентальному кліматі. Країна походження сировини – Україна, регіони вирощування: нут – Полтавська область, горох колотий та сочевиця червона – Одеська область, квасоля – Київська область. Бобові закуплені в ТОВ «Сільпо ФУД».

Для забезпечення технологічної стійкості емульсій «аквафаба–жир» використовували желатинізований хімічно модифікований харчовий крохмаль очищений із воскової кукурудзи «ULTRA-TEX 2131» виробництва фірми «Ingredion» та камедь ксантану Ziboxan F200 виробництва фірми Deosen Biochemical (Ordos) Ltd., показники якості та безпечності яких наведено в табл. 5.1 та 5.2.

¹⁶⁹ ДСТУ 6019:2008 Нут. Технічні умови. [Чинний від 2010-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010.

¹⁷⁰ ДСТУ 4523:2006 Горох. Технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

¹⁷¹ ДСТУ 8672:2016 Квасоля продовольча. Технічні умови. [Чинний від 2017-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017.

¹⁷² ДСТУ 4492:2017 Олія соняшникова. Технічні умови. [Чинний від 27-06-2017 р]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017.

¹⁷³ ДСТУ ГОСТ 908:2006 Кислота лимонна моногідрат харчова. Технічні умови (ГОСТ 908-2004, ІДТ). [Чинний від 01-01-2007 р]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.

Таблиця 5.1

**Показники якості та безпечності желатинізованого хімічно
модифікованого харчового крохмалю очищеного з воскової
кукурудзи «ULTRA-TEX 2131»**

Найменування показника	Характеристика за сертифікатом відповідності	Результати дослідження*
1	2	3
Органолептичні та фізико-хімічні показники		
Зовнішній вигляд	Дрібний білий/кремовий порошок	Відповідає
1	2	3
Волога, %	0–10,0	Відповідає
pH	4,5–7,0	6,9
MVA в'язкість, 15 хв, MVU	200–1000	Відповідає
MVA в'язкість, кінцева, MVU	250–1200	Відповідає
Мікробіологічні показники		
Загальна кількість мезофільних анаеробних та аеробних факультативних мікроорганізмів (МАФАМ), в 1г	1000–10000	0,5×10 ²
Плісеневі гриби, в 1 г	50–200	3
Дріжджі, в 1 г	50–200	3
БГКП, в 1 г	Не допускається	Не виявлено
Сальмонела, в 25 г	Не допускається	Не виявлено
Enterobacteriaceae, в 1 г	10–100	2
Staph aureus, в 1 г	20–100	2
Bacillus Perfringens, в 1 г	20–100	2
Clostridium Perfringens, в 1 г	0–20	2
Стрептококи групи D, в 1 г	0–10	2
Мезофільні анаеробні, в 1 г	0–20	2
Listeria Species, в 25 г	20–100	1
Listeria Monocytogenes, в 25 г	Не допускається	Не виявлено
Важкі метали		
Свинець	1 мг/кг	0,5 мг/кг
Кадмій	0,1 мг/кг	Не виявлено
Ртуть	0,05 мг/кг	Не виявлено
Арсен	1 мг/кг	0,1 мг/кг
Разом важких металів	10 мг/кг	
*Результати дослідження показників якості та безпечності надано виробником.		

Таблиця 5.2

Показники якості та безпечності камеді ксантану Zibohan F200

Найменування показника	Характеристика за сертифікатом відповідності	Результати дослідження*
1	2	3
Органолептичні та фізико-хімічні показники		
Зовнішній вигляд	Порошок кремового кольору	Відповідає
Волога, %	0–15,0	8,04
pH, 1%	6,0–8,0	7,09
В'язкість (1% sol. in KCL1%)	1200–1600	1400
Зола, %	0–16	6,34
Піровиноградна кислота, %	<1,5	3,50
Мікробіологічні показники		
Загальна кількість мезофільних анаеробних та аеробних факультативних мікроорганізмів (МАФАМ), в 1 г	Не більше 2000	1000
Плісеневі гриби, в 1г	0–200	<10
Дріжджі, в 1г	0–200	<10
Сальмонела, в 25 г	Не допускається	Не виявлено
E. coli, в 25г	Не допускається	Не виявлено
Радіонукліди		
Cs-137, Бк/кг	0–150	0±2,5
Sr-90, Бк/кг	0–50	4,7±4,8
Enterobacteriaceae, в 10г	Не допускається	Не виявлено
Важкі метали		
Свинець, мг/кг	Не більше 2	0,19
1	2	3
Арсен, мг/кг	Не більше 3	<0,005
Разом важких металів	<20 мг/кг	<20 мг/кг
*Результати дослідження показників якості та безпечності надано виробником.		

Модель технологічної системи отримання відварних бобових та аквафаби без зазначення технологічних параметрів процесів наведено на рис. 2.

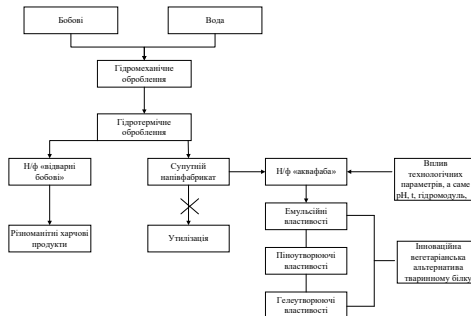


Рис. 2. Модель технологічної системи виробництва відварних бобових та аквафаби

На основі проведених попередніх аналітичних та експериментальних досліджень нами визначено раціональні параметри одержання напівфабрикатів «аквафаба» та «відварні бобові», при яких напівфабрикат «відварні бобові» матиме високі органолептичні показники, аквафаба – високу емульгуючу здатність. Технологія виробництва складається з гідромеханічного та гідротермічного оброблення. На першому етапі проводиться підготовка інгредієнтів, механічне кулінарне оброблення бобових, а саме сортування та промивання, з метою видалення сторонніх домішок, забруднення. Попередньо підготовлені бобові заливають водою з температурою 16...18°C, замочують протягом (6,0...7,0)·60² с для нуту, (4,5...5,0)·60² с квасолі, (4,0...4,5)·60² с гороху колотого, зі співвідношенням бобових та води 1:2,5, що дозволяє істотно зменшити термін теплового оброблення. Перед вбарінням воду зливають, заливають бобові свіжою водою у співвідношенні 1:(1,5...1,75) та варять при 96...98°C. Тривалість гідротермічного оброблення становить: (70...80)·60 с для нуту, (70...80)·60 с для квасолі, (50...60)·60 с для гороху колотого. Отриману рідину після варіння бобових зливають в окрему тару, зберігають протягом (3...6)·60² с за температури 4...6°C. Відварені бобові подрібнюють, використовуючи наявне на виробництві устаткування з отворами на ситі (2...5)·10⁻³ м, зберігають протягом 3·60² с за температури 4...6°C. Отримані напівфабрикати використовуються для виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини.

2.2. Методи дослідження

Емульгуючу ємність визначали за точкою інверсії як максимальну кількість жиру, емульгованого в досліджуваному розчині до точки інверсії. У стакан місткістю 100 см³ поміщали 10 см³ аквафаби, потім за допомогою лійки для розподілу вводили олію зі швидкістю (70...80)×60 крап/хв до настання моменту інверсії фаз, тобто переходу емульсії олія/вода в емульсію вода/олія. Емульгування здійснювали на лабораторному гомогенізаторі зі швидкістю обертів вала 50 с⁻¹. Об'єм олії відповідав значенню точки інверсії фаз.

Тип емульсії визначали методом розведення.

Стійкість емульсії визначали, фіксуючи об'єми фаз, які відділилися після центрифугування зі швидкістю обертання ротора 25 с⁻¹ протягом 5·60 с. Потім зразок поміщали на водяну баню за температури 80...85°C, витримували впродовж 3·60 с та знову центрифугували протягом 5·60 с.

Величину кінетичної стійкості емульсії визначали як відношення об'єму води, що відділилася після центрифугування, до загального об'єму емульсії за формулою:

$$C_{\text{кін.}} = \frac{V_{\text{в.ф.}}}{V_{\text{ем}}} \cdot 100, \quad (1)$$

де $C_{\text{кін.}}$ – кінетична стійкість, %;

$V_{\text{в.ф.}}$ – об'єм водної фази, що відділилася, см^3 ;

$V_{\text{ем}}$ – об'єм емульсії, см^3 .

Агрегативну стійкість емульсії визначали як відношення об'єму олії, що відділилася після центрифугування, до загального об'єму емульсії за формулою:

$$C_{\text{агр.}} = \frac{V_{\text{ж.ф.}}}{V_{\text{ем.}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де $C_{\text{агр.}}$ – агрегативна стійкість, %;

$V_{\text{ж.ф.}}$ – об'єм жирової фази, що відділилася, см^3 ;

$V_{\text{ем.}}$ – об'єм емульсії, см^3 .

Загальну стійкість емульсії визначали як відношення незруйнованої емульсії, яка зберіглася після центрифугування, до загального її об'єму за формулою:

$$C_{\text{заг.}} = \frac{V_{\text{н.ем.}}}{V_{\text{ем.}}} \cdot 100, \quad (3)$$

де $C_{\text{заг.}}$ – загальна стійкість емульсії, %;

$V_{\text{н.ем.}}$ – об'єм незруйнованої емульсії після центрифугування, см^3 ;

$V_{\text{ем.}}$ – об'єм незруйнованої емульсії до центрифугування, см^3 .

Значення рН харчових систем вимірювали за стандартною методикою, шляхом занурення електродів рН-метра іонометра в суміш, підготовлену за температури $t=20\pm 1^\circ\text{C}$. Результат одержували шляхом середньо-арифметичного обчислювання двох паралельних вимірювань за $P = 0,05$.

Вміст сухих речовин визначали рефрактометричним методом згідно з ДСТУ 8402:2015¹⁷⁴ для отримання продукту з необхідними функціонально-технологічними властивостями, що дозволить використовувати аквафабу не тільки в лабораторних, але й у виробничих умовах.

