

ОТРИМАННЯ ІНКАПСУЛЬОВАНОГО КРОХМАЛЮ

Кузнєцова І. В., с.н.с., д.с.-г.н., к.т.н.,
завідувачка відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Касамара А. С., аспірантка,
науковий співробітник відділу технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів,
<https://orcid.org/0000-0002-3557-6021>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-11>

Предмет. Інкапсульований крохмаль. **Мета.** Дослідження властивостей інкапсульованого крохмалю томатного та гарбузового. **Методи.** Органолептичний, структурно-механічний, та аналітичний. **Результати.** Збагачення поживними речовинами не завжди забезпечує задані властивості харчового продукту через їх розкладання під час технологічного процесу. Це сприяло утворенню нового напрямку виробництва модифікованого крохмалю такого як інкапсульований. Процес інкапсуляції полягає в так званому «включенні» молекул біологічно активних речовин у структуру нейтрального агенту та утворенні гетерогенної матриці і формуванні мікрокапсул. Мікрокапсули на основі крохмалю можуть покращити фізико-хімічні властивості інкапсульованого матеріалу, підвищуючи його термічну стабільність і антиоксидантні властивості. Резистентний крохмаль має значення в даній технології не тільки харчові волокна але й як носій пористої структури, що добре утворює конгломерат з іншими біологічно активними сполуками. Результати досліджень показують, що за органолептичними показниками краще модифіковані крохмалі, отримані зі співвідношенням резистентний крохмаль : порошок томатний (гарбузовий) як 8:2. Такі крохмалі відповідають загальноприйнятим технологічним принципам інкапсульованого крохмалю. Визначено технологічні властивості інкапсульованого томатного та гарбузового крохмалів. Встановлено, що для обох зразків кут дійсного ухилу становить $38 \pm 0,2^\circ$, загальна пористість становить 55–62%. Високе значення коефіцієнту поглинання та ступеня набухання (0,80) інкапсульованих крохмалів досягається завдяки збільшення гідромодуля. Розрахунково показано, що інкапсульований крохмаль є достатньо калорійним продуктом, що може бути використаним для виробництва харчових виробів. Крім того, такі продукти є перспективними для харчування людей із чутливим травленням. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю. **Сфера застосування результатів.** Харчова промисловість, а саме крохмальна галузь.

Ключові слова: крохмаль, інкапсулят, адсорбент, ступінь набухання, коефіцієнт поглинання, поживна (харчова) цінність, часточки

OBTAINING MICROCAPSULATED STARCH

Inha Kuznietsova, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,
Head of the Department Technology Sugar, Sugar-containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Alina Kasamara, Postgraduate,
Researcher of Department Technology Sugar, Sugar-containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-3557-6021>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Encapsulated starch. **Purpose.** To study encapsulated tomato and pumpkin starch. **Methods.** Organoleptic, structural-mechanical, and analytical. **Results.** Usually, enrichment of a food product with nutrients does not always provide the desired properties of the product due to the decomposition of such substances during the technological process. This contributed to the formation of a new direction in the production of modified starch such as encapsulated. The encapsulation process consists in the so-called “inclusion” of molecules of biologically active substances into the structure of a neutral agent and the formation of a heterogeneous matrix and the formation of microcapsules. Starch-based microcapsules can improve the physicochemical properties of the encapsulated material,

increasing its thermal stability and antioxidant properties. Resistant starch is important in this technology not only as dietary fiber but also as a good carrier of a porous structure that forms a conglomerate with other biologically active compounds. The results of the research show that the modified starches obtained with a ratio of resistant starch: tomato (pumpkin) powder as 8:2 are better in terms of perception and color. Such starches correspond to the generally accepted principles of encapsulated starch and do not have clear taste and aromatic properties. The technological properties of encapsulated tomato and pumpkin starches were determined. It established that for both samples the angle of actual inclination is $38 \pm 0,2^\circ$, the total porosity is 55–62%. The high value of the absorption coefficient and the degree of swelling (0.80) of encapsulated starches achieved due to an increase in the hydromodulus. It calculated that encapsulated starch is a sufficiently high-calorie product that used for the production of food products. In addition, such products are promising for the nutrition of people with sensitive digestion. Technological instruction 10.62.13-90.00.5:2023 for the production of encapsulated modified starch developed. **Scope of results.** Food industry, namely the starch industry.

