

ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 664.2.081-026.544.3:547.536]-047.37

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2023-2-1>

ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ ЩОДО ІНКАПСУЛЮВАННЯ АРОМАТИЧНИХ РЕЧОВИН

А. Д. АВРАМЕНКО, аспірант

(Національний університет харчових технологій);

О. В. ГРАБОВСЬКА, доктор технічних наук, професор

(Державний торговельно-економічний університет)

Анотація. *Ароматизатори та смакоароматичні добавки широко використовуються в харчових продуктах для покращення якості та підвищення задоволеності споживачів. В процесі приготування і зберігання харчових продуктів їх смак і аромат може змінюватися. Для захисту летких ароматичних речовин використовують спосіб інкапсулювання їх у нейтральну матрицю, якою часто слугує модифікований крохмаль. Забезпечення стабільності матриці є важливим критерієм для збереження властивостей ароматизованих матеріалів у продуктах харчування чи напоях.*

Метою роботи було дослідження сорбційних властивостей дослідних зразків модифікованого крохмалю та вивчення ефективності його застосування щодо інкапсулювання летких органічних речовин на прикладі тимолу. Було досліджено сорбційні властивості модифікованого пористого крохмалю, розроблено спосіб інкапсулювання тимолу у його матрицю, та підтверджено можливість його використання як стінового матеріалу для інкапсулювання ароматичних речовин на прикладі тимолу.

Ключові слова: *модифікований крохмаль, заморожування, сорбційні властивості, інкапсулювання, ароматичні сполуки, тимол.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сучасна харчова промисловість широко використовує харчові ароматизатори та смакоароматичні добавки, які значно покращують органолептичні характеристики харчових продуктів. Функціональне призначення харчових ароматизаторів: відновлення смаку і аромату продукції, втрачених при переробці сировини; посилення наявного смаку і аромату продукції; додання аромату продукції, що не має власного характерного смаку; модифікація смаку і аромату готового продукту за наявності неприємних для споживача смаків; стандартизація смаку і аромату продукції; розширення асортименту харчової продукції [1].

Покращення смаку і аромату харчових продуктів підвищує задоволення споживачів, попит на них зростає і, відповідно, зростає вартість. Більшість доступних ароматичних речовин видобуто з природних джерел або синтезовано. Оскільки в процесі приготування і зберігання харчових продуктів їх смак і аромат може змінюватися внаслідок утворення компонентів зі стороннім смаком, важливо інкапсулювати легкі інгредієнти перед їх використанням у нейтральну матрицю з природного біополімера. Забезпечення стабільності матриці є важливим критерієм для

збереження властивостей ароматизованих матеріалів у продуктах харчування чи напоях [2].

Інкапсуляція визначається як процес, при якому крихітні частинки біоактивних речовин вбудовуються в однорідну або гетерогенну матрицю для забезпечення фізичного бар'єру між основною сполукою та іншими компонентами продукту. Таким чином, діюча речовина має захист від впливу кисню, тепла, вологи, світла, що зменшує перебіг окисних процесів і сприяє збільшенню терміну зберігання продукту. У якості матеріалу для мікрокапсул використовують різні класи природних речовин: ліпіди, білки, полісахариди, зокрема модифікований крохмаль, пектин, ацетатцелюлозу, альгінати, хітозан, полідекстрозу та ін. В ході досліджень сформульовано багато вимог до матеріалів для інкапсулювання, проте основними є такі: вони мають бути недорогими (для отримання економічного продукту), неканцерогенними і не мають містити важких металів [3, 4].

Крохмаль – природний полісахарид, який активно використовується у харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості. Для розширення асортименту і покращення якості харчових продуктів використовуються модифіковані види крохмалю, які є харчовими добавками.

Існують різні способи модифікації крохмалю: фізичні, біохімічні, хімічні та їх комбінації [5].

Розроблення нових модифікованих видів крохмалю і вивчення їх фізико-хімічних і структурних особливостей є необхідним для розуміння технологічних особливостей їх використання у харчовій промисловості [6].

