

ABSTRACT AND REFERENCES

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337272

DEVELOPMENT OF BIOTECHNOLOGICALLY MODIFIED FAT COMPOSITIONS ENRICHED WITH OMEGA-3 FATTY ACIDS USING A TWO-STAGE TRANSESTERIFICATION METHOD (p. 6–13)**Serhii Stankevych**State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8300-2591>**Viktoriia Kalyna**Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3061-3313>**Iryna Mezentseva**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7695-7982>**Oleg Kolontaievskiy**O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2210-739X>**Maryna Ponomarova**State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8463-821X>**Anna Belinska**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
Ukrainian Research Institute of Oils and Fats of the National
academy of agrarian sciences of Ukraine, Kharkov, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5795-2799>**Yana Svishchova**State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5358-8624>**Viktoriia Novikova**State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0403-3590>**Yevhen Barkar**Mykolaiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0692-5392>**Yana Honcharenko**National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy,
Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1766-3244>

The object of the study is a two-stage combined transesterification of a fat composition to enrich the latter with ω -3 polyunsaturated fatty acids (PUFA). The problem was the need to create a stable fat system enriched with ω -3 PUFA, which is minimally oxidized during the production process. The rational parameters of the enzymatic stage of transesterification of fat substrates were substantiated (process temperature 65°C, fat substrate composition: refined deodorized soybean oil: intermediate fat system PMS-MF). The proposed conditions ensure the degree of transesterification of the fat composition at the level of 74.2% with the formation of 0.6% free fatty acids. The oxidative stability of the resulting product is maximum at 4°C, when in 30 days the peroxide value increases to 15.3 mmol $\frac{1}{2}$ O₂/kg with losses of ω -3 PUFA of 5.1%. The results of the research are explained by the combination of two stages of transesterification: chemical

modification of the fat matrix (product – PMS-MF) and enzymatic using Lipozyme TL IM, which minimizes hydrolytic and oxidative processes of labile components. The key distinguishing feature of the research is the combination of a high degree of enzymatic transesterification (74.2%) with a low level of by-products (0.6% free fatty acids). This was achieved due to the rational ratio of substrates and the temperature of enzymatic transesterification, at which ω -3 PUFA are introduced into the fat system. The obtained results open up prospects for the industrial production of health-promoting fat products with an increased content of ω -3 PUFA and specialized food systems. The technology is effective for fat raw materials with a content of ω -3 PUFA of 7±1% and a peroxide value of less than 1 mmol $\frac{1}{2}$ O₂/kg.

Keywords: two-step transesterification, ω -3 polyunsaturated fatty acids, Lipozyme TL IM, oxidative stability, fat compositions.

References

1. Norazlina, M. R., Jahurul, M. H. A., Hasmadi, M., Mansoor, A. H., Norliza, J., Patricia, M. et al. (2021). Trends in blending vegetable fats and oils for cocoa butter alternative application: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.016>
2. Belinska, A., Bliznjuk, O., Masalitina, N., Bielykh, I., Zviahintseva, O., Gontar, T. et al. (2023). Development of biotechnologically transesterified three-component fat systems stable to oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (125)), 21–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287326>
3. Belinska, A., Ryshchenko, I., Bliznjuk, O., Masalitina, N., Chuiko, M., Svishchova, Y. et al. (2025). Development of approaches for the bio-conversion of dietary fibers in flax meal using cellulolytic enzymes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (134)), 89–95. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.325418>
4. Belinska, A., Ryshchenko, I., Bliznjuk, O., Masalitina, N., Siedyk, K., Zolotarova, S. et al. (2024). Development of a method for inactivating lipooxygenases in linseed using chemical reagents. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (130)), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309079>
5. Sivakanthan, S., Madhujith, T. (2020). Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. *LWT*, 132, 109880. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109880>
6. Lai, O. M., Ghazali, H. M., Cho, F., Chong, C. L. (2000). Enzymatic transesterification of palm stearin: anhydrous milk fat mixtures using 1,3-specific and non-specific lipases. *Food Chemistry*, 70 (2), 221–225. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00085-6)
7. Belinska, A., Bliznjuk, O., Shcherbak, O., Masalitina, N., Myronenko, L., Varankina, O. et al. (2022). Improvement of fatty systems biotechnological interesterification with immobilized enzyme preparation usage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268373>
8. Nurhasanah, S., Munarso, S. J. (2024). Structured Lipids Based on Palm Oil. *Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery*, 193–206. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_9
9. Şahin-Yeşilçubuk, N., Akoh, C. C. (2017). Biotechnological and Novel Approaches for Designing Structured Lipids Intended for Infant Nutrition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94 (8), 1005–1034. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-3013-z>
10. Khasgiwale, V. N., Waghmare, J. T., Gogate, P. R. (2025). Ultrasound-Assisted Synthesis of OPO-Based Structured Lipids Using Two-Step Chemoenzymatic Esterification for Human Milk Fat Substitution. *Food and Bioprocess Technology*, 18 (8), 7229–7253. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03860-3>