Key words: starch, encapsulate, adsorbent, degree of swelling, absorption coefficient, nutritional (food) value, particles

Постановка проблеми. Сучасні реалії вимагають більше уваги приділити харчуванню населення, особливо споживанню речовин, що підвищують стійкість організму до певних видів захворювань. Збагачення харчових продуктів вітамінами або мінералами дозволяє запобігти дефіциту поживних речовин у раціоні людини. При цьому надають перевагу рослинній сировині, екстрактам, концентратам лікарських рослин, фруктовим і овочевим порошкам, харчовим волокнам тощо [1]. Проте, під час технологічного процесу біологічно активні речовини (БАР) можуть руйнуватися або втрачати біологічну активність. Для збереження БАР від впливу зовнішнього середовища при включенні у харчові продукти використовують природні високомолекулярні сполуки, які виконують функції мікрокапсул. До таких природних полімерів відносяться модифіковані види крохмалю, що володіють здатністю обвалювати БАР і утворювати навколо них захисний шар, або включати їх в свою структуру [1]. Використання фізичних способів модифікації є пріоритетним, оскільки дозволяє уникнути додаткового введення хімічних реагентів і утворення активних радикалів, що сприятиме застосуванню такого крохмалю у харчових продуктах для спеціального дієтичного харчування. Крохмалі модифіковані фізичним способом можуть бути використані як функціональні інгредієнти для збагачення харчових продуктів.

Зазвичай збагачення харчового продукту поживними речовинами не завжди забезпечує задані властивості продукту через розкладання таких речовин під час технологічного процесу. Це сприяло утворенню нового напрямку виробництва модифікованого крохмалю такого як інкапсульований. Процес інкапсуляції полягає в так званому «включенні» молекул БАР у структуру нейтрального агенту та утворенні гетерогенної матриці і формуванні мікрокапсул. Інкапсуляція може забезпечити фізичний бар'єр між основною сполукою та іншими компонентами продукту й утворювати одношарові або двошарові з'єднання [2]. Застосування саме крохмалю або його модифікатів як природних біополімерів є недорогим, а такі властивості як водоутримуюча здатність та структуроутворення сприяє більш поширеному застосуванню мікрокапсуляції у виробництві харчових продуктів. Зокрема, такі мікрокапсуляційні структури можуть стримувати передчасне вивільнення БАР, що мають небажані органолептичні властивості для харчових продуктів, такі як кислий присмак, терпкість і гіркоту [3]. Мікрокапсули на основі крохмалю можуть покращити фізико-хімічні властивості інкапсульованого матеріалу, підвищуючи його термічну стабільність і антиоксидантні властивості, мають здатність уповільненого, безперервного та цілеспрямованого вивільнення інкапсуляту. Мікрокапсули на основі крохмалю знайшли широке застосування в різних сферах [2].

Інкапсульований крохмаль отримують шляхом інкапсулювання певних сполук в структуру крохмалю, що сприяє підвищенню його функціональних властивостей, біологічної цінності тощо. У даному випадку важливим показником є вміст поживних

речовин і їх співвідношення. Оптимальне співвідношення між білками, жирами та вуглеводами в харчових продуктах для дорослих і дітей старшого віку становить 1: 1: 4, для дітей молодшого віку – 1: 1: 3 [4, 5]. Консервуючий ефект під час сушіння досягається за рахунок зниження природної вологості та уповільнення процесів розвитку мікрофлори в сушених матеріалах. Одним із важливих показників, який характеризує технологічні властивості плодовоовочевої сировини для одержання пектино- і каротиновмісних сушених харчових продуктів, є вміст пектинових речовин та кількості каротину. Під час сушіння сировини відбувається концентрація усіх складових частин і утворюється новий продукт тривалого зберігання. Рослинні комбіновані композиції як об'єкти сушіння є складними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. Вони поєднують у собі властивості овочів з багатим мінеральним та вітамінним складом та високими поживними властивостями рослинного білка. Вміст рослинного білка надає їм особливі властивості зі збереженням та кращим засвоюванням каротиноїдів [5].

β-каротин не токсичний і при зависоких дозах, незалежно від способу отримання каротиновмісного продукту чи добавки. Зазвичай, не увесь каротин перетворюється у вітамін А. Залишки каротину є сильним антиоксидантом, як і вітамін Е, захищає ліпіди жирового шару клітин людини [6]. Висока кількість каротину міститься в плодах томатів та гарбуза мускатного. Крім того, гарбуз ще відомий високим вмістом пектинових речовин, що мають значну біологічну активність і використовуються при лікуванні діабету, атеросклерозу, ішемії серця, кишково-шлункових захворювань та мають здатність виводити з організму людини важкі метали (свинець, цинк, молібден і ін.). Пектини підвищують стійкість організму до алергії, нормалізують кількість холестерину, використовуються в якості регуляторів обмінних процесів в організмі людини [7, 8].