На сьогодні в світі актуальним є пошук матеріалів для мікрокапсул, які, не змінюючи смак та будучи нейтральними щодо фізіологічного впливу на організм, були б здатні утримувати певні низькомолекулярні біологічно активні речовини та виявляти щодо них захисну дію [7]. Таким матеріалом може бути певним чином модифікований крохмаль з розвиненою внутрішньою поверхнею пор. Пористу структуру нативних та частково клейстеризованих крохмальних матеріалів зазвичай отримують фізичними та хімічними модифікаціями [8]. До фізичних методів отримання пористого крохмалю належить поєднання етапів заморожування-відтавання крохмальних клейстерів різної концентрації за певних умов [9].

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю пошуку доступних, дешевих та ефективних харчових біополімерів для створення на їх основі сухих ароматизаторів та аромасмакових добавок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тема інкапсулювання смакоароматичних речовин висвітлена у працях багатьох учених. Чепель Н.В. було розроблено технологію інкапсулювання ароматичних композицій з ефірної олії шавлії мускатної гуміарабіком [10]. Kausadikar S. та ін. досліджували мікрокапсуляцію лимонної олії трьома матеріалами-носіями – гуміарабіком, мальтодекстрином, модифікованим крохмалем і їх бінарними та потрійними сумішами за допомогою розпилювального сушіння, але в роботі не згадується який саме модифікований крохмаль вони використовували [11]. Serrano C. та ін. дослідили що нелеткі сполуки з олійних смол ароматичних рослин і спецій можуть бути інкапсульовані в полімерних матеріалах інуліну та мальтодекстрину, отриманих за допомогою процесів розпилювального і сублимаційного сушіння [12].

Тимол (систематична назва: 2 ізопропіл-5-метілфенол) – природний монотерпеновий фенол, який був знайдений в маслі чебрецю. Це біла кристалічна речовина з сильними антисептичними властивостями. Тимол має специфічний, сильний аромат, завдяки якому чебрець використовується як кулінарна приправа. Він слабо розчинний у воді за нейтрального рН, а у спиртах та інших органічних розчинниках він добре розчиняється [13].

Тимол має безліч застосувань: він використовується у невеликих концентраціях для виготовлення косметичних речовин як денатурант і ароматизатор; у виробництві харчових продуктів його

використовують як смакоароматичну добавку і консервант; та у багатьох продуктах, таких як інсектициди, фунгіциди, та ін. [14]. Проте, його леткість робить його вразливим до окиснення, світла та тепла і впливає на його склад, таким чином обмежуючи діапазон його застосування. Крім того, у різних сферах застосування потрібне контрольоване вивільнення, щоб уникнути токсичності та забезпечити тривалу антимікробну дію [15].

Ми не зустріли праць щодо дослідження можливості використання фізично модифікованого крохмалю, отриманого методом заморожування-відтавання крохмальних суспензій, для створення смакоароматичних добавок, тому вважаємо актуальним проведення такого дослідження з використанням тимолу.

Формування цілей статті. Метою роботи було дослідження сорбційних властивостей дослідних зразків модифікованого крохмалю та вивчення ефективності його застосування щодо інкапсулювання летких органічних речовин на прикладі тимолу.

Виклад основного матеріалу досліджень. Об'єктом дослідження є технологія пористого крохмалю для інкапсулювання ароматичних речовин.

Предмет дослідження – модифікований пористий крохмаль, отриманий внаслідок заморожування – відтавання крохмального клейстеру за певних умов, тимол.

Отримання модифікованого крохмалю

Для отримання модифікованого крохмалю було використано відомості про те, що охолодження колоїдних систем до температури замерзання і нижче, часто призводить до коагуляції внаслідок ущільнення просторої сітки при замерзанні дисперсійного середовища. Причому коагуляція тим повніша, чим нижча температура, до якої охолоджували колоїдну систему, і чим довше вона перебуває в замерзломому стані. Крохмальні молекули гідрофільні, при нагріванні у воді вони здатні збільшуватись у об'ємі в декілька разів, сорбуючи значну кількість води (близько 1000 % до маси абсолютно сухої речовини). За певної температури полісахариди крохмального зерна переходять у розчин, утворюючи драгелеподібну систему, залежно від концентрації крохмалю. Для високомолекулярних сполук найбільш енергетично вигідною конформацією в розчині є подвійна спіраль, яка формується за рахунок утворення великої кількості внутрішньомолекулярних водневих зв'язків. При глибокому заморожуванні клейстерів крохмалю утворення кристалів льоду призводить до ущільнення просторової сітки полісахаридів та формування внутрішніх каналів [16].