11. Alves, V., Furtado, G. de F., Alves Macedo, G. (2024). Chemical and Enzymatic Interesterification for Food Lipid Production: An Introduction. *Chemical and Enzymatic Interesterification for Food Lipid Production*, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67405-1_1
12. Agapay, R. C., Ju, Y.-H., Tran-Nguyen, P. L., Angkawijaya, A. E., Santoso, S. P., Go, A. W. (2020). Synthesizing Precursors for Functional Food Structured Lipids from Soybean Oil Deodorized Distillates. *Waste and Biomass Valorization*, 12 (7), 3899–3911. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01284-y>
13. Puranik, S. S. (2025). Emulsions of Omega-3 Fatty Acids for Better Bioavailability and Beneficial Health Effects. *Omega-3 Fatty Acids*, 225–236. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84200-9_21
14. Fuster, M. G., Moulefera, I., Montalbán, M. G., Villora, G. (2024). Biocatalytic transesterification of salmon oil in ionic liquid media to obtain concentrates of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *European Food Research and Technology*, 250 (6), 1707–1719. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04484-1>
15. Zhang, Z., Liu, F., Ma, X., Huang, H., Wang, Y. (2017). Two-Stage Enzymatic Preparation of Eicosapentaenoic Acid (EPA) And Docosahexaenoic Acid (DHA) Enriched Fish Oil Triacylglycerols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (1), 218–227. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04101>
16. de Carvalho Silva, A. K., Lima, F. J. L., Borges, K. R. A., Wolff, L. A. S., de Andrade, M. S., Alves, R. de N. S. et al. (2024). Utilization of *Fusarium Solani* lipase for enrichment of polyunsaturated Omega-3 fatty acids. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55 (3), 2211–2226. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01411-0>
17. Petik, P., Stankevych, S., Zabrodina, I., Zhulinska, O., Mezentsseva, I., Haliasnyi, I. et al. (2023). Determination of fat-soluble dyes influence on the oxidation induction period of their oil solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (123)), 13–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279619>
18. Langseter, A. M., Dzurendova, S., Shapaval, V., Kohler, A., Ekeberg, D., Zimmermann, B. (2021). Evaluation and optimisation of direct transesterification methods for the assessment of lipid accumulation in oleaginous filamentous fungi. *Microbial Cell Factories*, 20 (1). <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01542-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333086

THE EFFECTIVE PROCESS OF WASTE COOKING OIL BIODIESEL PRODUCTION BY INTERESTERIFICATION WITH REACTION USING CURCUMIN BIOCATALYST (p. 14–22)

Elvianto Dwi Daryono

National Institute of Technology Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1633-5599>

I Komang Astana Widi

National Institute of Technology Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5649-2866>

Yudi Purnomo

University of Islam Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2435-4976>

