

УДК 621.789.001:664.346

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.13>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБЛАДНАННЯ НА БЕЗПЕЧНІСТЬ МАЙОНЕЗУ

Дзюндзя О. В. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1996-7065

Горач О. О. – доктор технічних наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002

Резвих Н. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

Майонези – найбільш поширена емульсія типу «олія у воді» або «вода у олії». Даний продукт виготовляється різної жирності, тому для забезпечення необхідної консистенції і якості необхідно правильно підібрати рецептурний склад та технологічне обладнання для гомогенізації. Враховуючи всі технологічні особливості доцільним є вирішення питання впливу ультразвукового впливу на якість та строки зберігання готового продукту.

Метою роботи є вивчення впливу ультразвукових гомогенізаторів на якість та безпечність майонезів різної жирності.

Ультразвукова обробка – це екологічна технологія та одна з нових методик збереження харчових продуктів. Механізм антимікробної функції полягає в розрідженні клітинних мембран і руйнуванні клітинних стінок мікробів, локальному нагріванні та виробленні вільних радикалів.

Найбільш оптимальною є гомогенізація майонезної маси при частотах хвиль від 22 кГц до 40 кГц і тривалістю від 5 до 15 хв (тривалість імпульсу ввімкнення 2 с і вимкнення 2 с). Дослідні зразки майонезів були отриманні за допомогою таких параметрів: частота – 22 кГц, тривалість – 15 хв.

Дослідженням дослідних і контрольних зразків не виявлено патогенних організмів, бактерій групи кишкової палочки та пліснявих грибів впродовж всього терміну зберігання. Встановлено значне зменшення культур в зразках, що обробленні ультразвуком порівняно з контрольним зразком. Отже, ультразвукова обробка признічує розвиток мікроорганізмів, що свідчить про якість та безпечність даної продукції.

За смаковими показниками різко виражених відмінностей в досліджуваних зразках виявлено не було. Отже, можна стверджувати про перспективність і доцільність використання ультразвукових гомогенізаторів при виробництві продукції різної жирності. Відповідно, зроблено висновок, що ультразвукова обробка є безпечним методом виробництва емульсійних продуктів різної жирності не впливаючи на якість і безпечність. Також варто відзначити, що використання ультразвукових гомогенізаторів дозволяє знизити витрати на виробництво та заощадити ресурси.

Ключові слова: майонез, соус, емульсія, гомогенізатор, ультразвук, безпечність, мікроорганізми.

Dzyundzja O. V., Gorach O. O., Rezykh N. I. Research of the influence of ultrasonic equipment on the quality of mayonnaise

Mayonnaise is the most extended emulsion of the “oil in water” or “water in oil” type. This product is produced with different fat content, therefore, in order to ensure the necessary consistency of quality, it is necessary to correctly select the recipe composition and technological

equipment for homogenization. Taking into account all technological features, it is advisable to solve the issue of the influence of ultrasonic exposure on the quality and shelf life of the finished product.

The method of work is to study the influence of ultrasonic homogenizers on the quality and safety of mayonnaises of different fat content.

Ultrasonic processing is an ecological technology and one of the new methods of food preservation. The mechanism of the antimicrobial function occurs in the liquefaction of cell membranes and the destruction of the cell walls of microbes, local heating and the production of free radicals.

The most optimal is the homogenization of the mayonnaise mass at wave frequencies from 22 kHz to 40 kHz and duration from 5 to 15 min (pulse duration of 2 s and off 2 s). Test samples of mayonnaise were obtained using the following parameters: frequency – 22 kHz, duration – 15 minutes.

Examination of test and control samples did not reveal pathogenic organisms, the bacterial group of *Escherichia coli* and mold fungi during the entire storage period. A significant reduction in culture was found in the sonicated samples compared to the control sample. So, ultrasonic treatment promotes the development of microorganisms that work on the quality and safety of these products.

According to these indicators, no sharp differences were found in the studied samples. Therefore, it is possible to assert the perspective and expediency of using ultrasonic homogenizers in the production of products of different fat content. Thus, it was concluded that ultrasonic treatment is a safe method for the production of emulsion products of different fat content, without affecting quality and safety. It is also worth noting that the use of ultrasonic homogenizers allows you to reduce production costs and save resources.