Для отримання модифікованого крохмалю готували суспензії кукурудзяного крохмалю

концентраціями 5 і 10 %, клейстеризували у полі надвисокої частоти (НВЧ), охолоджували, ставили на заморожування на 24 години при температурі – 18 °С. Розморожували при кімнатній температурі, зневоднювали за допомогою етилового спирту, висушували і подрібнювали.

Методи дослідження

Дослідження внутрішньої структури модифікованого крохмалю

Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю. Дослідження проводили на сорбційно-вакуумній установці Мак-Бена. На попередньо зневоднених зразках крохмалю здійснювали сорбцію водяної пари при температурі 20 °С і тиску від 0 до 18 мм рт. ст. до досягнення ним гігроскопічної вологості. Потім проводили десорбцію у рівноважних умовах. Результати представлені в координатній площині, де на вісі абсцис зображено значення відносного тиску пари води P/P_s , (що рівнозначно також активності води, оскільки $a_w = \frac{P}{P_s}$), а на вісі ординат – кількість сорбованої води a , см³/г.

Дослідження ступеня кристалічності крохмалю проводили за допомогою рентгенофазового аналізу, який виконували на рентгенівському дифрактометрі HZG4A (Carl Zeiss, Jena, Germany).

Дослідження реологічних властивостей модифікованих зразків кукурудзяного крохмалю проводили за допомогою віскозиметра «Реотест-2».

Дослідження властивостей модифікованого крохмалю щодо інкапсулювання тимолу

Зразки кукурудзяного модифікованого крохмалю отримували шляхом заморожування та подальшого відтавання крохмальних клейстерів

концентрацією 5, 10 %. Для аналізу брали 1 г модифікованого крохмалю, вносили в плоскодонну конічну колбу та додавали 20 мл води. Далі вносили 1 мл водного розчину тимолу відповідної концентрації. Для цього створювали концентраційний ряд вихідних розчинів тимолу з вмістом 10; 5; 2,5; 1,25 і 0,675 % речовини. Колби періодично струшували протягом 48 годин. Шляхом фільтрування відокремлювали крохмаль із сорбованим тимолом від водної фази. Водну фазу аналізували фотометричним методом на вміст тимолу. За різницею між введеною кількістю тимолу та знайденою у водній фазі розраховували кількість зв'язаного крохмалем тимолу:

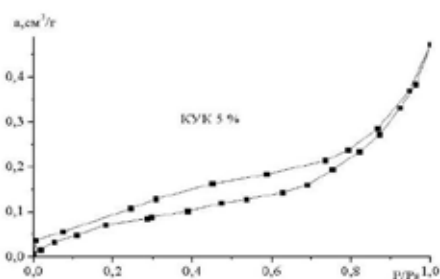
$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100, \%$$

де R – загальне зв'язування, %; C_0 – вихідна концентрація тимолу, моль/л; C – концентрація тимолу у водній фазі, моль/л.

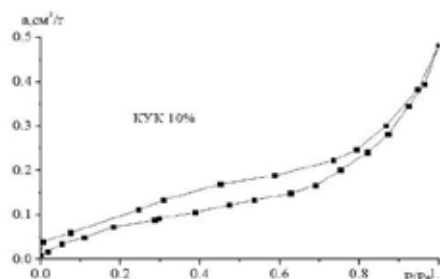
Результати досліджень

Ізотерми сорбції – це графічна залежність кількості адсорбованої речовини від рівноважного тиску або концентрації за сталої температури $a = f(P)$. Залежно від зовнішніх умов, природи адсорбенту і адсорбтиву сорбція може відбуватися з утворенням на поверхні полімолекулярного адсорбційного шару. Отримані криві відповідають описаним характеристикам для полімолекулярного сорбційного шару і мають більш складний вигляд.

Як видно з графіків сорбції парів води (рис. 1), усі зразки мають однакову сорбційну здатність, бо їх графіки майже співпадають і накладаються один на один.