Biodiesel is a renewable energy source that can replace fossil fuels. Used cooking oil is the most relevant biodiesel feedstock because it is a waste product. The interesterification process for biodiesel production uses a catalyst that requires separation at the end of the reaction, making it less effective. A more effective and economical biodiesel production process using waste raw materials, without the separation of by-products and catalysts, is needed to overcome this problem. Organic aromatic compound biocatalysts are environmentally friendly and relatively inexpensive. Compound biocatalysts eliminate the need for a separation process and any residue left in

the biodiesel can be beneficial, as these substances act as antioxidants preventing an increase in oxidation number. In this context, curcumin is an organic aromatic compound with two aromatic groups. Therefore, this research obtains rational conditions for the interesterification reaction of waste cooking oil with curcumin biocatalyst. The operating conditions included 250 grams of waste cooking oil, the mass of curcumin biocatalyst was 0.5, 1, 1.5, 2, and 2.5%, 300 rpm stirring speed, mole ratio of methyl acetate oil was 1:6 and 1:12, reaction temperature 60°C as well as reaction time of 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 105 minutes. The results show that the highest crude yield was obtained at 91.74% in the interesterification reaction of waste cooking oil with a curcumin biocatalyst concentration of 2.5% at a reaction time of 105 minutes and the mole ratio of oil:methyl acetate = 1:6. A density value of 0.884 g/ml and an acid number of 0.224 mg KOH/g were obtained which met SNI 7182-2015 under these conditions. In addition, the outcome of the GC-MS analysis shows that the dominant methyl ester component formed was hexadecanoic acid, 1-methylethyl ester.

Keywords: interesterification, biodiesel, curcumin biocatalyst, crude yield, methyl ester.

References

1. Daryono, E. D., Sinaga, E. J. (2017). Rapid in situ transesterification of papaya seeds to biodiesel with the aid of co-solvent. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7 (1). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i1.5275.g6998>
2. Calero, J., Luna, D., Sancho, E. D., Luna, C., Bautista, F. M., Romero, A. A. et al. (2015). An overview on glycerol-free processes for the production of renewable liquid biofuels, applicable in diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1437–1452. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.007>
3. Chuepeng, S., Komintarachat, C. (2018). Interesterification optimization of waste cooking oil and ethyl acetate over homogeneous catalyst for biofuel production with engine validation. *Applied Energy*, 232, 728–739. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.085>
4. Daryono, E. D., Wardana, I. N. G., Cahyani, C., Hamidi, N. (2021). Biodiesel production process without glycerol by-product with base catalyst: effect of reaction time and type of catalyst on kinetic engineering and solubility. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053 (1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012058>
5. Lopes, T. I. B., Ribeiro, M. D. M. M., Ming, C. C., Grimaldi, R., Gonçalves, L. A. G., Marsaioli, A. J. (2016). Comparison of the regiospecific distribution from triacylglycerols after chemical and enzymatic interesterification of high oleic sunflower oil and fully hydrogenated high oleic sunflower oil blend by carbon-13 nuclear magnetic resonance. *Food Chemistry*, 212, 641–647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.024>
6. Interrante, L., Bensaid, S., Galletti, C., Pirone, R., Schiavo, B., Scialdone, O., Galia, A. (2018). Interesterification of rapeseed oil catalysed by a low surface area tin (II) oxide heterogeneous catalyst. *Fuel Processing Technology*, 177, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.05.017>
7. Simões, S. S., Ribeiro, J. S., Celante, D., Brondani, L. N., Castilhos, F. (2020). Heterogeneous catalyst screening for fatty acid methyl esters production through interesterification reaction. *Renewable Energy*, 146, 719–726. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.023>
8. Nunes, A. L. B., Castilhos, F. (2020). Chemical interesterification of soybean oil and methyl acetate to FAME using CaO as catalyst. *Fuel*, 267, 117264. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117264>
9. Tian, Y., Xiang, J., Verni, C. C., Soh, L. (2018). Fatty acid methyl ester production via ferric sulfate catalyzed interesterification. *Biomass and Bioenergy*, 115, 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.013>
10. Daryono, E. D., Wardana, I. N. G., Cahyani, C., Hamidi, N. (2022). Interesterification Process of Palm Oil Using Base Catalyst: The Effect