Органолептичну оцінку якості готової продукції здійснювали аналітичними методами та методом профільного аналізу¹⁷⁵. Профільний метод аналізу полягає у використанні набору описових термінів (дескрипторів) для оцінювання окремих органолептичних показників продукту (запаху, консистенції, смаку тощо) за схемою: визначення характерних ознак показників, ступеня їх інтенсивності, порядку виявлення.

¹⁷⁴ ДСТУ 8402:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Рефрактометричний метод визначення вмісту розчинних сухих речовин. [Чинний від 21-08-2015 р]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2015.

¹⁷⁵ ДСТУ ISO 6658:2005 Дослідження сенсорне. Методологія. Загальні настанови. (ISO 6658:1985, IDT). [Чинний від 07-01-2006]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 26 с. (Національний стандарт України).

Розробка рецептури та технології закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини проводилася згідно з ДСТУ 3946:2018 «Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Настанови щодо розроблення і поставлення на виробництво нових та новітніх харчових продуктів»¹⁷⁶.

Для оцінки надійності отриманих результатів використано розрахунок коефіцієнтів Стюдента (t_{ST}) для прийнятого рівня залежності $P=0,05$ і відповідного $(n - 1)$ числа ступенів свободи.

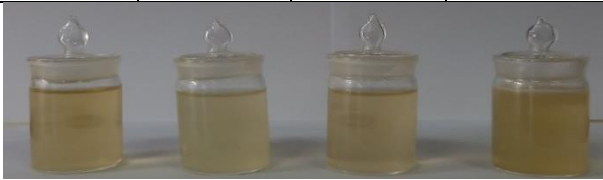
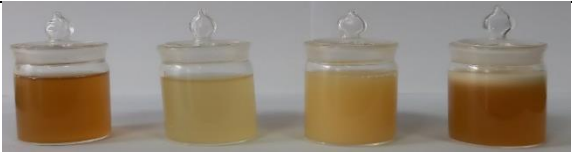
3. Дослідження емульгуючої здатності та стабільності харчових систем на основі бобових

Для дослідження емульсійних властивостей аквафаби використано зразки із значеннями рН аквафаби з нуту ($6,42 \pm 0,05$), квасолі білої ($6,43 \pm 0,05$), гороху колотого ($6,73 \pm 0,05$), розчину аквафаби з порошку з відвару нуту ($6,40 \pm 0,05$).

Проведено органолептичну оцінку напівфабрикату «аквафаба». Результати органолептичної оцінки зведено в таблицю 6.

Таблиця 6

Органолептичні показники напівфабрикату «аквафаба»

Найменування показника	Характеристика			
	Аквафаба з нуту	Аквафаба з квасолі	Аквафаба з гороху	Розчин із порошку з відвару нуту
1	2	3	4	5
Вміст сухих речовин 2,8...3,0%				
Вміст сухих речовин 6,0...6,2%				

¹⁷⁶ ДСТУ 3946:2018. Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Настанови щодо розроблення і поставлення на виробництво нових та новітніх харчових продуктів. [Чинний від 01-10-2019]. Київ: Держспоживстандарт України, 2019.

Зовнішній вигляд	Однорідна рідина	Однорідна рідина	Однорідна рідина	Однорідна рідина
1	2	3	4	5
Консистенція	Незначний вміст осаду	Незначний вміст осаду	Незначний вміст осаду	Незначний вміст осаду
Колір	Від світло-мідного до темно-мідного	Від блідо-жовтого до жовтого	Від блідо-жовтого до насиченого жовтого	Від блідо-коричневого до темно-коричневого (колір вохри)
Запах	Легкий аромат нуту	Легкий аромат квасолі	Легкий аромат гороху	Легкий аромат нуту
Смак	Легкий присмак нуту	Легкий присмак квасолі	Злегка виражений присмак гороху	Легкий присмак нуту

Слід зазначити, що на органолептичні показники напівфабрикату «аквафаба» та їх вираженість впливає вміст сухих речовин. Аквафаба має легкий запах, колір коливається від світло– до темно-насиченого, консистенція однорідна з незначним вмістом осаду, смак легкий, присмак залежить від використаної сировини.

Досліджено емульгуючу ємність аквафаби з різних видів бобових, результати наведено на рис.3. Емульгуючу ємність у % жиру визначали за точкою інверсії фаз, за вищезазначеною методикою.



Рис. 3. Емульгуюча ємність розчину аквафаби з різних видів бобових (вміст сухих речовин 2,8...3,0%)

Результати показали, що серед досліджуваних об'єктів найбільшу емульгуючу ємність має розчин аквафаби з нуту та гороху колотого, що становить 80,20%, дещо гірші показники у квасолі білої – 77,90% та порошку з відвару нуту – 76,47%.

На основі попередніх досліджень визначено залежність емульгуючої ємності від вмісту сухих речовин в аквафабі (рис.4). Експеримент

проведено для свіжозвареної аквафаби з нуту та порошку з відвару нуту промислового виробництва.

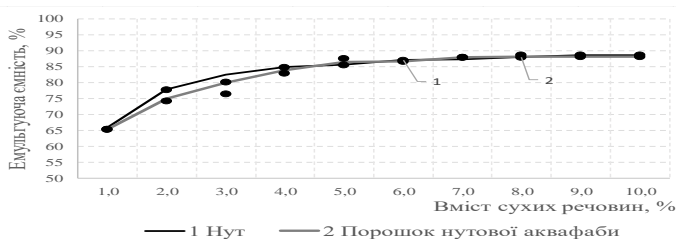


Рис. 4. Емульгуюча смісність систем «аквафаба нутова–жир» та «розчин аквафаби з порошку з відвару нуту–жир» залежно від вмісту сухих речовин

Результати дослідження стійкості отриманих емульсійних систем «аквафаба–жир» та вплив додавання емульгаторів наведено в таблицях 7–9.

Отримані емульсійні системи «аквафаба–жир» розшаровувалися на три фази, а саме жирову, незруйновану емульсію, водну фазу. Масова частка незруйнованої емульсії за вмісту жиру 50% та сухих речовин 2,8...3,0% становить 10% для аквафаби після гідротермічної обробки нуту, квасолі білої, 40% гороху колотого, 55% розчину аквафаби з порошку з відвару нуту. Зі збільшенням вмісту жиру до 75% збільшилась стійкість емульсій, що становить 30% аквафаби після гідротермічної обробки нуту, гороху колотого, 10% квасолі білої, 35% розчину аквафаби з порошку з відвару нуту. У досліджуваних емульсіях виражена агрегативна стійкість.

Уведення в емульсії «аквафаба-жир» камеді ксантану 0,4% підвищило масову частку незруйнованих емульсій до 95...100%.

Додавання камеді ксантану 0,1...0,3% збільшило загальну, агрегативну та кінетичну стійкість емульсій «аквафаба–жир», проте саме вміст камеді ксантану 0,4% підвищив окрім стійкості й візуальну густину емульсійних систем.

Для наступного етапу дослідження впливу стабілізаторів та емульгаторів на емульсії «аквафаба–жир» нами обрано желатинізований модифікований крохмаль із воскової кукурудзи, ураховуючи його широке використання в харчовій промисловості, низьку ціну, фізико-хімічні показники, доступність. Отримані результати дослідження подано в табл. 8.

Таблиця 7

Стійкість емульсій «аквафаба–жир» за вмісту ксантанової камеді

Найменування бобових	Вміст сухих речовин, %	Вміст жиру, %	Вміст ксантанової камеді, %	Масова частка жиру, %	Масова частка незруйнованої емульсії, %	Масова частка води, %
Нут	3,0	50	–	50	10	40
			0,4	–	100	–
		75	–	45	30	25
			0,1	–	97	3
			0,2	–	97	3
			0,3	–	100	–
0,4	–	100	–			
Квасоля біла	2,8	50	–	50	10	40
			0,4	2	98	–
		75	–	65	10	25
			0,4	2	98	–
Горох колотий	2,2	50	–	10	40	50
			0,4	5	95	–
		75	–	40	30	30
			0,4	5	95	–
Розчин аквафаби з порошку відвару нуту	3,0	50	–	10	55	35
			0,4	5	95	–
		75	–	40	35	25
			0,4	5	95	–

Таблиця 8

Стійкість емульсій «нутова аквафаба–жир» за вмісту желатинізованого модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи

Найменування бобових	Вміст сухих речовин, %	Вміст жиру, %	Вміст крохмалю, %	Масова частка жиру, %	Масова частка незруйнованої емульсії, %	Масова частка води, %
Нут	6,2	50	–	30	30	40
			1	10	30	60
			2	30	30	40
			3	45	5	50
	3,2	50	2	40	20	40

Додавання желатинізованого модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи в емульсію за вмісту сухих речовин в аквафабі 3,0–3,2 не вплинуло візуально на густину емульсії, проте збільшилась агрегативна стійкість порівняно з контролем. Додавання модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи більше 1% в емульсію за вмісту жирової фази 70% призвело до інверсії фаз.

Оскільки у виробництві харчових продуктів використовуються різномантні наповнювачі, які змінюють значення рН, доцільно дослідити вплив NaCl, лимонної кислоти, NaHCO₃ (табл. 5) на стабільність емульсійних систем «аквафаба–жир».

Таблиця 9

Стабільність емульсійних систем «аквафаба нутова–жир» у разі зміни значень рН дисперсійного середовища

Найменування бобових	Вміст сухих речовин, %	Вміст жиру, %	рН/ NaCl	Масова частка жиру, %	Масова частка незруйнованої емульсії, %	Масова частка води, %
Нут	3,4	75	6,42	50	20	30
			5,00	45	40	20
			7,00	45	30	25
			NaCl	50	20	30

NaCl в емульсійній системі «аквафаба–жир» не вплинув на стійкість емульсії, точку інверсії фаз чи густину.

Зменшення значення рН дисперсійного середовища від 6,40...6,73 до (5,00±0,05) збільшило візуально густину та масову частку незруйнованої емульсійної системи, проте підвищення рН до (7,00±0,05) не вплинуло на емульсійну систему порівняно з контролем.