а



б

Рис. 1. Ізотерми сорбції-десорбції парів води кукурудзяним модифікованим крохмалем, отриманим з клейстерів концентрацією, %: а – 5; б – 10

Таблиця 1

Структурні характеристики зразків пористого крохмалю, які були зняті у парах води

№ п/п	Пористий кукурудзяний крохмаль, отриманий з клейстерів концентрацією	S , м ² /г	R^2	V_s , см ³ /г	D , А
1.	5 %	251	0,9900	0,47	75
2.	10 %	259	0,9877	0,48	74

S , м²/г – питома адсорбційна поверхня зразків (моношар, верхній шар)

V_s , см³/г – сорбційний об’єм пор зразків (найбільша кількість води, яку може зв’язати зразок при 20 °С та тиску 17,54 мм р.с.)

R^2 – квадрат похибки розрахунку питомої адсорбційної поверхні

D , A – діаметр пор у ангстремах, ($D, A = 4V_s \cdot S$).

При детальному вивченні ізотерм сорбції, в діапазоні $\frac{P}{P_s} = 0,0 - 0,9$ спостерігаємо хвилеподібний характер кривих, що може свідчити про утворення першої та другої гідратних оболонок навколо активних поверхневих центрів крохмалю. Також, характер кривих може свідчити про часткову хемосорбцію, оскільки після закінчення досліду, криві не спали до показника нуль на вісі ординат. Це підтверджує факт того, що модифікований крохмаль доцільно буде використати у якості адсорбенту.

На графіках розподілу пор за радіусами (рис. 2) спостерігається, що кількість пор діаметром 10 Å (вона дорівнює поверхні, яку займає площа між перпендикулярами, які спускаються від ординати у 0,006 DV/DR і від крайнього значення кривої у 30 Å) у зразків спостерігається зменшення діаметру пор при зменшенні концентрації крохмального клейстеру. У 5% крохмалю значення радіусу

пор – 10,1 Å, а у 10% – 10 Å. Гістерезис, який ми бачимо на ізотермах адсорбції, пояснюється тим, що пори мають малий діаметр і тому вихід води з них ускладнюється.

Дослідження сорбційних характеристик модифікованого крохмалю свідчать про утворення пор приблизно однакового діаметру (концентрація клейстеру практично не впливає на значення діаметру пор). При порівнянні зразків модифікованого крохмалю з нативним бачимо, що модифікований крохмаль містить найбільшу кількість мікропор у районі 10 Å, у разі нативного – максимально 7,7 Å. Це може свідчити про більшу поглинальну і адсорбційну здатність модифікованого крохмалю.

За допомогою вивчення дифракції рентгенівських променів встановлено, що ступінь кристалічності модифікованого крохмалю значною мірою залежить від концентрації клейстеру, підданого заморожуванню, та від режиму заморожування-відтавання. При глибокому заморожуванні клейстерів крохмалю утворення кристалів льоду призводить до ущільнення просторової сітки полісахаридів та формування внутрішніх каналів.

З рис. 3 видно що клейстеризація крохмалю призвела до руйнування нативної структури і зміни кристалічності крохмальних зерен. Причому, зміни кристалічності залежать від концентрації клейстеру, який піддавали заморожуванню.

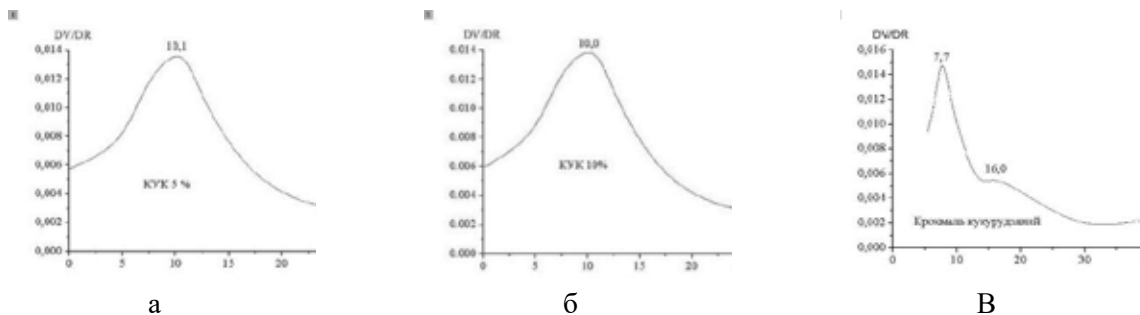


Рис. 2. Диференціальні криві розподілу пор за радіусом кукурудзяних зразків крохмалю (пористий крохмаль, отриманий з клейстерів концентрацією, %: а – 5; б – 10; в – нативний крохмаль)