Key words: mayonnaise, sauce, emulsion, homogenizer, ultrasound, safety, microorganisms.

Вступ. Харчовою промисловістю виготовляється широкий асортимент емульсійної продукції, а саме, кетчупів, майонезів, фруктових та інших соусів. Найбільш популярними є майонези, які представляють собою емульсію типу «олія у воді» або «вода у олії». Для отримання гарних технологічних характеристик і фізико-хімічних властивостей до рецептур додаються різні смако-ароматичні добавки, емульгатори, стабілізатори та згущувачі. Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, попит споживачів на здорове харчування та нові смаки змушують виробників бути в постійному пошуку інновацій. Однак важливим є вирішення питання виробництва якісної і безпечної продукції з урахуванням вимог споживачів та застосування ресурсоощадних технологій.

Постановка проблеми. Емульсія, що складається з двох або більше незмішуваних рідин, таких як олія і вода, являє собою колоїдну суспензію, в якій одна з фаз тонкодиспергована в інші фази у вигляді крапель [1]. Колоїдні суспензії широко використовуються в харчовій промисловості (наприклад, молоко, вершки, напої, заправки та майонез), а також у косметичній та фармацевтичній галузях завдяки їхнім чудовим властивостям диспергування та інкапсуляції [1–4]. Однак невідомі випадки окислення ліпідів і мікробного забруднення залишаються ключовими проблемами під час обробки, зберігання та споживання емульсійних продуктів [5]. Перекисне окислення ліпідної фази в емульсіях призводить до утворення небажаних присмаків і потенційно токсичних побічних продуктів [6]. Патогени харчового походження, такі як патогенний золотистий стафілокок і кишкова паличка, можуть легко розмножуватися в емульсійному стані; отже, вони викликають сильне псування та харчові отруєння [7]. Ці небезпеки необхідно подолати за допомогою відповідних технологій, оскільки вони знижують якість продукції та ставлять під загрозу безпеку споживачів. Враховуючи, що майонези мають різну жирність, а для забезпечення необхідної консистенції і якості необхідно правильно підібрати рецептурний склад та технологічне обладнання для гомогенізації, невирішеним є питання впливу ультразвукового впливу на якість та строки зберігання.

Мета дослідження. Метою роботи є вивчення впливу ультразвукових гомогенізаторів на якість та безпечність майонезів різної жирності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив різноманітних згущувачів та емульгаторів на реологічні характеристики емульсій типу майонез досліджувались багатьма науковцями [1–11]. Для стабілізації емульсій використовують різноманітні згущувачі, особлива увага приділяється вивченню реологічних характеристик отриманих на їх основі майонезів [6; 8; 10]. Варто відзначити, що велика увага, також, приділяється вивченню альтернативних загусників та штучних емульгаторів для виготовлення продукції з пониженим вмістом жирів [12; 13].

Відомо, що жири в емульгованому стані краще засвоюються, тому процес емульгування дозволяє отримати як певні технологічні характеристики так і фізико-хімічних властивості.

Зважаючи на попит на продукцію високої якості виробниками використовується різноманітне обладнання, як вітчизняне так і іноземне, однак найбільша увага приділяється процесу гомогенізації майонезної маси з метою отримання якісного і безпечного продукту.

В залежності від типу дії гомогенізуючого обладнання можна отримати певні види емульсій різної жирності. Так для виробництва майонезів високої жирності використовуються роторно-статорні гомогенізатори, а для низької жирності такі, що працюють на основі дії високого тиску (плунжерні, клапані) [14–16]. Використання не правильно підбраного обладнання призводить до виробництва неякісної продукції, що характеризується нерівномірним подрібненням речовин. Тому у виробників є необхідність використання декількох гомогенізуючих установок різного типу дії, що дозволяють отримати якісний продукт різної жирності. А це в свою чергу є нераціональним бо потребує додаткові витрати на обслуговування та використовуються значні виробничі площі.