За результатами проведених досліджень буде продовжено експериментальний пошук технологічних умов для отримання стійких харчових емульсій «аквафаба–жир». Дослідження аквафаби дозволить отримувати в майбутньому неалергенні харчові продукти, які відповідатимуть принципам циркулярної економіки, матимуть «чисту етикетку» та задовольнятимуть потреби різних сегментів споживачів, а необхідні функціонально-технологічні властивості досягатимуться зміною рН, концентрацією сухих речовин і відсотковим вмістом аквафаби в певній емульсійній системі.

Експериментально встановлено, що емульсії проявляють найкращу стабільність за вмісту сухих речовин 4,0...6,0%, вмісту жиру 75%, зниження рН до (5,00±0,05) і додавання ксантанової камеді. Аналіз отриманих результатів показав, що підвищення рН до (7,00±0,05), додавання желатинізованого модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи, NaCl не впливають на підвищення стійкості отриманих систем.

Для подальших досліджень обрано визначення раціональних технологічних параметрів для одержання стійких емульсійних систем «аквафаба–жир», що дозволить дослідити функціонально-технологічні властивості аквафаби та вдосконалити розроблену технологію закусок з емульсійною структурою.

Проведені експериментальні дослідження підтверджують наукову гіпотезу щодо можливості включення аквафаби в емульсійні системи. Одержані результати досліджень стали підґрунтям для розробки моделі технологічної схеми виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини.

4. Розробка моделі технологічної системи виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини

На основі аналізу літературних джерел та проведених наукових досліджень підтверджено доцільність використання емульсій «аквафаба–жир» у складі закусок та розроблено інноваційний задум закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини, що зазначено в табл. 10, 11. Вибір емульсійної структури закусок обумовлено зручністю та популярністю цього типу товарів серед споживачів. Подібні закуски зручно брати із собою, адже їх зручно споживати, зберігати, вони готові до вживання, добре поєднуються з іншими харчовими продуктами.

Таблиця 10

Інноваційний задум технології закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини

Найменування показника	Характеристика
1	2
Найменування продукту	Закуски з емульсійною структурою – закуска із квасолею, буряком і копченою паприкою; – закуска з нутом, в'яленими томатами і запеченим перцем; – закуска з горохом, запеченою морквою і гарбузом
Концепція продукту	Новий продукт представляє собою закуски з рослинної сировини на основі бобових з різними смаковими наповнювачами. Мас однорідну, ніжну текстуру. Технологічний процес виробництва є ресурсозбережним (використання вторинних продуктів – аквафаби). Закуски мають доступну ціну для споживачів
Конкурентні переваги	Технологія дозволяє популяризувати бобові серед населення, створити здорову альтернативу швидким перекусам
Сегмент споживачів	B2B: HoReCa (заклади ресторанного господарства різних форматів, кейтеринг)

1	2
Органолептичні властивості	Рівномірно подрібнена маса, із включеннями прянощів. Однорідна, кремоподібна, мазка маса, із рівномірним за всією масою кольором. Яскраво виражений запах використаних продуктів. Смак ніжний, виражений, відповідає вареним бобовим, овочам, спеціям
Маса продукту	0,2...0,3 кг
Строки та умови зберігання	20 діб за температури повітря від 1°C до 6°C та відносної вологості повітря не більше 75%

Таблиця 11

Інновації, прийняті до впровадження в технології закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини

Складова інноваційної стратегії	Інноваційні вимоги	Шляхи реалізації інновацій
Маркетингова	Задоволення потреб різних груп споживачів у поживних та готових до споживання закусках на рослинній основі, які є джерелом рослинного білка, мають високі органолептичні показники й не містять алергенів	Виробництво закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини. Через обґрунтування рецептурного складу та параметрів технологічного процесу виробництва закуску реалізовано опцію сервісу – зручність у використанні, розширення асортименту, задоволення зростаючих потреб у білку
Технологічна	Високі смакові та поживні властивості продукту, відсутність алергенів, екологічність, можливість тривалого зберігання сировини	Забезпечення стабільності технологічних властивостей (стійкість отриманих емульсійних систем) під впливом технологічних чинників (пастеризація). Оптимізований технологічний процес механічної кулінарної обробки (відсутність трудомістких технологічних процесів)
Організаційна	Виробництво – спеціалізовані цехи. Реалізація – заклади ресторанного господарства, супермаркети, гіпермаркети	Упровадження організаційно-технологічних принципів виробництва, спрямованих на підвищення ефективності функціонування ланцюга «від лану до столу»

Закуски з емульсійною структурою на основі рослинної сировини одержували шляхом виготовлення напівфабрикатів «аквафаба», «відварні бобові», «відварні овочі», «олія рафінована дезодорована», їх

об'єднання та перемішування до однорідної маси. Модель технологічної схеми виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини подано на рис. 5.

Технологію отримання напівфабрикатів «відварні бобові» та «аквафаба» наведено в другому розділі «Матеріали та методи дослідження».

Підготовлені овочі закладають у киплячу воду 95–98°C, зі співвідношенням овочів та води 1:3. Овочі після розм'якшення у воді не зберігають, а подрібнюють, використовуючи устаткування з отворами на ситі $(2...5) \cdot 10^{-3}$ м, приготований напівфабрикат зберігають протягом $(1...2) \cdot 60^2$ с.

Для запікання підготовлені овочі, змазані олією рафінованою дезодорованою, викладають на деко та запікають у розігрітій до 180...200°C духовій шафі протягом $(30...50) \cdot 60$ с. Запечені овочі після остигання подрібнюють використовуючи устаткування з отворами на ситі $(2...5) \cdot 10^{-3}$ м, приготований напівфабрикат зберігають протягом $(1...2) \cdot 60^2$ с.

Жировмісну сировину (олія рафінована дезодорована) піддають механічному кулінарному обробленню (гомогенізація), зберігають при 14...18°C.

Емульгування аквафаби та жировмісної сировини здійснюється протягом $(10...15) \cdot 60$ с за температури 12...18°C, за допомогою гомогенізатора, зі ступенем емульгування $2 \cdot 10^{-6}$ м, вводячи жировмісну сировину в аквафабу.

Подрібнені овочі та бобові з'єднують, безперервно перемішуючи, уводять тонкою цівкою жировмісну сировину і продовжують збивати до повного з'єднання жиру з сумішшю протягом $(10...15) \cdot 60$ с. Після цього додають спеції, доводять до смаку і перемішують.

Приготовлені закуски фасують і пакують. Закуску тривалого терміну зберігання пастеризують, охолоджують, пакують $m = (200...300) \cdot 10^{-3}$ кг і зберігають за температури 0...6°C, $\tau = 20$ днів. Закуску короткого терміну зберігання відразу реалізують на виробництві.

Модель технологічної схеми виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини (рис. 5) подано як цілісну систему, у межах якої виділено підсистеми С1, С2, С3, С4, В, А, спрямовані на одержання кінцевого результату функціонування системи.

У межах підсистеми С1 «Утворення бобово-овочевої суміші» одержують однорідну овочево-бобову суміш.

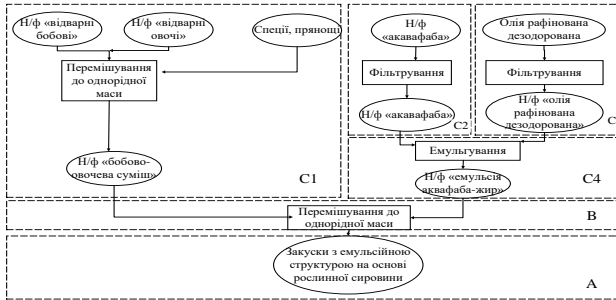


Рис. 5. Модель технологічної схеми виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини

Підсистеми C2 і C3 передбачають підготовку олії рафінованої дезодорованої та аквафаби до емульгування шляхом фільтрування для вилучення сторонніх домішок. Вміст сухих речовин в аквафабі становить 4,0...6,0%, що, як доведено внаслідок аналізу літературних джерел та проведених наукових досліджень, відображає її емульгуючі властивості в межах раціональних параметрів необхідних за розробленою технологією.

Результатом функціонування підсистеми B є одержання емульсійної пастоподібної однорідної структури закусок.

Підсистема A реалізується шляхом виконання послідовних технологічних операцій, а саме охолодження емульсійної системи до 10...12°C, фасування ($m = 0,2...0,3$ кг) у пластикові місткості, маркування. Закуски з емульсійною структурою зберігаються за температури 1...6°C та відносної вологості повітря не більше ніж 75%; строк придатності становить не більше ніж 20 дб.

Для покращення органолептичних показників та підсилення біологічної дії закусок на організм людини в рецептуру можна додавати овочі, які традиційно вирощуються в Україні, що збільшить загальний вміст нутрієнтів та відповідатиме принципам «від лану до столу». Українські фермерські господарства отримують нові точки збуту вирощеної продукції в межах країни, що сприятиме розвитку локального фермерства, появі нових робочих місць та підтримуватиме економіку нашої країни загалом.

Закуски з емульсійною структурою на основі рослинної сировини характеризуються високими органолептичними показниками, які наведено в табл. 12.

Органолептичні показники закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини

Найменування продукції	Найменування показників і характеристика				
	Зовнішній вигляд	Консистенція	Колір	Запах	Смак
Закуска з квасолею, буряком і копченою паприкою	Рівномірно подрібнена маса із включеними припошів	Однорідна, кремоподібна, мазка маса	Від блідо- до темно- червоного, рівномірний за всією масою	Яскраво виражений запах відварної квасолі, з легким ароматом буряку	Ніжний, виражений, відповідає вареній квасолі із присмаком буряку, спецій
Закуска з горохом, запеченою морквою і гарбузом	Рівномірно подрібнена маса, із включеними припошів	Однорідна, кремоподібна, мазка маса	Від жовтого до світло- коричневого, рівномірний за всією масою	Яскраво виражений запах відварного гороху, з легким ароматом відварних овочів	Ніжний, виражений, відповідає вареному гороху із присмаком моркви, гарбуза
Закуска з нутом, в'яленими томатами й запеченим перцем	Рівномірно подрібнена маса із включеними припошів	Однорідна, кремоподібна, мазка маса	Червоний, рівномірний за всією масою	Яскраво виражений запах відварного нуту, з легким ароматом спецій	Ніжний, виражений, відповідає вареному нуту, із присмаком помідора, спецій

На основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень складено модель технологічної системи виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини (рис. 6).