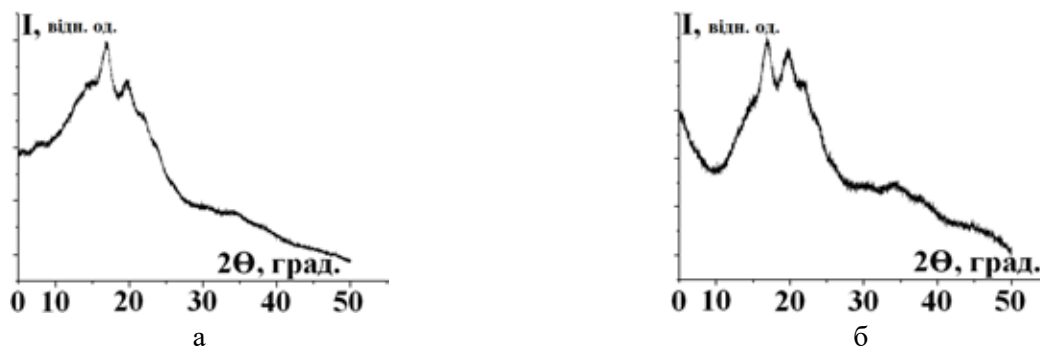


Рис. 3. Рентгенограми модифікованого кукурудзяного крохмалю, отримані з клейстерів різної концентрації, %: а – 5; б – 10

Таблиця 2

Результати реологічного дослідження зразків модифікованого крохмалю

Пористий кукурудзяний крохмаль, отриманий з клейстерів концентрацією	η_0 , Па·с	η_m , Па·с	$\eta_0 - \eta_m$	P_{k1}	P_{k2}	P_m	P_{k1}/P_{k2}	P_m/P_{k1}
5 %	167,4	1,78	165,62	100	660	720	0,15	7,20
10 %	55,8	1,10	54,70	45	160	325	0,28	7,22

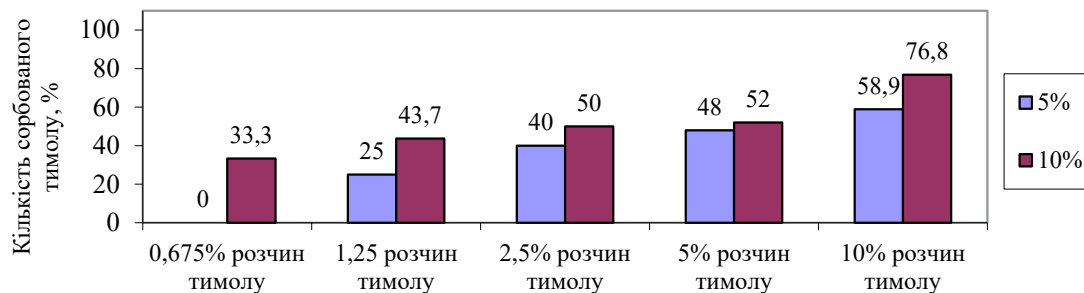


Рис. 4. Інкапсулювання тимоли модифікованим крохмалем, отриманим з клейстерів різної концентрації

Було проведено серію дослідів для визначення реологічних характеристик різних видів модифікованого крохмалю. Готували суспензію крохмалю концентрацією 5 і 10 %, піддавали нагріванню до температури клейстеризації крохмалю, охолоджували та вимірювали реологічні параметри.

За отриманими результатами розраховували в'язкісні та міцнісні параметри, а також їх співвідношення (табл. 2).

Аналіз даних показав, що усі види крохмалю утворюють твердоподібні структуровані системи, найбільш міцна надмолекулярна структура утворюється у кукурудзяному пористому крохмалі, отриманому з клейстеру концентрацією 5 %. Також у цього крохмалю утворився найміцніший структурний каркас.

Результати досліджень сорбції тимоли з розчинів кукурудзяним модифікованим крохмалем,

приготовленим з клейстерів різної концентрації наведено на рисунку 4.

Згідно з результатами досліджень найбільше тимоли інкапсулюється модифікованим крохмалем, приготовленим з 10%-го клейстеру з внесенням 10 % водних розчинів тимоли.

Висновки. Шляхом глибокого заморожування водних клейстерів крохмалю низьких концентрацій отримано модифікований крохмаль, який має пористу структуру, що підтверджено нашими дослідженнями.

Експериментально встановлено, що кукурудзяний модифікований крохмаль, який був приготовлений з клейстеру концентрацією 10 % має найвищий ступінь інкапсулювання тимоли порівняно зі зразками, отриманими за інших концентрацій. Тому, він є технологічно більш перспективним для створення ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cayot N., Drusch S., Jouppila K. Physical chemistry for food scientists: part B, chapter 7: Food flavors. Springer, 2014. P.1-33. URL: <https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-03395335>.
2. Gupta S., Khan S., Muzafar M., Kushwaha M., Yadav A.K., Gupta A.P. Chapter 6: Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food. Nanotechnology in the agri-food industry, 2016. P. 229-268. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804307-3.00006-5>.
3. Sepelevs I., Stepanova V., Galoburda R. Encapsulation of gallic acid with acid-modified low dextrose equivalent potato starch using spray- and freeze-drying techniques. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2018. Vol. 68, № 3. P. 273–280.
4. Corrêa-Filho L.C., Moldão-Martins M., Alves V.D. Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Science*, 2019. Vol. 9, № 571. P. 1-18.
5. Bertoft E. Understanding starch structure: recent progress. *Agronomy*, 2017. Vol. 7, № 56. P. 1-29.
6. Masina N., Choonara Y.E., Kumar P., Du Toit L.C., Govender M., Indermun S., Pillay V. A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydrate polymers*, 2017. № 157. P. 1226-1236.
7. Poornima K., Sinthya R. Application of various encapsulation techniques in food industries. *International journal of latest engineering research and applications*, 2017. Vol. 2, № 10. P. 37-41.
8. Hj. Latip D.N., Samsudin H., Utra U. Alias K.A. Modification methods toward the production of porous starch: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020. Vol. 61, № 17. P.2841-2862.

9. Piloni R.V., Bordón M. G., Barrera G. N., Martínez M. L., Ribotta P.D. Porous microparticles of corn starch as bio-carriers for chia oil. *Foods*, 2022. № 11. P. 1-15.
10. Чепель Н.В. Розроблення ароматичних композицій ефірної олії шавлії мускатної для інкапсулювання гумі-арабіком. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2014. Т. 5/6, № 71. С. 45-51.
11. Kausadikara S., Gadhavab A.D., Waghmareb J. Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavour tea. *Advances in applied science research*, 2015. Vol. 6, № 4. P. 69-78.
12. Serrano C., Sapata M., Oliveira M.C., Gerardo A., Viegas C. Encapsulation of oleoresins for salt reduction in food. *Acta sci. pol. technol. aliment.*, 2020. Vol. 19, № 1. С. 57–71.
13. Kowalczyk A., Przychodna M., Sopata S., Bodalska A., Fecka I. Thymol and thyme essential oil—new insights into selected therapeutic applications. *Molecules*, 2020. Vol. 25. DOI:10.3390/molecules25184125.
14. Escobara A., Perezb M., Romanellia G., Blustein G. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 2020. Vol. 13, № 12. P. 9243-9269.
15. Shlosman K., Rein D.M., Shemesh R., Koifman N., Caspi A. Cohen Y. Encapsulation of thymol and eugenol essential oils using unmodified cellulose: preparation and characterization. *Polymers*, 2023. Vol. 15, № 1. DOI: 10.3390/polym15010095.
16. Krystyan M., Ciesielski W., Gumul D., Buksa K., Ziobro R., Sikora M. Physico-chemical and rheological properties of gelatinized/freeze-dried cereal starches. *International agrophysics*, 2017. № 37. P. 357-365.

REFERENCES

1. Cayot, N., Drusch, S., & Jouppila K. (2014). *Physical chemistry for food scientists: part B, chapter 7: Food flavors*. Springer, 1-33. Retrieved from <https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-03395335>.
2. Gupta, S., Khan, S., Muzafar, M., Kushwaha, M., Yadav, A.K., & Gupta, A.P. (2016). *Chapter 6: Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food*. Nanotechnology in the agri-food industry, 229-268. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804307-3.00006-5>.
3. Sepelevs, I., Stepanova, V., & Galoburda, R. (2018). Encapsulation of gallic acid with acid-modified low dextrose equivalent potato starch using spray- and freeze-drying techniques. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 68(3), 273–280.
4. Corrêa-Filho, L.C., Moldão-Martins, M., & Alves, V.D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Science*, 9 (571), 1-18.
5. Bertoft E. (2017). Understanding starch structure: recent progress. *Agronomy*, 7(56), 1-29.
6. Masina, N., Choonara, Y.E., Kumar, P., Du Toit, L.C., Govender, M., Indermun, S., & et al. (2017) A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydrate polymers*, 157, 1226-1236.
7. Poornima, K., & Sinthya, R. (2017). Application of various encapsulation techniques in food industries. *International journal of latest engineering research and applications*, 2(10), 37-41.
8. Hj. Latip, D.N., Samsudin, H., Utra, U., & Alias, K.A. (2020). Modification methods toward the production of porous starch: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 2841-2862.
9. Piloni, R.V., Bordón, M. G., Barrera, G. N., Martínez, M. L., & Ribotta, P.D. (2022). Porous microparticles of corn starch as bio-carriers for chia oil. *Foods*, 11, 1-15.
10. Чепель, Н.В. (2014). Розроблення ароматичних композицій ефірної олії шавлії мускатної для інкапсулювання гумі-арабіком. *Шідно-Європейський журнал передових технологій*, 5/6(71), 45-51. [in Ukrainian]
11. Kausadikara, S., Gadhavab, A.D., & Waghmareb, J. (2015). Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavour tea. *Advances in applied science research*, 6(4), 69-78.
12. Serrano, C., Sapata, M., Oliveira, M.C., Gerardo, A., & Viegas, C. (2020). Encapsulation of oleoresins for salt reduction in food. *Acta sci. pol. technol. aliment.*, 19(1), 57–71.
13. Kowalczyk, A., Przychodna, M., Sopata, S., Bodalska, A., & Fecka I. (2020). Thymol and thyme essential oil—new insights into selected therapeutic applications. *Molecules*, 25. Retrieved from 10.3390/molecules25184125.
14. Escobara, A., Perezb, M., Romanellia, G., & Blustein, G. 2020. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(12), 9243-9269.
15. Shlosman, K., Rein, D.M., Shemesh, R., Koifman, N., Caspi, A., & Cohen, Y. (2023). Encapsulation of thymol and eugenol essential oils using unmodified cellulose: preparation and characterization. *Polymers*, 15(1). Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/1/95>.
16. Krystyan, M., Ciesielski, W., Gumul, D., Buksa, K., Ziobro, R., & Sikora, M. (2017). Physico-chemical and rheological properties of gelatinized/freeze-dried cereal starches. *International agrophysics*, 37, 357-365.

A. Avramenko, Postgraduate Student (National University of Food Technologies); **O. Hrabovska**, Doctor of Technical Sciences, Professor (State University of Trade and Economics). **Study of the sorption properties of porous starch for the encapsulation of aromatic substances.**

Abstract. Flavorings and flavoring additives are widely used in food products to improve quality and increase consumer satisfaction. In the process of preparation and storage of food products, their taste and aroma may change. To protect volatile aromatic substances, a method of encapsulating them in a neutral matrix, which is often used modified starch. Ensuring the stability of the matrix is an important criterion for preserving the properties of flavored materials in food or beverages.

The aim of the work was to study the sorption properties of experimental samples of modified starch and to study the effectiveness of its use in encapsulating volatile organic substances using the example of thymol. The sorption properties of modified porous starch were investigated, a method of thymol encapsulation in its matrix was developed, and the possibility of its use as a wall material for encapsulating aromatic substances was confirmed using the example of thymol.

Key words: *modified starch, freezing, sorption properties, encapsulation, aromatic compounds, thymol.*