



Universitatea Tehnică a Moldovei

**IMPACTUL ÎNCAPSULĂRII LIPOZOMALE A
COMPUȘILOR BIOACTIVI ASUPRA CALITĂȚII
PRODUSELOR ALIMENTARE INOVATIVE**

Masterandă: Smîntîină Elena

Coordonator: Popovici Violina

dr., lect. univ.

Chișinău, 2025

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Tehnologia Alimentelor
Departamentul Alimentație și Nutriție

Admis la susținere
Șef departament: Chirsanova Aurica,
Dr.conf.univ.

„_____” _____ 2025

Impactul încapsulării lipozomale a compușilor bioactivi asupra calității produselor alimentare inovative

Teză de master

Masterandă: Smîntîină Elena, MRN-231

Coordonator: Popovici Violina, dr., lect.univ.

Chișinău, 2025

ADNOTARE

Nume autor: Smîntîna Elena

Titlul tezei: Impactul încapsulării lipozomale a compușilor bioactivi asupra calității produselor alimentare inovative

Structura lucrării: Lucrarea este compusă din trei capitole. Studiul bibliografic, prezintă o analiză a literaturii de specialitate privind încapsularea lipozomală și impactul acesteia asupra proprietăților funcționale și calității produselor alimentare destinate consumului uman. Materiale și metode, descrie materialele utilizate și metodele aplicate pentru realizarea experimentelor privind încapsularea lipozomală și evaluarea impactului acesteia asupra calității produselor alimentare destinate consumului uman. Rezultate și discuții, prezintă rezultatele obținute în urma experimentelor și analizează impactul încapsulării lipozomale asupra calității produselor alimentare, discutând implicațiile și relevanța acestora în contextul cercetărilor actuale.

Studiul se concentrează pe încapsularea extractelor de polifenoli și carotenoizi obținute din cătină, evaluând performanța acestora în cadrul unor matrici alimentare, precum biscuiții funcționali. Cercetarea a inclus formarea lipozomilor utilizând 0,5 g DPPC, 196 ml apă, 4 ml glicerină, la care s-au adăugat fie 0,2 ml extract de polifenoli, fie 0,2 ml extract de carotenoizi. Probele obținute au fost analizate pentru a determina eficiența de încapsulare (EE), stabilitatea în timp și impactul asupra proprietăților senzoriale și nutriționale ale biscuiților. Rezultatele au evidențiat o eficiență de încapsulare superioară pentru carotenoizi (92,8%) comparativ cu polifenolii (76,5%), demonstrând astfel o protecție mai eficientă a compușilor lipofili. De asemenea, biscuiții formulați cu emulsie lipozomală au prezentat o îmbunătățire semnificativă a stabilității antioxidanților și a valorii nutritive. Concluziile sugerează că tehnologia lipozomală reprezintă o soluție promițătoare pentru dezvoltarea alimentelor funcționale cu un aport crescut de compuși bioactivi, contribuind astfel la promovarea sănătății consumatorilor.

ANNOTATION

Author: Smîntîna Elena

Thesis title: Impactul încapsulării lipozomale a compușilor bioactivi asupra calității produselor alimentare inovative

Structure of the thesis: The work is composed of three chapters. The bibliographic study presents an analysis of the specialized literature on liposomal encapsulation and its impact on the functional properties and quality of food products intended for human consumption. Materials and methods, describes the materials used and the methods applied to carry out the experiments on liposomal encapsulation and the evaluation of its impact on the quality of food products intended for human consumption. Results and discussions, presents the results obtained from the experiments and analyzes the impact of liposomal encapsulation on the quality of food products, discussing their implications and relevance in the context of current research.