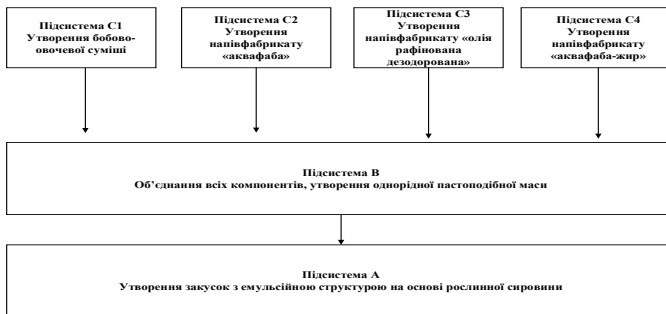


Рис. 6. Модель технологічної системи виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинно сировини з визначенням підсистем

Модель технологічної системи виробництва закусок з емульсійною структурою (рис. 6) подано як цілісну систему, у межах якої виділено підсистеми С1, С2, С3, С4, В, А, спрямовані на одержання кінцевого результату функціонування системи – закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини. Мету функціонування підсистем наведено в табл. 13.

На підставі аналітичних досліджень спрогнозовано шляхи використання закусок з емульсійною структурою на основі рослинної

сировини в закладах ресторанного господарства, а саме безпосередньо як закуски, соус, гарнір, намазку, начинку. У разі необхідності розширення асортименту розроблених закусок можна корегувати рецептурний склад шляхом уведення інших овочевих компонентів та прянощів.

Отримані результати аналітичних та експериментальних досліджень покладено в основу технології закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини.

Таблиця 13

Структура технологічної системи та мета функціонування її складових частин

Позначення підсистеми	Найменування підсистеми	Мета функціонування підсистеми
А	Утворення закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини	Отримання готових закусок з емульсійною структурою
В	Об'єднання всіх компонентів, утворення однорідної пастоподібної маси	Об'єднання всіх напівфабрикатів
С1	Утворення бобово-овочевої суміші	Одержання бобово-овочевої суміші як дисперсійного середовища емульсійної структури
С2	Утворення напівфабрикату «аквафаба»	Одержання проміжного напівфабрикату аквафаба як дисперсної фази напівфабрикатів з емульсійною структурою
С3	Утворення напівфабрикату «олія рафінована дезодорована»	Одержання проміжного напівфабрикату олії соняшникової рафінованої дезодорованої як дисперсної фази напівфабрикатів з емульсійною структурою
С4	Утворення напівфабрикату «аквафаба-жир»	Одержання емульсійної системи «аквафаба-жир», як середовища емульсійної структури

ВИСНОВКИ

1. Начасі всевітня організація з продовольства залічує бобові до стратегічних продовольчих культур людства, яким належить важлива

роль у забезпеченні продовольчих потреб населення планети. Вирощування бобових як сировини для виробництва харчових продуктів має такі переваги, як низький рівень викидів вуглецю, підвищення врожайності інших культур, стійкість ґрунту до порушень екосистеми, використання посівної площі землі, води, що відображає екологічні переваги цього джерела рослинного білка. Виробництво харчових продуктів на основі бобових дозволить їх популяризувати та збільшити споживання.

2. Завдяки отриманим результатам досліджень розроблено модель технології виробництва закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини, визначено інноваційний задум технології, в якому увагу зосереджено на побічному продукті – аквафабі – рідині одержаній після гідротермічного оброблення бобових. Аквафаба проявляє такі функціонально-технологічні властивості, як здатність до піноутворення та емульгування, загущення та гелеутворення.

3. Встановлена послідовність технологічних операцій та обґрунтовано їх раціональні параметри. Розроблена технологія відповідає вимогам сьогодення, щодо дотримання принципів відповідального споживання та виробництва.

4. Досліджено технологічні параметри утворення стійких емульсійних систем на основі аквафаби. Визначено емульгуючу здатність і стійкість емульсії «аквафаба-жир», вплив на показники рецептурних компонентів, а саме ксантанової камеді, модифікованого крохмалю з воскової кукурудзи, NaCl, NaHCO₃.

5. Визначені основні органолептичні показники супутнього напівфабрикату «аквафаба» та закусок з емульсійною структурою на основі рослинної сировини.

АНОТАЦІЯ

Бобові – джерело рослинного білка, клітковини, вітамінів, мінеральних речовин, фітонутрієнтів. Завдяки біологічним особливостям та хімічному складу бобові позитивно впливають на здоров'я людей, агроекологічний стан ґрунтів та екосистему загалом. Крім того, бобові можна зберігати без специфічних умов протягом тривалого часу, що не впливає на їхню якість. Незважаючи на переваги бобових їх споживання дещо обмежене, чим обумовлена актуальність дослідження технологічних аспектів використання бобових.

Обґрунтовано інноваційний задум технології закусок з емульсійною структурою, досліджено емульгуючу здатність і стійкість емульсії «аквафаба-жир», визначено раціональні параметри технологічного процесу. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено модель технології виробництва закусок з емульсійною

структурою на основі рослинної сировини. Запропонована модель технології дозволить реалізувати функціонально-технологічні властивості бобових, популяризувати їх серед різних груп споживачів, розширити можливості їх використання в харчовій промисловості.

Упровадження розробленої технології дозволить отримати харчовий продукт, який зможуть споживати різні групи споживачів, незалежно від віку, наявності харчових, етичних чи релігійних обмежень, що збагатить денний раціон населення рослинним білком, популяризує традиційні для нашого клімату бобові, розширить канали збуту сільськогосподарської продукції всередині країни, що здійснюватиметься в межах дотримання принципів циркулярної економіки та цілей сталої продовольчої системи.

Література

1. The Sustainable Development Goals Report 2022. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>
2. How to lower your food's carbon footprint. URL: <https://www.greeneatz.com/foods-carbon-footprint.html>
3. HeaLabel. Water Footprint Of Food List. URL: <https://www.healabel.com/water-footprint-of-food-list/>
4. Our World in Data. Land use per 100 grams of protein. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/land-use-protein-poore>
5. Модель циркулярної економіки. Дія. Бізнес. URL: <https://business.diia.gov.ua/handbook/impact-investment/model-cirkularnoi-ekonomiki>
6. Henze V., Boyd S. Bloomberg. Plant-based Foods Market to Hit \$162 Billion in Next Decade, Projects Bloomberg Intelligence. URL: <https://www.bloomberg.com/company/press/plant-based-foods-market-to-hit-162-billion-in-next-decade-projects-bloomberg-intelligence/>
7. Stenico A., Zarantonello D., Vittadello F., Kob M.. A Comprehensive Examination of Vegan Lifestyle in Italy. *Nutrients*. 2024. Vol. 16. No 1:86. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010086>
8. Distribution of the global plant-based food ingredient market size from 2019 to 2026, by source. URL: <https://www.statista.com/statistics/1285597/global-plant-based-food-market-by-source/>
9. Market research report. Vegan Food Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Product Type (Vegan Meat, Vegan Milk, and Others), Distribution Channel (Supermarkets/Hypermarkets, Convenience Stores, Online Retailers, and Others), and Regional Forecast 2021-2028. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/vegan-food-market-106421>
10. Ukrainian vegan cuisine: how volunteers in Uzhhorod organize healthy food for displaced people. URL: <https://rubryka.com/en/article/vegan-cuisine-uzhgorod/>

11. Good Food Institute. Consumer insights. URL: <https://gfi.org/resource/consumer-insights/>

12. New Hope. Bumper crop of plant-based products feeds growing consumer demand. URL: <https://www.newhope.com/market-data-and-analysis/bumper-crop-of-plant-based-products-feeds-growing-consumer-demand>

13. Gurbuz, Ismail & Macabangin, Modassir. Factors affecting consumer's behaviour on purchasing and consumption of food products. *Scientific Papers. Series Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development*. 2019. Vol. 19. Issue 1. P. 215-222. URL: <http://surl.li/swfns>

14. Головний сайт для агрономів. Урожай бобових в Україні у 2023 році аналітики оцінюють на рівні 390 тис. т. URL: <http://surl.li/sulkj>

15. Освітній портал «Облік і фінанси АПК». Норми природних витрат. URL: <https://magazine.faaf.org.ua/normi-prirodnih-vtraty-472.html>

16. Ngwe, Tin & Nukui, Yoko & Oyaizu, Shinya & Takamoto, Genki & Koike, Satoshi & Ueda, Koichiro & Nakatsuji, Hiroki & Kondo, Seiji & Kobayashi, Yasuo. Bean husks as a supplemental fiber for ruminants: Potential use for activation of fibrolytic rumen bacteria to improve main forage digestion. *Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho*. 2012. Vol. 83. P. 43-9. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2011.00916.x.

17. Linton R. G., Wilson A. N., and Watson S. J., The Nutritive Value of Legume Husks, *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 24. No 1934. P. 260–268. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600006638>

18. Chockchaisawasdee, S., Mendoza, M. C., Beecroft, C. A., Kerr, A. C., Stathopoulos, C. E., & Fiore, A. Development of a gluten free bread enriched with faba bean husk as a fibre supplement. *LWT – Food Science and Technology*. 2023. Vol. 173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114362>

19. Niño-Medina, Guillermo, Dolores Muy-Rangel, Ana Laura de la Garza, Werner Rubio-Carrasco, Briceida Pérez-Meza, Ana P. Araujo-Chapa, Kelsy A. Gutiérrez-Álvarez, and Vania Urías-Orona. Dietary Fiber from Chickpea (*Cicer arietinum*) and Soybean (*Glycine max*) Husk Byproducts as Baking Additives: Functional and Nutritional Properties. *Molecules* 2019. Vol. 24. No 5: 991. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050991>

20. Bose D., Shams-Ud-Din M. The effect of chickpea (*Cicer arietinum*) husk on the properties of cracker biscuits. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2010. Vol. 8. No 1. DOI: <https://doi.org/10.3329/jbau.v8i1.6412>.