Однак, варто звернути увагу на ультразвукові гомогенізатори. Це відносно нова технологія яка за рахунок використання ультразвуку дозволяє отримати емульсії з часточками до 1 мкм. Визначення якості емульсій майонезу і визначають актуальність даної роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ультразвукова обробка – це екологічна технологія та одна з нових методик збереження. Дослідженнями науковців [17] встановлено, що його дія може усувати активність мікробів, руйнувати клітини та денатурувати ферменти, зберігаючи харчову цінність і органолептичні характеристики (консистенцію, колір і смак). Відповідно, процес має наступні переваги, такі як прискорення швидкості стерилізації харчових продуктів, значна економія енергії, конкурентоспроможна вартість, екологічність, високий ступінь безпеки та більша однорідність. Механізм антимікробної функції полягає в розрідженні клітинних мембран і руйнуванні клітинних стінок мікробів, локальному нагріванні та виробленні вільних радикалів. Інактиваційний ефект ультразвуку пов'язаний з утворенням внутрішньоклітинної кавітації, і ці механічні удари можуть порушити клітинні структурні та функціональні компоненти аж до лізису клітин [18].

Кавітація стимулюється наявністю в рідині газу та носить місцевий характер, тобто поширюється по всій масі рідини, яка піддається дії ультразвукових хвиль. В майонезній масі з'являються та раптово зникають безліч новоутворених порожнин, що спричиненні створенням різниці швидкостей у рідині, що приводиться в рух поблизу цих кавітаційних порожнин. Тобто, ультразвукове поле створює хвилі, що поширюються на межі олії і води, які згодом стають нестабільними. Ці хвилі призводять до виверження масляної фази в суцільну водну фазу (у типовій

системі емульгування олія у воді), що призводить до утворення середніх і великих крапель. Крім того, ультразвукова обробка створює серію миттєвих хвиль стиснення та розширення [19].

Найбільш оптимальною є гомогенізація майонезної маси при частотах хвиль від 22 кГц до 40 кГц і тривалістю від 5 до 15 хв (тривалість імпульсу ввімкнення 2 с і вимкнення 2 с). Дослідні зразки майонезів були отриманні за допомогою таких параметрів: частота – 22 кГц, тривалість – 15 хв. Відомо, що стійкість емульсії підвищується зі збільшенням дисперсності жирової фази. Тому під час емульгування бажано одержати рівномірний розподіл часток дисперсної фази за розмірами, а самі розміри повинні бути мінімально можливими. Так, високоякісний майонез, що не розшаровується, одержують тоді, коли основна (95%) частина жирових часток має розмір не більше 8...10 мкм. Часток розміром понад 10 мкм повинне бути близько 1...2%. Для ефективного емульгування необхідна оптимальна швидкість процесу, тому що за більших швидкостей виникають занадто тонкі плівки стабілізатора, які не забезпечують достатнього захисту проти коалесценції. За умов оптимальної швидкості емульгування формуються настільки пробні захисні оболонки, що навіть під час тривалого зберігання жирова фаза практично не коалісцує. У разі швидкості емульгування менше оптимальної, стабілізатор нерівномірно розподіляється на поверхні розподілу, унаслідок чого кількість жирової фази, що знову утворилась, виявляється слабо захищеною і тому менш стійкою.

Під час отримання емульсії за допомогою ультразвуку на кінцевий ефект емульгування впливає низку чинників, у тому числі: інтенсивність і частота ультразвуку, температура компонентів, що змішуються, тривалість обробки ультразвуком, концентрація жирової фази й концентрація емульгатора і стабілізатора.

Однак, важливим, окрім механізму утворення емульсії, є визначення безпечності майонезів утворених шляхом ультразвукової гомогенізації. Нами були проведені дослідження мікробіологічних змін майонезу під час ультразвукової обробки та різного терміну зберігання. Адже відомо, що ультразвукова обробка дозволяє отримати майонезну продукцію з різною концентрацією жиру і даний спосіб є універсальним, бо гомогенізатори даного типу дозволяють отримувати продукцію різної жирності. Було проведено дослідження зразків майонезу з високим і низьким вмістом жирів. Таким чином, було визначено вплив обробки ультразвуком порівняно зі звичайними консервантами на виживання мікроорганізмів під час зберігання при +4°C. Механізм кавітаційної ерозії майонезу було досліджено за допомогою спостереження через різні проміжки часу.