Отже, застосування резистентного картопляного крохмалю для інкапсуляції БАР є одним з перспективних напрямів розвитку ринку модифікованого крохмалю.

Предмет – інкапсульований крохмаль.

Метою є дослідження інкапсульованого крохмалю.

Метод та методики досліджень. В якості пористого носія використовували резистентні крохмалі (РК) картопляний та кукурудзяний, отримані за розробленою нами технологією двоциклічного нагрівання [9]. В якості інкапсуляту використовували каротиновмісну сировину – сушені порошки плодів томату та гарбуза мускатного. Порошки томатний та гарбузовий, отримували сушінням нарізаних плодів томатів або гарбуза в конвективній сушарці (дослідний зразок) в Інституті технічної теплофізики НАН України. Сушені шматочки плодів подрівнювали на лабораторному млині та просіювали. Резистентний крохмаль змішували з розчином томатного або гарбузового порошку у співвідношенні як 8:1, 8:2, 8:4. Добре перемішували суміші при температурі 40°C впродовж 5 хв та висушували в конвективній сушарці. Отримані зразки подрівнювали та просіювали. Визначали органолептичні і технологічні показники [5], енергетичну цінність [6] та пористість [4] досліджуваних інкапсульованих крохмалів визначено за стандартними методиками.

Результати досліджень. Застосування резистентного картопляного або кукурудзяного крохмалю для інкапсулювання каротиноїдів як нейтрального носія дозволяє в повній мірі використати функціональний потенціал БАР. Резистентний крохмаль слугує накопичувачем БАР, щільно комплектуючи їх у власну структуру. Підбір оптимального дозування такого компонента є одним із основних питань. Компонуючи пакет розчину модифікованого крохмалю підібрано краще дозування порошку томатного (табл. 1) та гарбузового, як джерела каротино- і пектиновмісних сполук. Органолептичні показники отриманих зразків інкапсульованих крохмалів картопляного та кукурудзяного не відрізняються між собою.

Таблиця 1

Органолептичні показники інкапсульованого крохмалю

Показник	колір		смак		аромат	
	картопля- ний	кукурудзя- ний	картопля- ний	кукурудзя- ний	картопля- ний	кукурудзя- ний
Інкапсульований гарбузовий крохмаль, отриманий співвідношенням РК:ГП як:						
8:1	світло-жовтий		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:2	жовтий		Нижний з легким відчутним присмаком гарбуза		Легкий майже не відчутний	
8:4	яскраво-жовтий		Властивий гарбузу чітко виражений		Інтенсивний, яскравий, властивий гарбузу	
Інкапсульований томатний крохмаль, отриманий співвідношенням РК:ТП як:						
8:1	світло-червоний		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:2	червоний		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:4	яскраво-червоний		Інтенсивний, солодкуватий, властивий томату		Інтенсивний, яскравий, властивий томату	

Результати показують, що за сприйняттям та забарвленням кращі модифіковані крохмалі, отримані зі співвідношенням 8:2. Такі крохмалі відповідають загальноприйнятим принципам інкапсульованого крохмалю.

Встановлення технологічної оцінки інкапсульованого крохмалю сприяє ефективному його зберіганню та ритмічній роботі переробного підприємства. Визначено технологічні показники, які представлено в таблиці 2. Насипна густина є змінною величиною, яка характеризується відношенням маси частинок до одиниці займаного ними об'єму з урахуванням об'єму пор і проміжків між частинками та залежить від: гранулометричного складу, форми частинок, способу їх виробництва і вологості. За насипною густиною оцінюють пористість, що вказує на селективність щодо утримування певних речовин, а саме: чим менші значення насипної густини, тим більшою пористістю характеризується продукт.

Таблиця 2

Показники технологічної оцінки інкапсульованого крохмалю

($p = 0,05, n=3$)

Найменування	Насипна щільність, г/см ³	Сипкість, г/с	Кут дійсного ухилу, °	Коефіцієнт поглинання	Ступінь набухання
Інкапсульований гарбузовий крохмаль	0,612	26,8	38	0,86	0,80
Інкапсульований томатний крохмаль	0,652	27,3	38	0,72	0,80

Вагомим технологічним показником є кут дійсного ухилу, який оцінює форму, розмір і когезійні властивості часток сировини. Встановлено, що для обох зразків кут дійсного ухилу становить $38 \pm 0,2^\circ$. Необхідно зазначити, що граничним значенням цього показника є кут більше 60° , за якого рослинна сировина набуває максимального насичення вологою, що призводить до унеможливлення її транспортування. Це відбувається за рахунок утворення так званих «містків» між частинками подрібнених фракцій. На поверхні розділу «вода – повітря» діють сили поверхневого натягу, які намагаються зменшити площину даної поверхні, тобто стягують «місток». Додаткова сила взаємного натягу частинок виникає внаслідок розрідження, що створюється у водному прошарку внаслідок проникнення вологи у капіляри поверхні інкапсульованого крохмалю.

Значення насипної маси фракцій залежить від щільності, пористості та вологості і впливає на коефіцієнт щільності. Визначено загальну пористість отриманих

інкапсульованих крохмалів, яка становить 55–62%. Відомо, чим менше щільність укладання тим більше пористість маси і об'єм матриці інкапсулянту. Така фракція має найгіршу ступінь поглинання через щільне стискання пор у більш вузьких місцях, що призводить до зменшення їх загального об'єму, збільшуючи тим самим «мертвий» поровий простір та значення питомого опору шару рослинної сировини. Ефективна поверхня контакту адсорбенту з вологою, відповідно, при цьому зменшується.

Високе значення коефіцієнту поглинання та ступеня набухання інкапсульованих крохмалів досягається завдяки збільшенню гідромодуля. Коефіцієнт водопоглинення для інкапсульованого гарбузового крохмалю становить 0,86, інкапсульованого томатного крохмалю – 0,72. Показник ступеня набухання дозволяє розрахувати необхідну введену кількість порошку як добавки з іншими компонентами у харчові продукти швидкого приготування.

За даними щодо вмісту білків, жирів та вуглеводів розраховали поживну цінність інкапсульованого крохмалю (табл. 3).

Таблиця 3

Поживна цінність інкапсульованого крохмалю

Склад, г	Норма *	Крох- маль куку- рудзя- ний*	Крох- маль карто- пляний *	Томат*	ІТК**		Гарбуз*	ІГК**	
					куку- рудзя- ний	кар- топля- ний		куку- рудзя- ний	кар- топля- ний
Харчова (поживна) цінність на 100 г:									
Білки	86	0,1	1,0	14,1	14,2	15,1	8,58	8,68	9,58
жири	132	-	0,6	3	3	3,6	0,56	0,56	1,16
Вугле- води	39	79,6	85,2	43,5	123,1	128,7	65,3	144,9	150,5
Харчові волокна	28	3,81	3,57	0,3	71,3	73,3	3,2	74,2	76,2
Енергетична цінність, кДж		330,81	362,57	1108	1435	1467	1272,1	1599,1	1631,1

*Детальніше: <https://ecolotos.com.ua/ua/p1335238475-tomaty-sushenye-italiya.html>

** ІТК – інкапсульований томатний крохмаль, ІГК – інкапсульований гарбузовий крохмаль

Отже, інкапсульований крохмаль є достатню калорійність. Крім того, такі продукти є перспективними для харчування людей із чутливим травленням. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю.

Висновки. Доведено, що інкапсульований крохмаль збагачують харчові продукти харчовими волокнами та біологічно цінними речовинами томату або гарбуза. За органолептичними показниками визначено, що кращим є співвідношення РК:Г(Т)П як 8:2. Вивчено технологічну характеристику отриманих модифікованих крохмалів та показано, що такі крохмалі мають загальну пористість 55-62%, кут дійсного ухилу $38 \pm 0,2^\circ$, коефіцієнт поглинання 0,76-0,82, гарну ступінь набухання 0,8. Такі продукти добре зберігаються та добре розчиняються у воді. Розраховано поживну (харчову) цінність інкапсульованого крохмалю: кукурудзяний томатний – 1435,0 кДж, картопляний томатний – 1467,0 кДж, кукурудзяний гарбузовий – 1599,1 кДж, картопляний гарбузовий – 1631,1 кДж. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю.

Бібліографія

1. Xiuli Wu, Xiangxuan Yan, Jianwen Zhang, Xuexu Wu, Qing Zhang, Bingqian Zhang Intelligent films based on dual-modified starch and microencapsulated Aronia melanocarpa anthocyanins: Functionality, stability and application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 275. Part. 1, P. 134076 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134076>.
2. Di Zhao, Zhibin Li, Jiayi Xia, Yanxiang Kang, Pingli Sun, Zuobing Xiao, Yunwei Niu Research progress of starch as microencapsulated wall material. *Carbohydrate Polymers*. 2023. Vol. 318, P. 121118. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121118>.
3. Wulff D., Chan A., Liu Q., Gu F.X., Aucoin M.G. Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05294>.
4. Гірман В. В., Мазур О. В., Євтушенко С. Л., Катасонова Н. Г. Методика виконання вимірювань визначення відкритої пористості, удаваної щільності, ефективного об'єму пор і питомої поверхні макухи олійних культур МВВ 24/13-00334882-01: [методичні рекомендації] 2013. Х.: УкрНДІОЖ НААН. 15 с.
5. Sarteshnizi A. R., Hosseini H., Khosroshahi N. K., Shahraz F., Khaneghah A. M., Kamran M., Komeili R., Chiavaro E. Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. *Food Technology and Biotechnology*. 2017. Vol. 55. № 4. P. 475–482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.
6. Махінько, В. М., Махінько Л. В. Розрахункові методики ФАО/ВООЗ для оцінювання якості харчового білка. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. Т. 26, № 4. С. 171–177.
7. Devaraj S. et al. A dose-response study on the effects of purified lycopene supplementation on biomarkers of oxidative stress. *J. Am. Coll. Nutr.* 2008. № 27 (2). P. 267–273.
8. Галат Л. М. Плодоовочева складова у формуванні продовольчої безпеки України. *Агросвіт*. 2020. № 2. С. 89. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agrosvit.info/pdf/2_2020.pdf.
9. Хомічак Л. М., Кузнєцова І. В., Касамара А. С. Дослідження температурного оброблення крохмалю. *Продовольчі ресурси*. 2023. Т. 11. № 20, с. 154–161. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-15>.

References

1. Xiuli, W., Xiangxuan, Ya., Jianwen, Z., Xuexu, W., Qing, Z., Bingqian, Z. Intelligent films based on dual-modified starch and microencapsulated Aronia melanocarpa anthocyanins: Functionality, stability and application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 275. Part 1, P. 134076 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134076>.
2. Di, Z., Zhibin, L., Jiayi, X., Yanxiang, K., Pingli, S., Zuobing, X., Yunwei, N. Research progress of starch as microencapsulated wall material. *Carbohydrate Polymers*. 2023. Vol. 318, P. 121118. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121118>.
3. Wulff, D., Chan, A., Liu, Q., Gu, F. X., Aucoin, M. G. Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05294>.
4. Hirman, V. V., Mazur, O. V., Yevtushenko, S. L., Katasonova, N. H. Metodyka vykonannya vymyriuvan vyznachennia vidkrytoi porystosti, udavanoi shchilnosti, efektyvnoho ob'iemu por i pytomoi poverkhni makukhy oliinykh kultur MVV: metodychni rekomendatsii [Methodology for performing measurements to determine open porosity, apparent density, effective pore volume and specific surface area of oilseed cake MVV 24/13-00334882-01: methodological recommendations] 2013. Kh.: UkrNDIOZh NAAN. [Kh.: UkrNIIIOZh NAAS] 15 p. [in Ukrainian].
5. Sarteshnizi, A. R., Hosseini, H., Khosroshahi, N. K., Shahraz, F., Khaneghah, A. M., Kamran, M., Komeili, R., Chiavaro, E. (2017). Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. *Food Technology and Biotechnology*. Vol. 55. № 4, 475–482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.
6. Makhynko, V. M., Makhynko L. V. Rozrakhunkovi metodyky FAO/VOOZ dlia otsiniuvannia yakosti kharchovoho bilka. [FAO/WHO calculation methods for assessing the quality of food protein] *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*. [Scientific papers of the National University of Food Technologies.] 2020. T. 26, № 4, 171–177. [in Ukrainian].
7. Devaraj S. et al. (2008). A dose-response study on the effects of purified lycopene supplementation on biomarkers of oxidative stress. *J. Am. Coll. Nutr.* № 27 (2), 267–273.
8. Halat, L. M. (2020). Plodoovocheva skladova u formuvanni prodovolchoi bezpeky Ukrainy. [Fruit and vegetable component in the formation of food security of Ukraine.] *Ahrosvit*. [Agrosvit.] № 2, 89. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agrosvit.info/pdf/2_2020.pdf. [in Ukrainian].
9. Khomichak, L. M., Kuznietsova, I. V., Kasamara A. S. (2023). Doslidzhennia temperaturnoho obrobлення krokhmalu [Research of temperature treatment of starch] *Prodovolchi resursy* [Food Resources] T. 11. № 20, 154–161. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-15> [in Ukrainian].