21. Inam A K M Sarwar, Haque Md., Shams-Ud-Din M., Easani Md. Effects of chickpea husk on the baking properties of chapattis. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2011. Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3329/jbau.v8i2.7941>.

22. Dalgetty D., Byung-Kee B. Fortification of Bread with Hulls and Cotyledon Fibers Isolated from Peas, Lentils, and Chickpeas. *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0269>.
23. Camiletti O. F., Bergesse A. E., Aleman R., Riveros C. G., Grosso N. R. Application of chickpea-based edible coating with chickpea husk polyphenols on the preservation of sunflower seeds. *Journal of Food Science*. 2023. Vol. 88. P. 1237–1252. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16489>
24. Urías-Orona V., Rascon A., Lizardi-Mendoza J., Carvajal–Millán E., Gardea A., Islas-Rubio Alma. Extraction, Composition and Functional Properties of Pectin from Chickpea Husk. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1201/b12234-4>.
25. Camiletti Ornella, Bergesse Antonella, Prieto María Cecilia, Quiroga Patricia, Ojeda Gonzalo, Sgroppo Sonia, Riveros Cecilia, Grosso Nelson. Phenolic, volatile compounds, antioxidant, and preservative activity of Argentinian Kabuli chickpea husk extract. *Journal of the American Oil Chemists. Society*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/aocs.12759>.
26. Gizem Sevval Tomar, Rukiye Gundogan, Asli Can Karaca, Michael Nickerson, Chapter Four – Valorization of wastes and by-products of nuts, seeds, cereals and legumes processing, Editor(s): Esra Capanoglu, María Dolores Navarro-Hortal, Tamara Yuliett Forbes-Hernández, Maurizio Battino *Advances in Food and Nutrition Research, Academic Press*. 2023. Vol. 107. P. 131-174, DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2023.03.004>.
27. Teterycz D., Sobota A., Zarzycki P. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J Food Sci Technol* 2020. Vol. 57. P. 301–309. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5>
28. Neji C., Semwal J., Kamani MH., Máthé E., Sipos P. Legume Protein Extracts: The Relevance of Physical Processing in the Context of Structural, Techno-Functional and Nutritional Aspects of Food Development. *Processes*. 2022. Vol. 10, No 12:2586. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10122586>
29. Muhammad Afzaal, Farhan Saeed, Muhammad Aamir, Ifrah Usman, Iqra Ashfaq, Ali Ikram, Muzzamal Hussain, Faqir Muhammad Anjum, Muhammad Waleed & Hafiz Suleria Encapsulating properties of legume proteins: recent updates & perspectives, *International Journal of Food Properties*. 2021. Vol. 24. No 1. P. 1603-1614, DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1987456>
30. Yakoub Ladjal Ettoumi, Mohamed Chibane, Alberto Romero, Emulsifying properties of legume proteins at acidic conditions: Effect of protein concentration and ionic strength, *LWT – Food Science and Technology*. 2016. Vol. 66. P. 260-266, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.051>.

31. Onyango E. Legume Protein: Properties and Extraction for Food Applications. *Legumes Research*. 2022. Vol. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.100393>

32. Linares-Castañeda A., Sánchez-Chino X. M., Yolanda de las Mercedes Gómez y Gómez, Jiménez-Martínez C., Martínez Herrera J., Cid-Gallegos M. S., Corzo-Ríos L. J. Cereal and legume protein edible films: a sustainable alternative to conventional food packaging. *International Journal of Food Properties*. 2023. Vol.26. No 2. P.3197–3213. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2267785>

33. Kartik Sharma, Ramandeep Kaur, Satish Kumar, Ramesh Kumar Saini, Surabhi Sharma, Subhash V Pawde, Vikas Kumar, Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications, *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100191>.

34. Timilsena, Yakindra Prasad, Arissara Phosanam, and Regine Stockmann.. Perspectives on Saponins: Food Functionality and Applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol.24. No 17: 13538. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241713538>

35. Kareem O. Positive Health Benefits of Saponins from Edible Legumes: Phytochemistry and Pharmacology. In: Masoodi, M.H., Rehman, M.U. (eds) *Edible Plants in Health and Diseases*. Springer. 2022. P. 279–298. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-4959-2_8.

36. Nicolás-García Mayra, Cristian Jiménez-Martínez, Madeleine Perucini-Avendaño, Brenda Hideliza Camacho-Díaz, Antonio Ruperto Jiménez-Aparicio, and Gloria Dávila-Ortiz. Phenolic Compounds in Legumes: Composition, Processing and Gut Health. *Legumes Research*. 2022. Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98202>.

37. Rodríguez Madrera, Roberto et al. Phenolic Content and Antioxidant Activity in Seeds of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods (Basel, Switzerland)* 2021. Vol. 10. No 4:864. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10040864>

38. U.S Department of agriculture. Agricultural Research Service. URL: <https://www.usda.gov/>

39. Polak, Rani. Legumes: Health Benefits and Culinary Approaches to Increase Intake. *Clinical diabetes : a publication of the American Diabetes Association* 2015. Vol. 33. No 4. P.198-205. DOI: <https://doi.org/10.2337/diaclin.33.4.198>

40. Polak R., Phillips EM., Campbell A. Legumes: Health Benefits and Culinary Approaches to Increase Intake. *Clin Diabetes*. 2015. Vol. 33. No 4. P. 198-205. DOI: <https://doi.org/10.2337/diaclin.33.4.198>.

41. Nerea Becerra-Tomás, Christopher Papandreou, Jordi Salas-Salvadó, Legume Consumption and Cardiometabolic Health, *Advances in*

Nutrition. 2019. Vol. 10. Supplement 4. P. 437-450, DOI: <https://doi.org/10.1093/advances/nmz003>.

42. Amoah Isaac, Angela Ascione, Fares M. S. Muthanna, Alessandra Feraco, Elisabetta Camajani, Stefania Gorini, Andrea Armani, Massimiliano Caprio, and Mauro Lombardo. Sustainable Strategies for Increasing Legume Consumption: Culinary and Educational Approaches. *Foods*. 2023. Vol. 12. No 11: 2265. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12112265>

43. Rui Costa, Francesca Fusco, João F.M. Gândara, Mass transfer dynamics in soaking of chickpea, *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 227. P. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.004>

44. Gouri Das, Anand Sharma, Prabir K. Sarkar, Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes, *Applied Food Research*. 2022. Vol. 2. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>.

45. Abd El-Hady E.A, Habiba R.A, Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds, *LWT – Food Science and Technology*. 2003. Vol. 36, Issue 3. P. 285-293. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00217-7](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00217-7).

46. Oligosaccharide Content and Composition of Legumes and Their Reduction by Soaking, Cooking, Ultrasound, and High Hydrostatic Pressure In Hwa Han, Byung-Kee Baik First published: 2006 DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0428>

47. Gilani GS., Cockell KA., Sepehr E. Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *JAOAC Int*. 2005. Vol. 88. No 3. P.967-987. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16001874/>

48. Timorachka M., Vollmannova A., Bystricka J. Polyphenols in chosen species of legume: a review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2010. Vol. 4, No 4. P. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.5219/81>

49. Tabekhia M. M., Luh B. S. Effect of germination, cooking, and canning on phosphorus and phytate retention in dry beans. *Journal of Food Science*. 1980. Vol. 45. No 2. P. 406–408. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb02631.x>.

50. Wang X., Yang R., Jin X. Effect of germination and incubation on Zn, Fe, and Ca bioavailability values of soybeans (*Glycine max L.*) and mung beans (*Vigna radiate L.*). *Food Sci Biotechnol*. 2015. Vol. 24. P.1829–1835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0239-0>

51. Neeranara Pandae, Weerada Krangkrathok, Thornthan Sawangwan, Nipaporn Ngernyuang, Sudathip Chantorn, Bioactivity and prebiotic properties of raffinose oligosaccharides derived from different chickpeas for alternative functional food application, *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2024. Vol. 31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100412>.

52. Jasia Nissar, Tehmeena Ahad, HR Naik and SZ Hussain. A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical. *J Pharmacogn Phytochem* 2017. Vol. 6. No 6. P.1554-1560. URL: <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartV/6-6-208-319.pdf>
53. Koriyama T., Sato Y., Iijima K., Kasai M. Influences of Soaking Temperature and Storage Conditions on Hardening of Soybeans (*Glycine max*) and Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*). *J Food Sci.* 2017. Vol. 82. No 7. P. 1546-1556. DOI: 10.1111/1750-3841.13749.
54. Cevdet Nergiz, Erkan Gökgöz. Effects of traditional cooking methods on some antinutrients and in vitro protein digestibility of dry bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Turkey. *International Journal of Food Science and Technology* 2007. Vol. 42. P. 868–873. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01297.x
55. Muhammad Siddiq, Mark A. Uebersax. Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition. *John Wiley & Sons.* 2012. [DOI:10.1002/9781118448298.
56. Johnny S., Razavi SM., Khodaei D. Hydration kinetics and physical properties of split chickpea as affected by soaking temperature and time. *J Food Sci Technol.* 2015. Vol. 52. No 12. P. 8377-8382. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1893-1>.
57. He Yue, Youn Young Shim, Jianheng Shen, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Venkatesh Meda, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soybean II: Physicochemical Properties and Composition Characterized by NMR Analysis. *Foods.* 2021. Vol.10. No 11: 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112589>
58. Marin Prodanov, Isabel Sierra, Concepción Vidal-Valverde, Influence of soaking and cooking on the thiamin, riboflavin and niacin contents of legumes, *Food Chemistry.* 2004. Vol. 84. Issue 2. P. 271-277, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00211-5).
59. Beata Klamczynska, Zuzanna Czuchajowska, Byung-Kee Baik. Composition, soaking, cooking properties and thermal characteristics of starch of chickpeas, wrinkled peas and smooth peas. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00486.x>
60. Yue He, Venkatesh Meda, Martin J.T. Reaney, Rana Mustafa, Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology.* 2021. Vol. 111. P. 27-42, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.035>.
61. Ohanenye, Ikenna C., Flora-Glad C. Ekezie, Roghayeh A. Sarteshnizi, Ruth T. Boachie, Chijioke U. Emenike, Xiaohong Sun, Ifeanyi D. Nwachukwu, and Chibuikwe C. Udenigwe. Legume Seed Protein Digestibility as Influenced by Traditional and Emerging Physical Processing Technologies.