Після гомогенізації готовий продукт йде на фасування, тому важливим є визначення впливу обробки ультразвуку на виживання патогенних мікроорганізмів. Досліджуванні зразки майонезів мали кисле середовище з рН-4,6. Впродовж всього періоду вивчення бактерії *Escherichia Coli* та гетероферментативні молочнокислі бактерії виявлені не були. Відповідно до стандарту ДСТУ 4487:2005 «Майонези. Загальні технічні умови» в готовому продукті не допускається наявність бактерій групи кишкових паличок (коліформи) та патогенних мікроорганізмів (в тому числі *Salmonella*). Дослідження зразків вказали на відсутність даних культур у майонезах впродовж всього терміну зберігання.

Плісняві гриби, рідко зустрічаються в харчових продуктах, що містять оцтову кислоту. Оцет є обов'язковим інгредієнтом для майонезних емульсій, його наявність пригнічує розвиток плісняви, а герметичне вакуумне пакування обмежує доступ повітря до продукту, тому розвиток цвілі обмежений. Дослідженням

дослідних і контрольного зразків не виявлено пліснявих грибів впродовж всього терміну зберігання.

Отже, встановлено, що всі зразки досліджуваних майонезів, гомогенізація яких була здійснена гомогенізаторами різної дії не мали патогенних організмів, бактерій групи кишкової палички та пліснявих грибів.

Однак, продукт не є стерильним, були виявленні дозволені мікроорганізми (рисунок 1).

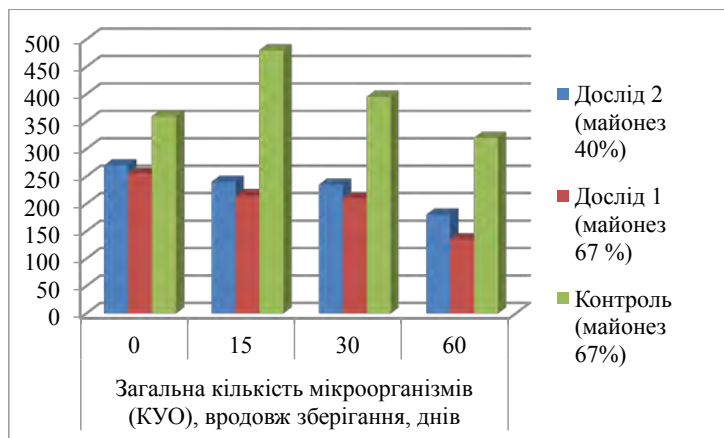


Рис. 1. Загальна кількість мікроорганізмів (КЮО) впродовж всього терміну зберігання

Відповідно до стандарту, загальна кількість мікроорганізмів знаходиться в допустимих значеннях. За даними наведеними на Рис. 1 прослідковується значне зменшення культур в зразках, що обробленні ультразвуком порівняно з контрольним зразком. Відповідно, можна констатувати, що ультразвукова обробка пригнічує розвиток мікроорганізмів, що свідчить про якість та безпечність даної продукції.

Отже дія ультразвуку руйнує мікроорганізми, даний процес пояснюється акустичною кавітацією та її фізичними, механічними та хімічними ефектами, які інактивують бактерії та деагломерують скупчення бактерій.

За смаковими показниками різко виражених відмінностей в досліджуваних зразках виявлено не було. Отже, можна стверджувати про перспективність і доцільність використання ультразвукових гомогенізаторів при виробництві продукції різної жирності.

Висновки і пропозиції. В результаті проведеного дослідження встановлено, що попередня обробка ультразвуком при 22 кГц значно зменшила ріст мікроорганізмів у досліджуваних зразках майонезів. Відповідно, зроблено висновок, що ультразвукова обробка є безпечним методом виробництва емульсійних продуктів різної жирності не впливаючи на якість і безпечність. Також варто відзначити, що використання ультразвукових гомогенізаторів дозволяє знизити витрати на виробництво та заощадити ресурси. Перспективою подальших досліджень є розширення асортименту майонезів підвищеної біологічної цінності з використанням нетрадиційної сировини та дослідження впливу ультразвуку на збереженість нутрієнтного складу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Mohammed N.K., Ragavan H., Ahmad N.H., Hussin A.S.M. Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and Raw Materials*. 2022, Vol. 10 (1). p. 76–85. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-76-85>
2. Miguel GA, Jacobsen C, Prieto C, Kempen PJ, Lagaron JM, Chronakis IS, *et al.* Oxidative stability and physical properties of mayonnaise fortified with zein electro-sprayed capsules loaded with fish oil. *Journal of Food Engineering*. 2019, Vol. 263, p. 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.019>
3. Taslikh M, Mollakhalili-Meybodi N, Alizadeh AM, Mousavi M-M, Nayeبزadeh K, Mortazavian AM. Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology*. 2021, Vol. 59(6). p. 2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1>
4. Armaforte E, Hopper L, Stevenson G. 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. p. 110341 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341>
5. Sakai S, Ikeda N. A numerical analysis to evaluate the emulsifying activity of pasteurized egg yolk. *Food Hydrocolloids*. 2022, Vol. 123. p. 107087. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107087>
6. Chen J, Cao C, Yuan D, Xia X, Liu Q, Kong B. Impact of different ionic strengths on protein-lipid co-oxidation in whey protein isolate-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*. 2022, Vol. 385. p. 132700. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132700>
7. Jalali-Jivan M, Abbasi S. Novel approach for lutein extraction: Food grade microemulsion containing soy lecithin and sunflower oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020, Vol. 66. p. 102505. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102505>
8. Patil U, Benjakul S. Physical and textural properties of mayonnaise prepared using virgin coconut oil/fish oil blend. *Food Biophysics*. 2019. Vol. 14(3), p. 260–268. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09579-x>
9. Primacella M, Wang T, Acevedo NC. Characterization of mayonnaise properties prepared using frozen-thawed egg yolk treated with hydrolyzed egg yolk proteins as anti-gelator. *Food Hydrocolloids*. 2019, Vol. 96, p. 529–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.008>
10. Park J-Y, Choi M-J, Yu H, Choi Y, Park K-M, Chang P-S. Multi-functional behavior of food emulsifier erythorbyl laurate in different colloidal conditions of homogeneous oil-in-water emulsion system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022, p. 636. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128127>
11. Alvarez-Sabatel S, Martínez de Marañón I, Arbolea J-C. Impact of oil and inulin content on the stability and rheological properties of mayonnaise-like emulsions processed by rotor-stator homogenization or high pressure homogenization (HPH). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018. Vol. 48, p. 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.014>
12. Campbell, B.. Current emulsifier trends in dressings and sauces. *Food Emulsifiers and Their Applications*, 2019. p. 285-298. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7_9
13. Jain, A., Khan, H. W., Jain, P.. Application of biosurfactant as versatile additives or ingredients of food processing. In *Applications of Next Generation Biosurfactants in the Food Sector*. 2023. pp. 111–135
14. Bai C, Dallasega P, Orzes G, Sarkis J. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 2020. Vol. 229. p. 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
15. Kazemi Z, Safavi AA, Pouresmaeli S, Naseri F. A practical framework for implementing multivariate monitoring techniques into distributed control system. *Control Engineering Practice*, 2019, Vol. 82 p. 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.coneng-prac.2018.10.003>

16. Паска, М. З., Жук, О. І. Використання інноваційного обладнання Fryma Корума МаххD, у виробництві майонезу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2015, Vol. 2 (10 (74)), p. 58–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.41578>

17. Wang, J., Vanga, S. K., Raghavan, V. High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. *Food Chemistry*, 2020. Vol. 313, p. 126121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126121>

18. Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., Abert-Vian, M. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2017. Vol. 41, p. 357–377. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.04.016>

19. Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An, K., Hu, J. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*, 2020. Vol. 303. p. 125386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386>

REFERENCES:

1. Mohammed N.K, Ragavan H., Ahmad N.H., Hussin A.S.M. (2022) Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and Raw Materials.*, 10 (1). 76–85. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-76-85> [in Irak]

2. Miguel GA, Jacobsen C, Prieto C, Kempen PJ, Lagaron JM, Chronakis IS, et al. (2019) Oxidative stability and physical properties of mayonnaise fortified with zein electrosprayed capsules loaded with fish oil. *Journal of Food Engineering.* 263, 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.019> [in Spain]

3. Taslikh M, Mollakhalili-Meybodi N, Alizadeh AM, Mousavi M-M, Nayebzadeh K, Mortazavian AM. (2021) Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology.* 59(6). 2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1> [in Iran]

4. Armaforte E, Hopper L, Stevenson G. (2021) 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.* 136. 110341 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341> [in UK]

5. Sakai S, Ikeda N. (2022) A numerical analysis to evaluate the emulsifying activity of pasteurized egg yolk. *Food Hydrocolloids.* 123. 107087. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107087> [in Japon]

6. Chen J, Cao C, Yuan D, Xia X, Liu Q, Kong B. (2022) Impact of different ionic strengths on protein-lipid co-oxidation in whey protein isolate-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry.* 385. 132700. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132700> [in China]

7. Jalali-Jivan M, Abbasi S. (2020) Novel approach for lutein extraction: Food grade microemulsion containing soy lecithin and sunflower oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 66. 102505. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102505> [in Iran]

8. Patil U, Benjakul S. (2019) Physical and textural properties of mayonnaise prepared using virgin coconut oil/fish oil blend. *Food Biophysics.* 14(3), 260–268. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09579-x> [in Thailand]

9. Primacella M, Wang T, Acevedo NC. (2019) Characterization of mayonnaise properties prepared using frozen-thawed egg yolk treated with hydrolyzed egg yolk proteins as anti-gelator. *Food Hydrocolloids.* 96, 529–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.008> [in USA]

10. Park J-Y, Choi M-J, Yu H, Choi Y, Park K-M, Chang P-S. (2022) Multi-functional behavior of food emulsifier erythorbyl laurate in different colloidal conditions of homogeneous oil-in-water emulsion system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical*

and Engineering Aspects. 636. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128127> [in Republic of Korea]

11. Alvarez-Sabatel S, Martínez de Marañón I, Arboleya J-C.(2018) Impact of oil and inulin content on the stability and rheological properties of mayonnaise-like emulsions processed by rotor-stator homogenization or high pressure homogenization (HPH). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 48, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.014> [in Spain]

12. Campbell, B. (2019). Current emulsifier trends in dressings and sauces. *Food Emulsifiers and Their Applications*, 285–298. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7_9 [in USA]

13. Jain, A., Khan, H. W., Jain, P. (2023). Application of biosurfactant as versatile additives or ingredients of food processing. In *Applications of Next Generation Biosurfactants in the Food Sector*. pp. 111–135 [in India]

14. Bai C, Dallasega P, Orzes G, Sarkis J. (2020) Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*,. 229.107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776> [in China]

15. Kazemi Z, Safavi AA, Pouresmaeli S, Naseri F. (2019) A practical framework for implementing multivariate monitoring techniques into distributed control system. *Control Engineering Practice*, 82 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.coneng-prac.2018.10.003> [in Iran]

16. Paska, M. Z., Zhuk, O. I. (2015) Vykorystannya innovatsiynoho obladnannya Fryma Koruma MaxxD, u vyrobnytstvi mayonezu. [Use of Fryma Koruma MaxxD innovative equipment in the production of mayonnaise]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy*, 2(10 (74)), 58–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.41578> [in Ukrainian].

17. Wang, J., Vanga, S. K., Raghavan, V. (2020). High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. *Food Chemistry*, 313, 126121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126121> [in China]

18. Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 357–377. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2017.04.016> [in France]

19. Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An, K., Hu, J. (2020). Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*, 303, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386> [in China]