The study focuses on the encapsulation of polyphenol and carotenoid extracts obtained from sea buckthorn, evaluating their performance in food matrices, such as functional biscuits. The research included the formation of liposomes using 0.5 g DPPC, 196 ml water, 4 ml glycerin, to which either 0.2 ml polyphenol extract or 0.2 ml carotenoid extract was added. The obtained samples were analyzed to determine the encapsulation efficiency (EE), the stability over time and the impact on the sensory and nutritional properties of the biscuits. The results revealed a superior encapsulation efficiency for carotenoids (92.8%) compared to polyphenols (76.5%), thus demonstrating a more effective protection of lipophilic compounds. Also, biscuits formulated with liposomal emulsion showed significant improvement in antioxidant stability and nutritional value. The findings suggest that liposomal technology represents a promising solution for the development of functional foods with an increased supply of bioactive compounds, thus contributing to the promotion of consumer health.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1 Studiu Bibliografic	9
1.1 Încapsularea lipozomală.....	9
1.1.1 Tehnologia de încapsulare	10
1.1.2 Principalele efecte ale încapsulării	12
1.2 Rolul compușilor biologic activi în alimente	13
1.3 Utilizarea lipozomilor in diferite categorii de produse alimentare.....	15
1.4 Metode de încapsulare lipozomală: principii și mecanisme.....	16
1.4.1 Principii ale încapsulării lipozomale	17
1.5 Avantajele și dezavantajele încapsulării lipozomale în alimente	19
1.6 Tehnologiile lipozomale în suplimentele alimentare	21
1.7 Aplicații ale încapsulării lipozomale în industria alimentară.....	22
1.8 Exemplul unei încapsulări.....	24
2 Materiale și Metode.....	26
2.1. Selectarea compușilor biologic activi pentru încapsulare	26
2.1.1. Caracteristica materiei prime pentru încapsulare- cățina	26
2.1.2. Caracteristica materiei prime pentru încapsulare- Tescovina de struguri	28
2.2 Materiale utilizate în formarea lipozomilor.....	30
2.2.1 Aparatura utilizată.....	30
2.2.2 Pregătirea probelor de analiză	33
2.3 Metode de încapsulare a compușilor biologic activi	35
2.4 Metode de testare a stabilității microparticulelor	38
2.5 Determinarea activității antioxidante prin reacția cu radical liber DPPH	39
2.6 Analiza statistică a datelor.....	39
3 Rezultate și Discuții	40
3.1 Caracteristica extractelor de cătină și tescovina de struguri.....	40
3.1.1 Extractul de cătină.....	40
3.1.2 Extractul de tescovină de struguri	40
3.2 Prepararea lipozomilor încărcăți cu substanțe bioactive	41
3.3 Caracteristica emulsiilor lipozomale	42
3.4 Dimensiunea particulelor	45
3.4.1 Emulsia lipozomală cu carotenoide.....	45
3.4.2 Emulsia lipozomală cu polifenoli.....	46
3.5 Elaborarea biscuiților cu adaos de emulsii lipozomale	48

3.6	Evaluarea parametrilor de calitate.....	49
3.6.1	Activitatea antioxidantă a biscuiților.....	49
3.6.2	Activitatea antioxidantă in vitro a emulsiei lipozomale cu carotenoide.....	51
3.6.3	Activitatea antioxidantă in vitro a emulsiei lipozomale cu polifenoli.....	52
CONCLUZII GENERALE		55
BIBLIOGRAFIE.....		56

BIBLIOGRAFIE

1. CHAI, C.; PARK, J. Food Liposomes: Structures, Components, Preparations, and Applications. *Food Chemistry* **2024**, *432*, 137228, doi:10.1016/j.foodchem.2023.137228.
2. JARA-QUIJADA, E.; PÉREZ-WON, M.; TABILO-MUNIZAGA, G.; LEMUS-MONDACA, R.; GONZÁLEZ-CAVIERES, L.; PALMA-ACEVEDO, A.; HERRERA-LAVADOS, C. Liposomes Loaded with Green Tea Polyphenols—Optimization, Characterization, and Release Kinetics Under Conventional Heating and Pulsed Electric Fields. *Food Bioprocess Technol* **2024**, *17*, 396–408, doi:10.1007/s11947-023-03136-8.
3. LIU, P.; CHEN, G.; ZHANG, J. A Review of Liposomes as a Drug Delivery System: Current Status of Approved Products, Regulatory Environments, and Future Perspectives. *Molecules* **2022**, *27*, 1372, doi:10.3390/molecules27041372.
4. LIU, W.; HOU, Y.; JIN, Y.; WANG, Y.; XU, X.; HAN, J. Research Progress on Liposomes: Application in Food, Digestion Behavior and Absorption Mechanism. *Trends in Food Science & Technology* **2020**, *104*, 177–189, doi:10.1016/j.tifs.2020.08.012.
5. LIU, X.; WANG, P.; ZOU, Y.-X.; LUO, Z.-G.; TAMER, T.M. Co-Encapsulation of Vitamin C and β -Carotene in Liposomes: Storage Stability, Antioxidant Activity, and in Vitro Gastrointestinal Digestion. *Food Research International* **2020**, *136*, 109587, doi:10.1016/j.foodres.2020.109587.
6. ŠEREGELJ, V.; TUMBAS ŠAPONJAC, V.; LEVIĆ, S.; KALUŠEVIĆ, A.; ČETKOVIĆ, G.; ČANADANOVIĆ-BRUNET, J.; NEDOVIĆ, V.; STAJČIĆ, S.; VULIĆ, J.; VIDAKOVIĆ, A. Application of Encapsulated Natural Bioactive Compounds from Red Pepper Waste in Yogurt. *Journal of Microencapsulation* **2019**, *36*, 704–714, doi:10.1080/02652048.2019.1668488.
7. ALTEMIMI, A.; LAKHSSASSI, N.; BAHARLOUEI, A.; WATSON, D.; LIGHTFOOT, D. Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. *Plants* **2017**, *6*, 42, doi:10.3390/plants6040042.
8. MAHERANI, B.; ARAB-TEHRANY, E.; R. MOZAFARI, M.; GAIANI, C.; LINDER, M. Liposomes: A Review of Manufacturing Techniques and Targeting Strategies. *CNANO* **2011**, *7*, 436–452, doi:10.2174/157341311795542453.
9. MOHAMMADI, A.; JAFARI, S.M.; MAHOONAK, A.S.; GHORBANI, M. Liposomal/Nanoliposomal Encapsulation of Food-Relevant Enzymes and Their Application in the Food Industry. *Food Bioprocess Technol* **2021**, *14*, 23–38, doi:10.1007/s11947-020-02513-x.
10. *Thermal and Nonthermal Encapsulation Methods*; Krokida, M., Ed.; Advances in drying science & technology; CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, 2018; ISBN 978-1-138-03543-0.
11. ANGELOVA, M.; DIMITROV, D.S. A Mechanism of Liposome Electroformation. In *Trends in Colloid and Interface Science II*; Degiorgio, V., Ed.; Progress in Colloid & Polymer Science; Steinkopff: Darmstadt, 1988; Vol. 76, pp. 59–67 ISBN 978-3-7985-0777-7.
12. LEE, M.-K. Liposomes for Enhanced Bioavailability of Water-Insoluble Drugs: In Vivo Evidence and Recent Approaches. *Pharmaceutics* **2020**, *12*, 264, doi:10.3390/pharmaceutics12030264.
13. AKGÜN, D.; GÜLTEKİN-ÖZGÜVEN, M.; YÜCETEPE, A.; ALTIN, G.; GIBIS, M.; WEISS, J.; ÖZÇELİK, B. Stirred-Type Yoghurt Incorporated with Sour Cherry Extract in