Foods. 2022. Vol. 11. No 15: 2299. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152299>

62. Drulyte Donata, and Vibeke Orlien. The Effect of Processing on Digestion of Legume Proteins. *Foods*. 2019. Vol. 8. No 6: 224. <https://doi.org/10.3390/foods8060224>

63. Margier Marielle, Stéphane Georgé, Nouredine Hafnaoui, Didier Remond, Marion Nowicki, Laure Du Chaffaut, Marie-Josèphe Amiot, and Emmanuelle Reboul. Nutritional Composition and Bioactive Content of Legumes: Characterization of Pulses Frequently Consumed in France and Effect of the Cooking Method. *Nutrients*. 2018. Vol. 10. No 11: 1668. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10111668>

64. He Yue, Sarah K. Purdy, Timothy J. Tse, Bunyamin Tar'an, Venkatesh Meda, Martin J. T. Reaney, and Rana Mustafa. Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs. *Foods* 2021. Vol. 10. No. 9: 1978. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10091978>

65. Mustafa R., Reaney M.J.T. Aquafaba, from Food Waste to a Value-Added Product. In *Food Wastes and By-products* (eds R. Campos-Vega, B.D. Oomah and H.A. Vergara-Castañeda). 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch4>

66. He, Yue, Youn Young Shim, Rana Mustafa, Venkatesh Meda, and Martin J.T. Reaney. Chickpea Cultivar Selection to Produce Aquafaba with Emulsion Properties. *Foods*. 2019. Vol. 8. No 12: 685. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8120685>

67. Stantiall S. E., Dale K. J., Calizo F. S. et al. Application of pulses cooking water as functional ingredients: the foaming and gelling abilities. *Eur Food Res Technol*. 2018. Vol. 244. No 11. P. 97–104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2943-x>

68. Fuentes Choya P., Combarros-Fuertes P., Abarquero Camino D., Renes Bañuelos E, Prieto Gutiérrez B, Tornadijo Rodríguez ME, Fresno Baro JM. Study of the Technological Properties of Pedrosillano Chickpea Aquafaba and Its Application in the Production of Egg-Free Baked Meringues. *Foods*. 2023. Vol. 12. No 4:902. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12040902>

69. Grossi Bovi Karatay, Grazielle, Ana Paula Rebellato, Caroline Joy Steel, and Miriam Dupas Hubinger. Chickpea Aquafaba-Based Emulsions as a Fat Replacer in Pound Cake: Impact on Cake Properties and Sensory Analysis *Foods*. 2022. Vol. 11, No 16: 2484. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162484>

70. Crawford Kaelyn, Catrin Tyl, and William Kerr. Evaluation of Processing Conditions and Hydrocolloid Addition on Functional Properties of Aquafaba. *Foods*. 2023. Vol. 12. No 4: 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12040775>

71. Alsalman Fatemah B., Mehmet Tulbek, Michael T. Nickerson and Hosahalli S. Ramaswamy. Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba. *Legume Science* 2020. Vol. 2 DOI: <https://doi.org/10.1002/leg3.30>
72. Aquafaba Nutrition. URL: <https://www.aquafaba.com/nutrition.html>
73. Edleman D., Hall C. Impact of Processing Method on AQF Functionality in Bakery Items. *Foods*. 2023. Vol. 12. No 11:2210. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12112210>
74. Grossi Bovi Karatay, Grazielle, Andrêssa Maria Medeiros Theóphilo Galvão, and Miriam Dupas Hubinger. Storage Stability of Conventional and High Internal Phase Emulsions Stabilized Solely by Chickpea Aquafaba. *Foods*. 2022. Vol. 11. No 11: 1588. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11111588>
75. Mariana Cassel Meurer, Daiana de Souza, Lígia Damasceno Ferreira Marczak, Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba), *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109688>
76. Erem Erenay, Akdeniz Esra, Çayır Merve, İçyer Necattin, Toker Omersaid. Fruit-based vegan ice cream-type frozen dessert with aquafaba: effect of fruit types on quality parameters. *Journal of Food Science and Technology*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05885-y>.
77. Kumar A., Wadikar D., Pal S., Yadav D.K., Semwal A.D. Development and Evaluation of High Protein Spread Based on Aquafaba. *Food Science and Engineering*. 2023. Vol.4 No. 2. P. 314-323. URL: <https://ojs.wiserpub.com/index.php/FSE/article/view/3226>
78. He Yue, Youn Young Shim, Jianheng Shen, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Venkatesh Meda, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soy bean II: Physicochemical Properties and Composition Characterized by NMR Analysis. *Foods* 10. 2021. No. 11: 2589. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112589>
79. Shim Y. Y., Mustafa R., Shen J., Ratanapariyanuch K., Reaney M. J. T. Composition and Properties of Aquafaba: Water Recovered from Commercially Canned Chickpeas. *J. Vis. Exp.* 2018. Vol. 132. DOI: <https://doi.org/10.3791/56305>
80. Ramos-Figueroa J.S., Tse T.J., Shen J., Purdy S.K., Kim J.K., Kim Y.J., Han B.K., Hong J.Y., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Foaming with Starch: Exploring Faba Bean Aquafaba as a Green Alternative. *Foods* 2023. Vol. 12. 3391. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12183391>
81. Echeverria-Jaramillo, Esteban, Yoon-ha Kim, Ye-rim Nam, Yi-fan Zheng, Jae Youl Cho, Wan Soo Hong, Sang Jin Kang, Ji Hye Kim, Youn Young Shim, and Weon-Sun Shin. Revalorization of the Cooking Water (Aquafaba) from Soybean Varieties Generated as a By-Product of Food

Manufacturing in Korea. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 10: 2287. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10102287>

82. Shim, Youn Young, Yue He, Ji Hye Kim, Jae Youl Cho, Venkatesh Meda, Wan Soo Hong, Weon-Sun Shin, Sang Jin Kang, and Martin J. T. Reaney. Aquafaba from Korean Soybean I: A Functional Vegan Food Additive. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 10: 2433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10102433>

83. Puzhen Sun, Yuwei Zhang, Yanyu Zhang, Ziqian Feng, Sung Je Lee, Luca Serventi, Antimicrobial activity of tofu whey and steam blanching pea water for enhancement of shelf-life of 3D printed mashed potatoes, *Food Bioscience*, 2022, Vol. 50, Part A. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102049>.

84. Tomás Lafarga, Silvia Villaró, Gloria Bobo, Ingrid Aguiló-Aguayo, Optimisation of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2019. Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100177>

85. Alsalman, Fatemah B., Hosahalli S. Ramaswamy. Evaluation of Changes in Protein Quality of High-Pressure Treated Aqueous Aquafaba. *Molecules* 2021. Vol. 26. No 1: 234. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26010234>

86. Lafarga Tomas, Villaró Silvia, Bobo Gloria, Simó Joan, Aguiló-Aguayo Ingrid. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in cooked pulses. *International Journal of Food Science & Technology*. 2019. Vol. 54. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14082>.

87. Balwinder Singh, Jatinder Pal Singh, Amritpal Kaur, Narpinder Singh, Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*. 2017. Vol. 101. P. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>.

88. Achilladelis P., Petsas A.S., Karantonis H.C. Effect of Fortification of Tahini with Natural Plant Origin Raw Materials on Its Bioactivity. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No 17:9626. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179626>

89. Bochenek H., Francis N., Santhakumar A.B., Blanchard C.L., Chinkwo K.A. The antioxidant and anticancer properties of chickpea water and chickpea polyphenol extracts in vitro. *Cereal Chemistry*. 2023. Vol. 100. No 4. P. 895-903. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10671>

90. Bochenek H., Francis N., Santhakumar A.B, Blanchard C.L., Chinkwo K.A. Chickpea Water and Chickpea Polyphenols Induce Apoptosis and Alleviate Cell Migration In Vitro in Human Colon Adenocarcinoma Cells. Preprints 2022. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202206.0317.v1>

91. Nataly Dapueto, Elizabeth Troncoso, Camila Mella, Rommy N. Zúñiga, The effect of denaturation degree of protein on the microstructure, rheology and physical stability of oil-in-water (O/W) emulsions stabilized by whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 263. P. 253-261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.005>.

92. Pan N, Wan W, Du X, Kong B, Liu Q, Lv H, Xia X, Li F. Mechanisms of Change in Emulsifying Capacity Induced by Protein Denaturation and Aggregation in Quick-Frozen Pork Patties with Different Fat Levels and Freeze-Thaw Cycles. *Foods*. 2021. Vol. 11. No 1:44. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010044>.

93. El-Sohaimy Sobhy, Brennan Marageta, Darwish Amira, Brennan Charles. Chickpea Protein Isolation, Characterization and Application in Muffin Enrichment. *International Journal of Food Studies*. 2021. P. 57-71. DOI: <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.SI.2021.a5>.

94. Als Salman F.B., Tulbek M., Nickerson M., Ramaswamy H.S., Evaluation of factors affecting aquafaba rheological and thermal properties. *LWT – Food Science and Technology*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109831>.

95. Emanuele Armafortè, Lynsey Hopper, Gillian Stevenson, Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. *LWT*. 2021. Vol. 136. Part 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341>

96. Nguyệt Nguyen, Chánh Ngô. Vai trò của citrus fiber đến các tính chất cấu trúc của mayonnaise chay, ít béo được chế biến từ dịch đậu ván và dầu dừa. Role of citrus fiber in the textural properties of vegan and low-fat mayonnaise made from *lablab purpureus* aquafaba and coconut oil. 2022.