- of Stirring Speed and Type of Catalyst on Kinetic Energy and Dipole Moment. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12 (4), 1580. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.4.12500>
11. Daryono, E. D. (2015). Reactive extraction process in isolation of eugenol of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) based on temperature and time process. *International Journal of ChemTech Research*, 8 (11), 564–569.
 12. Daryono, E. D., Dewi, R. K. (2022). Biodiesel from palm oil with interesterification process using bio-catalyst cajuput oil. *Konversi*, 11 (2). <https://doi.org/10.20527/k.v11i2.13982>
 13. Purnami, P., Wardana, I. N. G., Hamidi, N., Sasongko, M. N., Darmadi, D. (2019). The Effect of Rhodium (III) Sulfate and Clove Oil Catalysts on The Droplet Combustion Characteristics of Castor Oil. *International Journal of Integrated Engineering*, 11 (5), 66–71. <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.05.009>
 14. Purnami, Hamidi, N., Sasongko, M. N., Widhiyanuriyawan, D., Wardana, I. N. G. (2020). Strengthening external magnetic fields with activated carbon graphene for increasing hydrogen production in water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (38), 19370–19380. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.148>
 15. Suprianto, T., Winarto, Wijayanti, W., Wardana, I. N. G. (2021). Synergistic effect of curcumin and activated carbon catalyst enhancing hydrogen production from biomass pyrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (10), 7147–7164. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.211>
 16. Willy Satrio, N., Winarto, Sugiono, Wardana, I. N. G. (2020). Hydrogen production from instant noodle wastewater by organic electrocatalyst coated on PVC surface. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (23), 12859–12873. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.002>
 17. Ali, R. M., Elkatory, M. R., Hamad, H. A. (2020). Highly active and stable magnetically recyclable CuFe₂O₄ as a heterogenous catalyst for efficient conversion of waste frying oil to biodiesel. *Fuel*, 268, 117297. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117297>
 18. Xie, W., Wang, H. (2020). Immobilized polymeric sulfonated ionic liquid on core-shell structured Fe₃O₄/SiO₂ composites: A magnetically recyclable catalyst for simultaneous transesterification and esterifications of low-cost oils to biodiesel. *Renewable Energy*, 145, 1709–1719. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.092>
 19. Han, Y.-Z., Hong, L., Wang, X.-Q., Liu, J.-Z., Jiao, J., Luo, M., Fu, Y. J. (2016). Biodiesel production from Pistacia chinensis seed oil via transesterification using recyclable magnetic cellulose-based catalyst. *Industrial Crops and Products*, 89, 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.015>
 20. Silveira Junior, E. G., Justo, O. R., Perez, V. H., Reyero, I., Serrano-Lotina, A., Campos Ramirez, L., dos Santos Dias, D. F. (2018). Extruded Catalysts with Magnetic Properties for Biodiesel Production. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018 (1). <https://doi.org/10.1155/2018/3980967>
 21. Marlina, E., Basjir, M., Ichianagi, M., Suzuki, T., Gotama, G. J., Anggono, W. (2020). The Role of Eucalyptus Oil in Crude Palm Oil As Biodiesel Fuel. *Automotive Experiences*, 3 (1), 33–38. <https://doi.org/10.31603/ae.v3i1.3257>
 22. Wardoyo, Widodo, A. S., Wijayanti, W., Wardana, I. N. G. (2021). The Role of Areca catechu Extract on Decreasing Viscosity of Vegetable Oils. *The Scientific World Journal*, 2021, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/8827427>
 23. Soebiyakto, G., Wardana, I. N. G., Hamidi, N., Yuliati, L. (2020). Addition of bio-additive as a catalyst of burning vegetable oil influenced by 4 pole magnetic field. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (104)), 46–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198308>
 24. Daryono, E. D., Jimmy, J., Setyawati, H. (2024). Production of Biodiesel Without Catalyst Separation with Palm Oil Interesteri-

fication Process Using Essential Oil Biocatalyst. *Chemistry & Chemical Technology*, 18 (3), 356–362. <https://doi.org/10.23939/chch18.03.356>

25. Pullen, J., Saeed, K. (2015). Investigation of the factors affecting the progress of base-catalyzed transesterification of rapeseed oil to biodiesel FAME. *Fuel Processing Technology*, 130, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.013>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337901

DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF USING A COMPOSITION OF BIOSURFACTANTS IN TECHNOLOGIES FOR ANTIMICROBIAL TREATMENT OF FLEECE MATERIALS FOR MILITARY AND CIVIL PURPOSES (p. 23–34)

Olga Paraska

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3803-0382>

Vita Nehorui

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9262-8689>

Andriy Gorban

University Petro Mohyla Black Sea National University,
Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3023-3505>

Tomasz Buratowski

AGH University of Science and Technology in Krakow,
Krakow, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2204-195X>

This study's object is the processes of antimicrobial treatment of fleece materials for military-civilian purposes. The issue addressed is the high vulnerability of fleece materials to bacterial and fungal contamination in intensive use. This reduces their hygienic characteristics, durability, and safety.

The effectiveness of using the composition of biological surface-active substances (biosurfactants) with a concentration of 2.5 g/l has been carried out for the technologies of antimicrobial treatment of fleece materials for military-civilian purposes. The effect of biosurfactant composition on the preservation of antimicrobial activity against a wide range of microorganisms (*Acinetobacter* spp., *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus* spp., *Staphylococcus epidermidis*, *Proteus vulgaris*, *Aspergillus*) was studied.

The results indicate a decrease in the bacterial load to the level of 10¹–10² CFU/ml and a significant reduction or complete elimination of fungal contamination (up to 10³ CFU/ml). The findings are attributed to the ability of biosurfactant to destroy cellular membranes of microorganisms, which provides increased biocidal resistance of the material.

A feature of the results is the achievement of a pronounced antimicrobial effect while maintaining the physical and mechanical properties of the fabric. After treatment, a slight increase in bending stiffness (10–20%) was observed, the wrinkle resistance coefficient was 44–72%. This ensures the proper level of comfort and functionality of the products.

The practical significance relates to the possibility of implementing the designed technological solutions in the production of military and civilian clothing, which is operated under conditions of increased requirements for hygiene, thermal insulation, and durability, enabling consumer protection from microbial contamination.

Keywords: biosurfactant, fleece products, antimicrobial treatment technologies, military clothing, antimicrobial finishing.

References

- Bibi, A., Afza, G., Afzal, Z., Farid, M., Sumrra, S. H., Hanif, M. A., Kolita Kama Jinadasa, B. K., Zubair, M. (2024). Synthetic vs. natural antimicrobial agents for safer textiles: a comparative review. *RSC Advances*, 14 (42), 30688–30706. <https://doi.org/10.1039/d4ra04519j>
- Sathianarayanan, M. P., Bhat, N. V., Kokate, S. S., Walunj, V. E. (2010). Antibacterial finish for cotton fabric from herbal products. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 35 (1), 50–58. Available at: [https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/7662/3/IJFTR%2035\(1\)%2050-58.pdf](https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/7662/3/IJFTR%2035(1)%2050-58.pdf)
- Paraska, O., Synyuk, O., Radek, N., Zolotenko, E., Mykhaylovskiy, Y. (2023). Usage of biosurfactants as environmental friendly detergents for textile products cleaning. *Fibres and Textiles*, 30 (5), 42–51. <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-5-005>
- Perelshtein, I., Applerot, G., Perkash, N., Wehrschetz-Sigl, E., Hasmann, A., Guebitz, G. M., Gedanken, A. (2008). Antibacterial Properties of an In Situ Generated and Simultaneously Deposited Nanocrystalline ZnO on Fabrics. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 1 (2), 361–366. <https://doi.org/10.1021/am8000743>
- Wang, L., Hu, C., Shao, L. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 1227–1249. <https://doi.org/10.2147/ijn.s121956>
- Puyol McKenna, P., Naughton, P. J., Dooley, J. S. G., Ternan, N. G., Lemoine, P., Banat, I. M. (2024). Microbial Biosurfactants: Antimicrobial Activity and Potential Biomedical and Therapeutic Exploits. *Pharmaceuticals*, 17 (1), 138. <https://doi.org/10.3390/ph17010138>
- Hossain, M. M., Islam, T., Jalil, M. A., Rakibuzzaman, S. M., Surrid, S. M., Zayed, M. R. I. et al. (2024). Advancements of eco-friendly natural antimicrobial agents and their transformative role in sustainable textiles. *SPE Polymers*, 5 (3), 241–276. Portico. <https://doi.org/10.1002/pls2.10135>
- Materials Market Report 2024 (2024). Textile Exchange. Available at: <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/materials-market-report-2024/> Last accessed: 24.06.2025
- Flis. Tekstyl-Kontakt. Available at: <https://tk.ua/ua/catalog/vse-tkani/flis.html?srsId=AfmBOor9EjKcvjQ3iMTs9GSucg-TIFAE5Pd2qrG6-imWOUjuc0JTt8rw> Last accessed: 24.06.2025
- TK-Style – shveina fabryka. Tekstyl-Kontakt. Available at: <https://tk-company.com.ua/uk/tk-style/> Last accessed: 24.06.2025
- Kamuflovani kostiumy z flisu. Camotec.ua. Available at: <https://camotec.ua/kostyumi-c118/> Last accessed: 24.06.2025
- Tkanyina flis optom. Grandtextile. Available at: <https://grandtextile.com.ua/ua/opt/flis/> Last accessed: 24.06.2025
- Flisovi tkanyiny. Van Tex. Available at: <https://vantex.com.ua/ua/g107870695-flis/> Last accessed: 24.06.2025
- Granados, A., Pleixats, R., Vallribera, A. (2021). Recent Advances on Antimicrobial and Anti-Inflammatory Cotton Fabrics Containing Nanostructures. *Molecules*, 26 (10), 3008. <https://doi.org/10.3390/molecules26103008>
- Ali, M. A.-S., Abdel-Rahim, E. A.-M., Mahmoud, A. A.-A., Mohamed, S. E. (2024). Innovative textiles treated with TiO₂-AgNPs with succinic acid as a cross-linking agent for medical uses. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56653-7>
- Schneider, G., Vieira, L. G., Carvalho, H. E. F. de, Sousa, Á. F. L. de, Watanabe, E., Andrade, D. de, Silveira, R. C. de C. P. (2023). Textiles impregnated with antimicrobial substances in healthcare services: systematic review. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1130829>
- Paraska, O. A., Rak, T. S., Karvan, S. A. (2019). Pat. No. 133668 UA. Kompozitsiia ekolohichno bezpechnykh poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn dlia akvachyshchennia tekstylnykh vyrobiv. MPK D06M 11/00. No. a201811227; declared: 15.11.2018; published: 25.04.2019, Bul. No. 8, 4.
- Ashar, A., Bhutta, Z. A., Shoaib, M., Alharbi, N. K., Fakhar-e-Alam, M., Atif, M. et al. (2023). Cotton fabric loaded with ZnO nanoflowers as a photocatalytic reactor with promising antibacterial activity against pathogenic E. coli. *Arabian Journal of Chemistry*, 16 (9), 105084. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105084>
- Morais, D., Guedes, R., Lopes, M. (2016). Antimicrobial Approaches for Textiles: From Research to Market. *Materials*, 9 (6), 498. <https://doi.org/10.3390/ma9060498>
- Giedraitienė, A., Ružauskas, M., Šiugždinienė, R., Tučkutė, S., Grigonis, K., & Milčius, D. (2024). ZnO Nanoparticles Enhance the Antimicrobial Properties of Two-Sided-Coated Cotton Textile. *Nanomaterials*, 14 (15), 1264. <https://doi.org/10.3390/nano14151264>
- Falk, N. A. (2019). Surfactants as Antimicrobials: A Brief Overview of Microbial Interfacial Chemistry and Surfactant Antimicrobial Activity. *Journal of Surfactants and Detergents*, 22 (5), 1119–1127. <https://doi.org/10.1002/jsde.12293>
- Zhou, C., Wang, Y. (2020). Structure–activity relationship of cationic surfactants as antimicrobial agents. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 45, 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2019.11.009>
- Lourenço, M., Duarte, N., Ribeiro, I. A. C. (2024). Exploring Biosurfactants as Antimicrobial Approaches. *Pharmaceuticals*, 17 (9), 1239. <https://doi.org/10.3390/ph17091239>
- Antonoli Junior, R., Poloni, J. de F., Pinto, É. S. M., Dorn, M. (2022). Interdisciplinary Overview of Lipopeptide and Protein-Containing Biosurfactants. *Genes*, 14 (1), 76. <https://doi.org/10.3390/genes14010076>
- Naebe, M., Haque, A. N. M. A., Haji, A. (2022). Plasma-Assisted Antimicrobial Finishing of Textiles: A Review. *Engineering*, 12, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.01.011>
- Espanhol-Soares, M., Costa, L., Silva, M. R. A., Soares Silva, F., Ribeiro, L. M. S., Gimenes, R. (2020). Super-hydrophobic coatings on cotton fabrics using sol-gel technique by spray. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 95 (1), 22–33. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05307-x>
- Orasugh, J. T., Temane, L. T., Kesavan Pillai, S., Ray, S. S. (2025). Advancements in Antimicrobial Textiles: Fabrication, Mechanisms of Action, and Applications. *ACS Omega*, 10 (13), 12772–12816. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11356>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337272

РОЗРОБКА БІОТЕХНОЛОГІЧНО МОДИФІКОВАНИХ ЖИРОВИХ КОМПОЗИЦІЙ, ЗБАГАЧЕНИХ ОМЕГА-3 ЖИРНИМИ КИСЛОТАМИ, МЕТОДОМ ДВОСТАДІЙНОЇ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ (с. 6–13)**С. В. Станкевич, В. С. Калина, І. О. Мезенцева, О. П. Колонтаєвський, М. С. Пономарьова, А. П. Белінська, Я. О. Свіщова, В. Є. Новікова, Є. В. Баркар, Я. М. Гончаренко**

Об'єктом дослідження є двостадійна комбінована переетерифікація жирової композиції для збагачення останньої ω -3 поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК). Проблема полягала в необхідності створення стабільної жирової системи, збагаченої ω -3 ПНЖК, яка мінімально окислюється в процесі виробництва. Обґрунтовано раціональні параметри ферментативної стадії переетерифікації жирових субстратів (температура процесу 65°C, склад жирового субстрату: рафінована дезодорована соєва олія: проміжна жирова система). Запропоновані умови забезпечують ступінь переетерифікації жирової композиції на рівні 74,2% з утворенням 0,6% вільних жирних кислот. Окислювальна стабільність отриманого продукту максимальна при 4°C, коли через 30 днів перекисне число зростає до 15,3 ммоль $\frac{1}{2}\text{O}_2/\text{кг}$ з втратами ω -3 ПНЖК 5,1%. Результати дослідження пояснюються поєднанням двох стадій переетерифікації: хімічної модифікації жирової матриці (продукт – PMS-MF) та ферментативної з використанням Lipozyme TL IM, що мінімізує гідролітичні та окислювальні процеси лабільних компонентів. Ключовою відмінною рисою дослідження є поєднання високого ступеня ферментативної переетерифікації (74,2%) з низьким рівнем побічних продуктів (0,6% вільних жирних кислот). Цього вдалося досягти завдяки раціональному співвідношенню субстратів та температурі ферментативної переетерифікації, за якої ω -3 ПНЖК вводяться в жирову систему. Отримані результати відкривають перспективи для промислового виробництва оздоровчих жирових продуктів зі збільшеним вмістом ω -3 ПНЖК та спеціалізованих харчових систем. Технологія ефективна для жирової сировини з вмістом ω -3 ПНЖК $7\pm 1\%$ та перекисним числом менше 1 ммоль $\frac{1}{2}\text{O}_2/\text{кг}$.

Ключові слова: двостадійна переетерифікація, ω -3 поліненасичені жирні кислоти, Lipozyme TL IM, окислювальна стабільність, склад жирів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333086

ЕФЕКТИВНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЯ З ВІДХОДІВ КУЛІНАРНОЇ ОЛІЇ МЕТОДОМ ІНТЕРЕСТЕРИФІКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОКАТАЛІЗАТОРА КУРКУМІНУ (р. 14–22)**Elvianto Dwi Daryono, I Komang Astana Widi, Yudi Purnomo**

Біодизель – це відновлюване джерело енергії, яке може замінити викопне паливо. Відпрацьована кулінарна олія є найважливішою сировиною для виробництва біодизеля, оскільки вона є відходом. Процес переетерифікації для виробництва біодизеля використовує каталізатор, який потребує відділення в кінці реакції, що робить його менш ефективним. Для подолання цієї проблеми потрібен більш ефективний та економічний процес виробництва біодизеля з використанням відходів сировини, без відділення побічних продуктів та каталізаторів. Біокаталізатори на основі органічних ароматичних сполук є екологічно чистими та відносно недорогими. Складні біокаталізатори усувають необхідність процесу розділення, і будь-який залишок, що залишається в біодизелі, може бути корисним, оскільки ці речовини діють як антиоксиданти, що запобігають збільшенню ступеня окислення. У цьому контексті куркумін є органічною ароматичною сполукою з двома ароматичними групами. Таким чином, це дослідження забезпечує раціональні умови для реакції переетерифікації відпрацьованої кулінарної олії з біокаталізатором куркумін. Робочі умови включали 250 грамів відпрацьованої кулінарної олії, маса біокаталізатора куркуміну становила 0,5, 1, 1,5, 2 та 2,5%, швидкість перемішування 300 об/хв, мольне співвідношення метилацетатної олії становило 1:6 та 1:12, температуру реакції 60°C, а також час реакції 15, 30, 45, 60, 75, 90 та 105 хвилин. Результати показали, що найвищий вихід сировини – 91,74% – був отриманий у реакції переетерифікації відпрацьованої кулінарної олії з концентрацією біокаталізатора куркуміну 2,5% за часу реакції 105 хвилин та мольному співвідношенню олія:метилацетат = 1:6. Було отримано значення густини 0,884 г/мл та кислотне число 0,224 мг КОН/г, що відповідає SNI 7182-2015 за цих умов. Крім того, результати аналізу ГХ-МС показали, що домінуючим метиловим ефірним компонентом, що утворився, був 1-метилетилловий ефір гексадеканової кислоти.

Ключові слова: переетерифікація, біодизель, біокаталізатор куркумін, вихід сировини паливної сировини, метиловий естер.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337901

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЇ БІОПАР В ТЕХНОЛОГІЯХ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ ФЛІСОВИХ МАТЕРІАЛІВ ВІЙСЬКОВО-ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 23–34)**О. А. Параска, В. В. Негоруй, А. Є. Горбань, Т. Б. Буратовський**

Об'єктом дослідження є процеси антимікробної обробки флісових матеріалів військово-цивільного призначення. Проблемою, що потребувала вирішення, є висока вразливість флісових матеріалів до бактеріального й грибового забруднення в умовах інтенсивної експлуатації. Це знижує їх гігієнічні характеристики, довговічність та безпечність використання.

Проведено аналіз ефективності застосування композиції біологічних поверхнево-активних речовин (біоПАР) концентрацією 2,5 г/л у технологіях антимікробної обробки флісових матеріалів військово-цивільного призначення. Досліджено вплив композиції біоПАР на збереження антимікробної активності проти широкого спектра мікроорганізмів (*Acinetobacter* spp., *Enterococcus faecalis*,

Micrococcus spp., *Staphylococcus epidermidis*, *Proteus vulgaris*, *Aspergillus*). Отримані результати свідчать про зниження бактеріального навантаження до рівня 10^1 – 10^2 КУО/мл та істотне зменшення або повне усунення грибової контамінації (до 10^3 КУО/мл). Отримані результати пояснюються здатністю біоПАР руйнувати клітинні мембрани мікроорганізмів, що забезпечує підвищену біоцидну стійкість матеріалу. Особливістю отриманих результатів є досягнення вираженого антимікробного ефекту за умов збереження фізико-механічних властивостей тканини. Після обробки спостерігалось незначне підвищення жорсткості при згині (10–20%), коефіцієнт незминальності становив 44–72%. Це забезпечує належний рівень комфорту та функціональності виробів.

Практична цінність полягає у можливості впровадження розроблених технологічних рішень у виробництво військово-цивільного одягу, що експлуатують в умовах підвищених вимог до гігієнічності, теплоізоляції та довговічності, забезпечуючи захист споживачів від мікробної контамінації.

Ключові слова: біоПАР, флісові вироби, технології антимікробної обробки, військовий одяг, антимікробна обробка.