- Chitosan-Coated Liposomes. *Food Hydrocolloids* **2020**, *101*, 105532, doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105532.
14. GHENDOV-MOȘANU, A. *Compuși biologici activi de origine horticolă pentru alimente funcționale*; Tehnica UTM: Universitatea Tehnică a Moldovei, 2018; ISBN 978-9975-45-531-2.
 15. PAMUNUWA, G.K.; KARUNARATNE, D.N. Liposomal Delivery of Plant Bioactives Enhances Potency in Food Systems: A Review. *Journal of Food Quality* **2022**, *2022*, 1–11, doi:10.1155/2022/5272592.
 16. MOHAMMED, A.R.; WESTON, N.; COOMBES, A.G.A.; FITZGERALD, M.; PERRIE, Y. Liposome Formulation of Poorly Water Soluble Drugs: Optimisation of Drug Loading and ESEM Analysis of Stability. *International Journal of Pharmaceutics* **2004**, *285*, 23–34, doi:10.1016/j.ijpharm.2004.07.010.
 17. SCHWEIGGERT, R.M.; KOPEC, R.E.; VILLALOBOS-GUTIERREZ, M.G.; HÖGEL, J.; QUESADA, S.; ESQUIVEL, P.; SCHWARTZ, S.J.; CARLE, R. Carotenoids Are More Bioavailable from Papaya than from Tomato and Carrot in Humans: A Randomised Cross-over Study. *Br J Nutr* **2014**, *111*, 490–498, doi:10.1017/S0007114513002596.
 18. KELLER, B.C. LIPOSOMES IN NUTRITION. *Trends in Food Science & Technology* **2001**, *12*, 25–31, doi:10.1016/S0924-2244(01)00044-9.
 19. RUDZIŃSKA, M.; GRYGIER, A.; KNIGHT, G.; KMIĘCIK, D. Liposomes as Carriers of Bioactive Compounds in Human Nutrition. *Foods* **2024**, *13*, 1814, doi:10.3390/foods13121814.
 20. SUBRAMANI, T.; GANAPATHYSWAMY, H. An Overview of Liposomal Nano-Encapsulation Techniques and Its Applications in Food and Nutraceutical. *J Food Sci Technol* **2020**, *57*, 3545–3555, doi:10.1007/s13197-020-04360-2.
 21. GEETHA, S.; SAI RAM, M.; SINGH, V.; ILAVAZHAGAN, G.; SAWHNEY, R.C. Anti-Oxidant and Immunomodulatory Properties of Seabuckthorn (*Hippophae Rhamnoides*)—an in Vitro Study. *Journal of Ethnopharmacology* **2002**, *79*, 373–378, doi:10.1016/S0378-8741(01)00406-8.
 22. GIBIS, M.; RUEDT, C.; WEISS, J. In Vitro Release of Grape-Seed Polyphenols Encapsulated from Uncoated and Chitosan-Coated Liposomes. *Food Research International* **2016**, *88*, 105–113, doi:10.1016/j.foodres.2016.02.010.
 23. BERMUDEZSOTO, M.; TOMASBARBERAN, F.; GARCIAONESA, M. Stability of Polyphenols in Chokeberry (*Aronia Melanocarpa*) Subjected to in Vitro Gastric and Pancreatic Digestion. *Food Chemistry* **2007**, *102*, 865–874, doi:10.1016/j.foodchem.2006.06.025.
 24. COVALIOV, E.; CAPCANARI, T.; REȘITCA, V.; CHIRSANOVA, A.; BOIȘTEAN, A.; STURZA, R.; PATRAS, A.; POCOL, C.B.; RUSEVA, O.; CHIORU, A. Exploring the Biological Value of Red Grape Skin: Its Incorporation and Impact on Yogurt Quality. *Foods* **2024**, *13*, 3254, doi:10.3390/foods13203254.
 25. DA SILVA HAAS, I.C.; TOALDO, I.M.; GOMES, T.M.; LUNA, A.S.; DE GOIS, J.S.; BORDIGNON-LUIZ, M.T. POLYPHENOLIC PROFILE, Macro- and Microelements in Bioaccessible Fractions of Grape Juice Sediment Using in Vitro Gastrointestinal Simulation. *Food Bioscience* **2019**, *27*, 66–74, doi:10.1016/j.fbio.2018.11.002.
 26. Dipalmitoylphosphatidylcholine, <https://en.wikipedia.org/wiki/Dipalmitoylphosphatidylcholine>
 27. Glicerol, <https://ro.wikipedia.org/wiki/Glicerol>
 28. Polifenoli, <https://ro.wikipedia.org/wiki/Polifenol>
 29. Carotenoide, <https://en.wikipedia.org/wiki/Carotenoid>

30. POPOVICI, V.; BOLDIANU, A.-B.; PINTEA, A.; CARAUS, V.; GHENDOV-MOSANU, A.; SUBOTIN, I.; DRUTA, R.; STURZA, R. In Vitro Antioxidant Activity of Liposomal Formulations of Sea Buckthorn and Grape Pomace. *Foods* **2024**, *13*, 2478, doi:10.3390/foods13162478.
31. ROSTAMABADI, H.; FALSAFI, S.R.; JAFARI, S.M. Nanoencapsulation of Carotenoids within Lipid-Based Nanocarriers. *Journal of Controlled Release* **2019**, *298*, 38–67, doi:10.1016/j.jconrel.2019.02.005.
32. TAN, C.; ZHANG, Y.; ABBAS, S.; FENG, B.; ZHANG, X.; XIA, S. Modulation of the Carotenoid Bioaccessibility through Liposomal Encapsulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **2014**, *123*, 692–700, doi:10.1016/j.colsurfb.2014.10.011.
33. TAN, C.; XUE, J.; LOU, X.; ABBAS, S.; GUAN, Y.; FENG, B.; ZHANG, X.; XIA, S. Liposomes as Delivery Systems for Carotenoids: Comparative Studies of Loading Ability, Storage Stability and in Vitro Release. *Food Funct.* **2014**, *5*, 1232, doi:10.1039/c3fo60498e.
34. FLAMMINII, F.; DI MATTIA, C.D.; SACCHETTI, G.; NERI, L.; MASTROCOLA, D.; PITTIA, P. Physical and Sensory Properties of Mayonnaise Enriched with Encapsulated Olive Leaf Phenolic Extracts. *Foods* **2020**, *9*, 997, doi:10.3390/foods9080997.
35. JAHANFAR, S.; GAHAVAMI, M.; KHOSRAVI-DARANI, K.; JAHADI, M.; MOZAFARI, M.R. Entrapment of Rosemary Extract by Liposomes Formulated by Mozafari Method: Physicochemical Characterization and Optimization. *Heliyon* **2021**, *7*, e08632, doi:10.1016/j.heliyon.2021.e08632.
36. CHAI, C.; PARK, J. Food Liposomes: Structures, Components, Preparations, and Applications. *Food Chemistry* **2024**, *432*, 137228, doi:10.1016/j.foodchem.2023.137228.
37. MATTOS, M.V.C.D.V.D.; MICHELON, M.; BURKERT, J.F.D.M. Production and Stability of Food-Grade Liposomes Containing Microbial Carotenoids from *Rhodotorula Mucilaginosa*. *Food Structure* **2022**, *33*, 100282, doi:10.1016/j.foostr.2022.100282.
38. YUAN, J.-J.; QIN, F.; TU, J.-L.; LI, B. Preparation, Characterization, and Antioxidant Activity Evaluation of Liposomes Containing Water-Soluble Hydroxytyrosol from Olive. *Molecules* **2017**, *22*, 870, doi:10.3390/molecules22060870.