97. Dương Trịnh, Trang Nguyễn, Nguyệt Nguyễn. ảnh hưởng của xơ cam quýt đến tính chất cấu trúc, vật lý của kem lạnh không sữa từ dịch đậu ngự, sữa dừa và khoai lang tím. *Journal of Science and Technology*. 2021. IUH. 50. DOI: <https://doi.org/10.46242/jst-iuh.v50i08.967>.

98. Andrieieva S., Kolesnikova M., Hrynchenko O., Iurchenko S., Plotnikova R. Technologies of sweet sauces with the use of physical modification starches. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31435/rsglobal/008>

99. Goralchuk A., Omel'chenko S., Kotlyar O., Grinchenko O., Mikhaylov V. Developing a model of the foam emulsion system and confirming the role of the yield stress shear of interfacial adsorption layers to provide its formation and stability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3/11 (81). P. 11-19. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69384>.

100. Omelchenko S., Horalchuk A., Hrynchenko O. Argumentation of emulsifier part in the recipe of foam and emulsion dairy products containing

vegetable fats. The advanced science journal. 2014. № 7. P. 28-32. DOI: 10.15550/ASJ.2014.07.028.

101. Горальчук А. Б. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів збивних для кулінарної та кондитерської продукції з поліфазною структурою : дис. д-ра техн. наук: 05.18.16. Х., ХДУХТ. 2016. 374 с.

102. Sachko A., Sema O., Grinchenko O., Gubsky S. Canned Beans Aquafaba as an Egg White Substitute in the Technology of Low-Fat Mayonnaise. *Engineering Proceedings*. 2023. Vol. 56. No1:206. DOI: <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-16291>

103. Grynchenko N., Tyutyukova D., Pyvovarov P., Nagornyi O. Development of technology for the production of semifinished products with an emulsion structure based on the decalcified dairy raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 2(11-92), P. 4–10 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127113>

104. McClements D.J. Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Second Edition (2nd ed.). *CRC Press*. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420039436>

105. Chen L., Ao F., Ge X., Shen W. Food-Grade Pickering Emulsions: ration, Stabilization and Applications. *Molecules*. 2020. Vol. 25. No 14:3202. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25143202>.

106. Gerald Muschiolik, Multiple emulsions for food use, Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2007. Vol. 12. Issues 4–5. P. 213-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2007.07.006>.

107. Xin Qiao, Fudi Liu, Zhihao Kong, Zhenyu Yang, Lei Dai, Yanfei Wang, Qingjie Sun, David Julian McClements, Xingfeng Xu, Pickering emulsion gel stabilized by pea protein nanoparticle induced by heat-assisted pH-shifting for curcumin delivery, *Journal of Food Engineering*, 2023. Vol. 350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111504>.

108. César Burgos-Díaz, Traudy Wandersleben, Ana M. Marqués, Mónica Rubilar, Multilayer emulsions stabilized by vegetable proteins and polysaccharides. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2016. Vol. 25. P. 51-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2016.06.014>.

109. Roohinejad Shahin, Greiner Ralf, Oey Indrawati, Wen Jingyuan. Emulsion-based Systems for Delivery of Food Active Compounds: Formation, Application. *Health and Safety*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119247159>

110. Tadros T. Coalescence. In: Tadros, T. (eds) Encyclopedia of Colloid and Interface Science. *Springer*, Berlin, Heidelberg. 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20665-8_51

111. Błaszczuk Mariola M., Łukasz Przybysz. Sedimentation of Microparticles in Highly Concentrated Non-Newtonian Emulsions. *Applied*

Sciences. 2022. Vol.12. No. 20: 10442. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122010442>

112. Kupikowska-Stobba Barbara, Jacek Domagała, Mirosław M. Kasprzak. Critical Review of Techniques for Food Emulsion Characterization. *Applied Sciences*. 2024, Vol. 14, No. 3: 1069. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14031069>

113. Selina Cox, Alicia Sandall, Leanne Smith, Megan Rossi, Kevin Whelan, Food additive emulsifiers: a review of their role in foods, legislation and classifications, presence in food supply, dietary exposure, and safety assessment. *Nutrition Reviews*. 2021. Vol. 79. Issue 6. P. 726–741. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa038>

114. Jiang Jiang, Yan Jin, Xinyu Liang, Michael Piatko, Shawn Campbell, Seong Koon Lo, Yuanfa Liu, Synergetic interfacial adsorption of protein and low-molecular-weight emulsifiers in aerated emulsions. *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 81. P. 15-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.038>.

115. Norn V. Emulsifiers in Food Technology, Emulsifiers in Food Technology: Second Edition. Wiley-Blackwell. 2015. P. 12-20. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118921265.ch1>

116. Hadžiabdić Jasmina, Džana Orman, Elezovic Alisa, Vranic Edina, Rahic Ognjenka. PREPARATION OF NANOEMULSIONS BY HIGH-ENERGY AND LOWENERGY EMULSIFICATION METHODS. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2_48.

117. Колоїдна хімія: Підруч. /Л.С. Воловик, Є.І. Ковалевська, В.В. Манк та ін.; За ред. д-ра хім. наук, проф. В.В. Манка. К.: НУХТ. 2011. с. 196-211.

118. Yinxuan Hu, Lirong Cheng, Sung Je Lee, Zhi Yang, Formation and characterisation of concentrated emulsion gels stabilised by faba bean protein isolate and its applications for 3D food printing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. Vol. 671. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131622>.

119. Mohammad Anvari, Helen S. Joyner (Melito), Concentrated emulsions as novel fat replacers in reduced-fat and low-fat Cheddar cheeses. Part 2. Large amplitude oscillatory shear behavior. *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 91. P. 137-146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.018>.

120. Chen Tan, Yuqian Zhu, Hamed Ahari, Seid Mahdi Jafari, Baoguo Sun, Jing Wang, Sonochemistry: An emerging approach to fabricate biopolymer cross-linked emulsions for the delivery of bioactive compounds. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2023. Vol. 311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102825>.

121. Li X, Xu X, Song L, Bi A, Wu C, Ma Y, Du M, Zhu B. High Internal Phase Emulsion for Food-Grade 3D Printing Materials. *ACS Appl Mater*

Interfaces. 2020. Vol. 12, No 40, P. 45493-45503. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11434>.

122. Tan C., McClements D.J. Application of Advanced Emulsion Technology in the Food Industry: A Review and Critical Evaluation. *Foods*. 2021. Vol. 10. No 4: 812. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10040812>.

123. Jerzy Kizling, Bengt Kronberg, Jan Christer Eriksson, On the formation and stability of high internal phase O/W emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2006. Vol. 123–126. P. 295-302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.05.006>.

124. María Artiga-Artigas, Júlia Montoliu-Boneu, Laura Salvia-Trujillo, Olga Martín-Belloso, Factors affecting the formation of highly concentrated emulsions and nanoemulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019. Vol. 578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123577>.

125. Serdaroglu Meltem, Öztürk Kerimoğlu, Burcu, Kara, Ayşe. An Overview of Food Emulsions: Description, Classification and Recent Potential Applications. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2015. Vol. 3, P. 430-438. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i6.430-438.336>.

126. Aswathanarayan Jamuna Bai, Vittal Ravishankar Rai. Nanoemulsions and Their Potential Applications in Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 3. 2019. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2019.00095>. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095>.

127. Karunarathne D., Nedra Geethi Pamunuwa, Udayana Ranatunga. Introductory Chapter: Microemulsions. Properties and Uses of Microemulsions. InTech. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.68823>.

128. Maria D. Chatzidaki, Vassiliki Papadimitriou, Aristotelis Xenakis, Chapter Four – Encapsulation of food ingredients by microemulsions, Editor(s): Seid Mahdi Jafari, In Nanoencapsulation in the Food Industry, Lipid-Based Nanostructures for Food Encapsulation Purposes. *Academic Press*. 2019. P. 129-149, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815673-5.00004-0>.

129. Maria D. Chatzidaki, Vassiliki Papadimitriou, Aristotelis Xenakis, Chapter Four – Encapsulation of food ingredients by microemulsions, Editor(s): Seid Mahdi Jafari, In Nanoencapsulation in the Food Industry, Lipid-Based Nanostructures for Food Encapsulation Purposes. *Academic Press*. 2019. P. 129-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815673-5.00004-0>.

130. Garti N., Aserin A., Micelles and microemulsions as food ingredient and nutraceutical delivery systems, Editor(s): Nissim Garti, D. Julian

McClements, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals. *Woodhead Publishing*, 2012. P. 211-251. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857095909.3.211>.

131. Cheng Qian, David Julian McClements, Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size. *Food Hydrocolloids*. 2011. Vol. 25. Issue 5. P. 1000-1008, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.017>.

132. Conxita Solans, Isabel Solé, Nano-emulsions: Formation by low-energy methods, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2012. Vol. 17. Issue 5. P. 246-254, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2012.07.003>.

133. Gupta, Ankur & Eral, Burak & Hatton, T. & Doyle, Patrick. Nanoemulsions: Formation, Properties and Applications. *Soft Matter*. 2016. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5SM02958A>.

134. Sharma M., Bains A., Sharma M., Inbaraj B.S., Ali N., Iqbal M., Patil S., Chawla P., Sridhar K., Structural and Thermal Properties of Faba Bean Starch and Flax Seed Oil Nanoemulsion: Effect of Processing Conditions on Nanoemulsion. *Starch*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202300173>

135. Niharika Walia, Lingyun Chen, Pea protein based vitamin D nanoemulsions: Fabrication, stability and in vitro study using Caco-2 cells. *Food Chemistry*. 2020. Vol. 305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125475>.

136. Donsi F., Senatore B., Huang Q., Ferrari G. Development of novel pea protein-based nanoemulsions for delivery of nutraceuticals. *J Agric Food Chem*. 2010. Vol. 58. No 19. P. 10653-10660. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf101804g>.

137. Verkempinck S.H.E., Kyomugasho C., Salvia-Trujillo L., Denis S., Bourgeois M., Van Loey A.M., Hendrickx M.E., Grauwet T., Emulsion stabilizing properties of citrus pectin and its interactions with conventional emulsifiers in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 85. P. 144-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.014>.

138. Zhu Qiaomei, Pan Yijun, Jia Xin, Li Jinlong, Zhang Min, Yin Lijun. Review on the Stability Mechanism and Application of Water-in-Oil Emulsions Encapsulating Various Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12482>.

139. Xin Hong, Qiaoli Zhao, Yuanfa Liu, Jinwei Li. Recent advances on food-grade water-in-oil emulsions: Instability mechanism, fabrication, characterization, application, and research trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63. No 10. P.1406-1436. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1964063>

140. Morfo Zembyla, Brent S. Murray, Anwasha Sarkar, Water-in-oil emulsions stabilized by surfactants, biopolymers and/or particles: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 104. P. 49-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.028>.
141. Benjamin O., Silcock P., Beauchamp J., Buettner A., Everett D.W. Emulsifying properties of legume proteins compared to β -lactoglobulin and Tween 20 and the volatile release from oil-in-water emulsions. *J Food Sci*. 2014. Vol. 79. P.2014-2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12593>.
142. Papalamprou Evdoxia, Makri Eleousa, Kiosseoglou Vassilios, Doxastakis Georgios. Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil-in-water emulsion stabilized with legume proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol.85. P. 1967 – 1973. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2159>.
143. Felix M., Isurralde N., Romero A., Guerrero A. Influence of pH value on microstructure of oil-in-water emulsions stabilized by chickpea protein flour. *Food Science and Technology International*. 2018. Vol. 24. No 7. P. 555-563. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013218774707>
144. Gumus C.E., Decker E.A., McClements D.J. Formation and Stability of ω -3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: Lentil, Pea, and Faba Bean Proteins. *Food Biophysics*. 2017. Vol. 12. P.186–197. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9475-6>
145. Claire Berton-Carabin, Karin Schroën, Towards new food emulsions: designing the interface and beyond. *Current Opinion in Food Science*. 2019. Vol. 27. P. 74-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.006>.
146. Ghiasi, Fatemeh, Hadi Hashemi, Sara Esteghlal, and Seyed Mohammad Hashem Hosseini. An Updated Comprehensive Overview of Different Food Applications of W1/O/W2 and O1/W/O2 Double Emulsions. *Foods*. 2024. Vol. 13. No. 3: 485. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13030485>
147. Sharma Neha, Devi Rohini, Singh Sarbjeet, Garg Mr, Khathuriya Rajesh, Singhvi Indrajeet. AN OVERVIEW ON MULTIPLE EMULSIONS. 2022. Vol. 5. P. 200-204. URL: https://www.ejbps.com/ejbps/abstract_id/4360
148. Luo Tian, Wei Zihao. Recent progress in food-grade double emulsions: Fabrication, stability, applications, and future trends. *Food Frontiers*. 2023. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.276>.
149. Guzey D., McClements D.J. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry. *Adv Colloid Interface Sci*. 2006. Vol. 128-130. P. 227-248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.11.021>.

150. Bortnowska Grażyna. Multilayer Oil-in-Water Emulsions: Formation, Characteristics and Application as the Carriers for Lipophilic Bioactive Food Components – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2015. Vol.3. P. 157-166. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0094-0>.

151. Burgos-Díaz C., Gallardo M., Morales E., Piornos J.A., Marqués A.M., Rubilar M. Utilization of proteins from AluProt-CGNA (a novel protein-rich lupin variety) in the development of oil-in-water multilayer emulsion systems. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2016. Vol. 118. P. 1104-1112. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500260>

152. Rahmati N.F., Koocheki A., Varidi M. Thermodynamic compatibility and interactions between Speckled Sugar bean protein and xanthan gum for production of multilayer O/W emulsion. *J Food Sci Technol.* 2018. Vol. 55. P. 1143–1153. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3030-9>

153. Lin Duanquan, Kelly Alan, Miao Song. Preparation, structure-property relationships and applications of different emulsion gels: Bulk emulsion gels, emulsion gel particles, and fluid emulsion gels. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 102. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.05.024.

154. Yiu Canice Chun-Yin, Sophie Wenfei Liang, Kinza Mukhtar, Woojeong Kim, Yong Wang, and Cordelia Selomulya. Food Emulsion Gels from Plant-Based Ingredients: Formulation, Processing, and Potential Applications Gels. 2023. Vol. 9. No 5: 366. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels9050366>

155. Abdullah , Liu Lang, Javed Hafiz Umer, Xiao Jie. Engineering Emulsion Gels as Functional Colloids Emphasizing Food Applications: A Review. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. DOI <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.890188>.

156. Demir, D., Özvural, E. B., Ertuğrul, Ü., Taş, O., et al. Research on the characteristics of model meat systems with emulsion gels including different legume flours. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. 2023. Vol. 7. No 4. P. 807-817. DOI: <https://doi.org/10.31015/jaefs.2023.4.11>

157. Jiang Z-Q, Wang J, Stoddard F, Salovaara H, Sontag-Strohm T. Preparation and Characterization of Emulsion Gels from Whole Faba Bean Flour. *Foods*. 2020. Vol. 9. No 6:755. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9060755>

158. Burgos-Díaz, César, Karla A. Garrido-Miranda, Daniel A. Palacio, Manuel Chacón-Fuentes, Mauricio Opazo-Navarrete, and Mariela Bustamante. Food-Grade Oil-in-Water (O/W) Pickering Emulsions Stabilized by Agri-Food Byproduct Particles. *Colloids and Interfaces*. 2023. Vol. 7. No. 2: 27. DOI: <https://doi.org/10.3390/colloids7020027>

159. Anwasha Sarkar, Eric Dickinson, Sustainable food-grade Pickering emulsions stabilized by plant-based particles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2020. Vol. 49. P. 69-81, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.04.004>.
160. James Cheon, Fatemah Haji, Jiyou Baek, Qi Wang, Kam C. Tam, Pickering emulsions for functional food systems. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023. Vol. 11. 100510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100510>.
161. Berton-Carabin C.C., Schroën K. Pickering emulsions for food applications: background, trends, and challenges. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2015. Vol. 6. P. 263-297. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-081114-110822>.
162. Niro C.M., Medeiros J.A., Freitas J.A., Azeredo H.M. Advantages and challenges of Pickering emulsions applied to bio-based films: a mini-review. *J Sci Food Agric*. 2021. Vol. 101. No 9. P.3535-3540. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11029>.
163. Deng Wei, et al. Pickering emulsions stabilized by polysaccharides particles and their applications: a review. *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 42. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.24722>
164. Huc-Mathis D., Guilbaud A., Fayolle N., Bosc V., Blumenthal D. Valorizing apple by-products as emulsion stabilizers: Experimental design for modeling the structure-texture relationships. *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110115>.
165. Ghirro L.C., Rezende S., Ribeiro A.S., Rodrigues N., Carocho M., Pereira J.A., Barros L., Demczuk B. Jr., Barreiro M-F, Santamaria-Echart A. Pickering Emulsions Stabilized with Curcumin-Based Solid Dispersion Particles as Mayonnaise-like Food Sauce Alternatives. *Molecules*. 2022. Vol. 27. No (4):1250. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27041250>
166. Huinan Wang, Jiaxin Zhang, Yongxia Xu, Hongbo Mi, Shumin Yi, Ruichang Gao, Xuepeng Li, Jianrong Li, Effects of chickpea protein-stabilized Pickering emulsion on the structure and gelling properties of hairtail fish myosin gel, *Food Chemistry*. 2023. Vol. 417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135821>.
167. Sitong Ge, Rui Jia, Qi Li, Wei Liu, Meihong Liu, Dan Cai, Mingzhu Zheng, Huimin Liu, Jingsheng Liu, Pickering emulsion stabilized by zein/Adzuki bean seed coat polyphenol nanoparticles to enhance the stability and bioaccessibility of astaxanthin, *Journal of Functional Foods*. 2022. Vol. 88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104867>.
168. Ge S., Xiong L., Li M., Liu J., Yang J., Chang R., Liang C., Sun Q. Characterizations of Pickering emulsions stabilized by starch nanoparticles: Influence of starch variety and particle size. *Food Chem*. 2017. Vol. 234. P. 339-347. DOI: [10.1016/j.foodchem.2017.04.150](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.150).

169. Emkani M., Oliete B., Saurel R. Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*. 2022. Vol. 8. No 6. 244. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>

170. ДСТУ 6019:2008 Нут. Технічні умови. [Чинний від 2010-04-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010.

171. ДСТУ 4523:2006 Горох. Технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

172. ДСТУ 8672:2016 Квасоля продовольча. Технічні умови. [Чинний від 2017-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017.

173. ДСТУ 4492:2017 Олія соняшникова. Технічні умови. [Чинний від 27-06-2017 р]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017.

174. ДСТУ ГОСТ 908:2006 Кислота лимонна моногідрат харчова. Технічні умови (ГОСТ 908-2004, ІДТ). [Чинний від 01-01-2007 р]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

175. ДСТУ 8402:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Рефрактометричний метод визначання вмісту розчинних сухих речовин. [Чинний від 21-08-2015 р]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2015.

176. ДСТУ ISO 6658:2005 Дослідження сенсорне. Методологія. Загальні настанови. (ISO 6658:1985, ІДТ). [Чинний від 07-01-2006]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 26 с. (Національний стандарт України).

177. ДСТУ 3946:2018. Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Наставови щодо розроблення і поставлення на виробництво нових та новітніх харчових продуктів. [Чинний від 01-10-2019]. Київ : Держспоживстандарт України, 2019.

Information about the authors:

Radchenko Anna Eduardivna,

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of food technology
in the restaurant industry

State Biotechnological University

44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Dehtiar Valentyna Volodymyrivna,

Postgraduate Student at the Department of food technology
in the restaurant industry

State Biotechnological University

44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine