

SECTION 7. TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.3.7.1

7.1 Удосконалення технології пористого крохмалю для інкапсулювання аскорбінової кислоти

Продукти харчування, що містять природні антиоксиданти, ненасичені жирні кислоти, пробіотики, біологічно активні речовини та вітаміни, відіграють важливу роль у загальній концепції збереження здоров'я населення. Вони не лише поповнюють організм людини необхідними поживними речовинами, але й відіграють профілактичну і оздоровчу функції [222]. В умовах складної екологічної ситуації споживачі свідомо обирають харчові продукти, які мають високі харчову і біологічну цінність, подовжений термін зберігання, та позитивно впливають на функціонування організму. Саме тому, інтерес дослідників та компаній змістився до використання у харчових технологіях природних біологічно активних речовин (БАР) з фруктів, овочів, бобових та інших рослинних джерел [223]. Однак багато природних біоактивних інгредієнтів є нестабільними, вони схильні до окиснення, швидкість якого збільшується під впливом світла, тепла, рН середовища та при підвищенні вмісту вологи. Таким чином, харчова промисловість зацікавлена у технологіях захисту і збереження функціональних властивостей БАР та збільшення їх біодоступності під час переробки та зберігання харчових продуктів [224].

Інкапсуляція визначається як процес, при якому крихітні частинки біоактивних речовин вбудовуються в однорідну або гетерогенну матрицю для отримання мікрокапсул. Спосіб інкапсулювання може забезпечити фізичний бар'єр між основною сполукою та іншими компонентами продукту. Таким чином, біологічно активна речовина має захист від кисню, тепла, вологи, світла, окиснення, що дозволяє подовжити її збереженість. У якості матеріалу для мікрокапсул використовують різні класи природних речовин: ліпіди, білки, полісахариди, зокрема крохмаль, модифікований крохмаль, пектин, ацетатцелюлозу, альгінати, хітозан, полідекстрозу та ін. Існує багато вимог до

матеріалів для інкапсулювання, проте основними є такі: вони мають бути недорогими (для отримання економічного продукту), неканцерогенними і не мають містити важкі метали [225, 226].

Крохмаль – це природний полісахарид, який активно використовується у харчовій, фармацевтичній, паперовій, текстильній та інших галузях промисловості. Біохімічні та фізичні зміни, які відбуваються з молекулами крохмалю в ході технологічного процесу приготування продуктів на його основі, значною мірою впливають на консистенцію, структуру та смак готового виробу. 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 [227].

Розроблення нових модифікованих видів крохмалю і вивчення їх фізико-хімічних і структурних властивостей є необхідним для розуміння технологічних особливостей їх використання у харчовій та фармацевтичній промисловості.

У харчовій промисловості відоме використання модифікованого пористого крохмалю для захисту чутливих інгредієнтів, таких як ароматичні олії, мінерали, вітаміни, біоактивні ліпіди [228].

Резистентні види крохмалю були у 1992 р. визначені EURESTA як «сума крохмалю і продуктів деградації крохмалю, які недоступні для ферментації в тонкій кишці». Останніми роками цей вид рослинного крохмалю знаходиться під пильним спостереженням вчених різних країн. Резистентні види крохмалю поєднують функціональні властивості харчових волокон і пребіотиків і виявляють профілактичний ефект у харчуванні людини. Харчові продукти з резистентним крохмалем, підвищують відчуття насичення, краще втамовують голод, що запобігає надлишковому споживанню їжі та, відповідно, знижує ризики ожиріння [229].

Резистентні крохмалі (РК) характеризуються низькою калорійністю. Енергетична цінність різних типів РК знаходиться в межах 1,5-2,5 ккал/г і в розрахунках приймається рівною 1,7 ккал/г. У країнах ЄС згідно директиви

Єврокомісії 2008/100/ЕС прийнято, що енергетична цінність харчових волокон дорівнює 2 ккал/г. Рекомендований рівень споживання складає 3-10 г під час прийому їжі [230].

У якості об'єкта дослідження було обрано модифікований пористий кукурудзяний крохмаль, отриманий шляхом заморожування крохмального клейстеру за певних умов. Утворення пористого крохмалю відбувається в результаті льодоутворення в клейстерах, при цьому формується високорозвинена внутрішня поверхня. У частково зневодненому і сухому стані структура крохмалю подібна до мікрокапсул, що здатні утримувати та зберігати біологічно активні речовини [231].

Метою роботи було розроблення способу отримання модифікованого пористого кукурудзяного крохмалю та дослідження його фізико-хімічних властивостей і можливості використання у якості нейтрального носія для інкапсулювання БАР на прикладі аскорбінової кислоти.

Для дослідження було використано кукурудзяний крохмаль згідно ДСТУ 3976-2000, аскорбінова кислота фірми «Himreagent».

З метою 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 замерзлому стані. Крохмальні молекули гідрофільні, при нагріванні у воді вони здатні збільшуватись у об'ємі в декілька разів, зв'язуючи значну кількість води (близько 1000 % до маси абсолютно сухої речовини). За певної температури полісахариди крохмального зерна переходять у розчин, утворюючи драгледоподібну 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 [232].

Приготування модифікованого крохмалю доцільно проводити так, щоб 5 або 10 %-і водні суспензії повільно замерзали за температур -18°C . При приготуванні дисперсії необхідно уникати сильної механічної дії (струшування, помішування, гомогенізація і т.д.), щоб не зруйнувати набухлі крохмальні зерна. Отриману при відтаванні заморожених зразків пористу масу зневоднювали, витискаючи воду за допомогою гідрофільних спиртів та висушували. Висушування проводили за кімнатної температури, зразки подрібнювали та просіювали. Так, нами було приготовлено пористі крохмалі шляхом заморожування суспензії кукурудзяного крохмалю концентрацією 10 та 5 %.

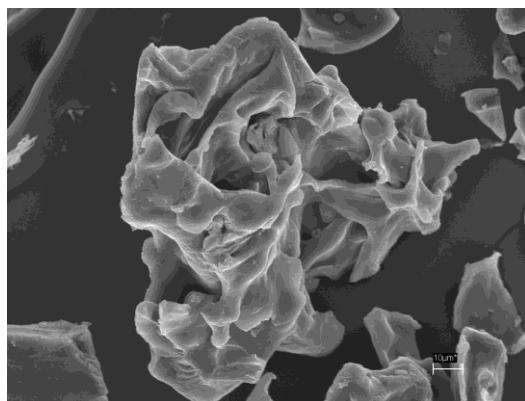
Мікроскопіювання та фотографування зерен модифікованого пористого кукурудзяного крохмалю здійснювали за допомогою скануючого електронного мікроскопу LEO 1420 (Germany).

Резистентність визначали за методикою з використанням препарату «Панкреатин», що містить травні ферменти, за залишковим вмістом редукувальних речовин після ферментативного гідролізу крохмалю. Вміст редукувальних речовин (РР) в перерахунку на глюкозу визначали за допомогою методу з використанням 3,5-динітросаліцилової кислоти [232].

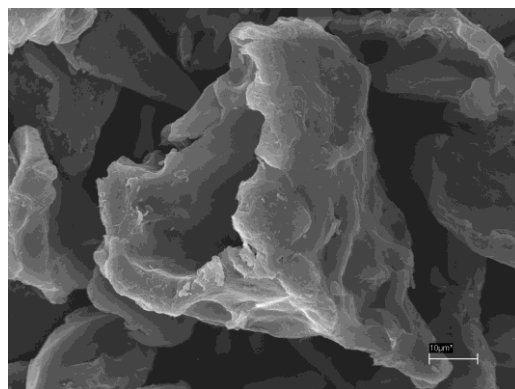
Кількість аскорбінової кислоти інкапсульованої у модифікований крохмаль визначали йодометричним методом. Метод ґрунтується на тому, що аскорбінову кислоту відтитровують йодом у кислому середовищі.

Реакція між аскорбіною кислотою і йодом відбувається еквімолекулярно, тому на окиснення 176 вагових частин аскорбінової кислоти витрачається $2 \cdot 126,92$ вагових частин йоду. Таким чином, 1 см^3 0,1 н розчину йоду окиснює 8,8 мг аскорбінової кислоти [233].

За допомогою скануючої електронної мікроскопії проведено дослідження внутрішньої структури пористого кукурудзяного крохмалю, отриманого з крохмальних клейстерів різної концентрації (рис. 1).



А



Б

Рис. 1. Мікрофотографії кукурудзяного модифікованого крохмалю, отриманого заморожуванням клейстерів різної концентрації: А – 5%, Б – 10%

Мікрофотографії пористого крохмалю дають чітке уявлення про його внутрішню структуру. На відміну від нативного крохмалю модифікований має пористу структуру і набагато більші фракційні частинки, оскільки у ході заморожування–відтавання кристали льоду «розривають» зв'язки між молекулами крохмалю. Це може бути свідченням того, що цей вид крохмалю може бути застосований у якості адсорбенту, або у якості інкапсулюючого агента для різних низькомолекулярних речовин.

Для визначення ступеня резистентності до 2 г досліджуваного крохмалю додавали 10 см³ дистильованої води і 10 см³ розчину препарату «Панкреатин» (готували 100 см³ розчину, що відповідає 4500 амілолітичним одиницям активності), витримували зразки на водяній бані при температурі 37°C протягом 60 хв. Потім відокремлювали рідку фазу від крохмалю, відбирали 1 см³ фільтрату і досліджували на вміст редукувальних речовин (РР) (в перерахунку на глюкозу) за допомогою кольорової реакції з 3,5-динітросаліциловою кислотою. Кількість РР дає уявлення про розщеплення крохмалю травними ферментами протягом години.

Кількість РР (в перерахунку на глюкозу), утворених внаслідок гідролізу модифікованого і нативного видів крохмалю, ферментним препаратом «Панкреатин», визначали методом з 3,5-динітросаліциловою кислотою. Для

визначення кількості РР в досліджуваних зразках використовували калібрувальний графік.

Ступінь резистентності залежить від концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню-відтаванню. Концентрація клейстеру впливає на льодоутворення в системі, оскільки спочатку замерзає вільна вода, а потім зв'язана полісахаридами крохмалю. Залежно від концентрації клейстеру в структурі ретроградованого крохмалю змінюються розміри пор і сорбційні властивості крохмалю. Результати дослідження резистентності кукурудзяного нативного і модифікованого крохмалю представлені на рис. 2.

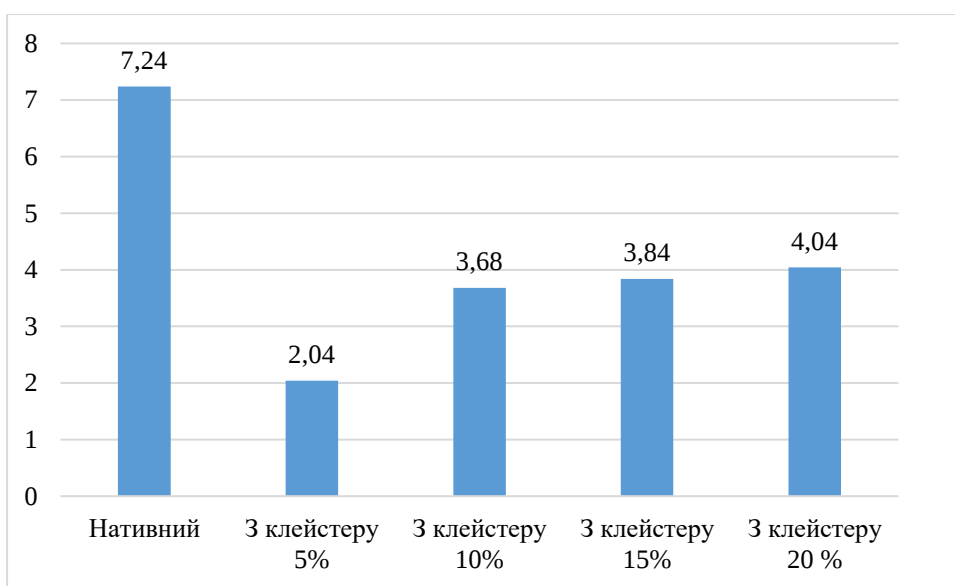


Рис. 2. Вміст РР (в перерахунку на глюкозу) після ферментативного гідролізу пористого крохмалю, отриманого з клейстерів різної концентрації

Отримані результати досліджень показують, що крохмаль, який піддавали модифікації, має більшу стійкість до ферментативного гідролізу порівняно з нативним. Зі зростанням концентрації клейстеру, з якого був приготовлений модифікований РК, зменшується його стійкість до дії ферментів, про що свідчить більша кількість РР після гідролізу ферментами. Модифіковані крохмалі отримані з 5 %-х клейстерів мають більший розмір пор, з підвищенням концентрації крохмальних клейстерів розмір пор зменшується.

Вітамін С (кислота аскорбінова) – важлива біологічно активна речовина, водорозчинний вітамін, який забезпечує нормальне дихання клітин і щільність стінок кровоносних судин, сприяє загоєнню ран, підвищує стійкість організму проти хвороб. Цей вітамін регулює окисно-відновні процеси, вуглеводний обмін, згортання крові, бере участь у регенеруванні тканин і перетворенні холестерину в стероїдні гормони та проколагену в колаген, який є головним позаклітинним компонентом сполучної тканини. Аскорбінова кислота – синергіст гормону кортизону, гонадотропних гормонів, тіаміну, флавоноїдів та антагоніст тироксину.

Аскорбінова кислота покращує ріст і здоровий розвиток клітин, сприяє засвоєнню кальцію організмом. Велика кількість її витрачається організмом в процесі боротьби з хворобою чи інфекцією, а також при загоєнні ран. Вітамін С – один з багатьох відомих антиоксидантів, допомагає організму справлятися з нестабільними хімічними речовинами – вільними радикалами. Людський організм не виробляє вітамін С і не накопичує його, тому дуже важливо включати в щоденний раціон достатню кількість вітаміну С.

Людині необхідно постійно отримувати вітамін С із продуктами харчування або додатково у вигляді добавки до їжі, тому що в організмі він не утворюється. Основною проблемою є дуже швидке витрачання аскорбінової кислоти, а надлишок її повністю виводиться з організму через чотири години. Вітамін С легко руйнується під час теплової обробки речовин, дії світла і вологи, втрачається при неправильній обробці їжі і тривалому зберіганні готових харчових продуктів.

Для дослідження інкапсулювання модифікованим крохмалем аскорбінової кислоти готували по 20 мл суспензій кукурудзяного крохмалю концентрацією 5 і 10%. Клейстеризували в полі надвисокої частоти (НВЧ) і давали охолонути до кімнатної температури. Готували розчини аскорбінової кислоти концентрацією 10, 8, 6, 4, 2% і після охолодження крохмального клейстеру до кожного зразку додавали по 10 мл розчину вітаміну С. Клейстер з аскорбіновою кислотою добре перемішували і заморожували в морозильній камері при температурі -18°C

протягом 24 годин. Потім повільно розморожували при кімнатній температурі і відокремлювали рідку фазу. Вимірювали кількість фільтрату і титрували 0,1 н розчином йоду в присутності індикатора – 1% крохмального клейстеру – до появи синього забарвлення. Збагачений аскорбіною кислотою крохмаль висушували у сушильній шафі при температурі 40°C, подрібнювали і просіювали.

Кількість адсорбованої аскорбінової кислоти X (мг/мл) розраховували за формулою:

$$X = \frac{0.0088 \cdot V_1 T}{V_2},$$

де T – титр йоду; 0,0088 – кількість аскорбінової кислоти, яка окислюється 1 мл розчину йоду, мг; V_1 – об'єм йоду, який пішов на титрування, мл; V_2 – об'єм води, що видалили після розморожування, мл.

Знаючи скільки аскорбінової кислоти в мг було додано до крохмального клейстеру і скільки аскорбінової кислоти перейшло у воду після відтавання клейстеру, розраховали кількість адсорбованої аскорбінової кислоти кріомодифікованим крохмалем у відсотках.

Результати досліджень представлені на рисунку 3.

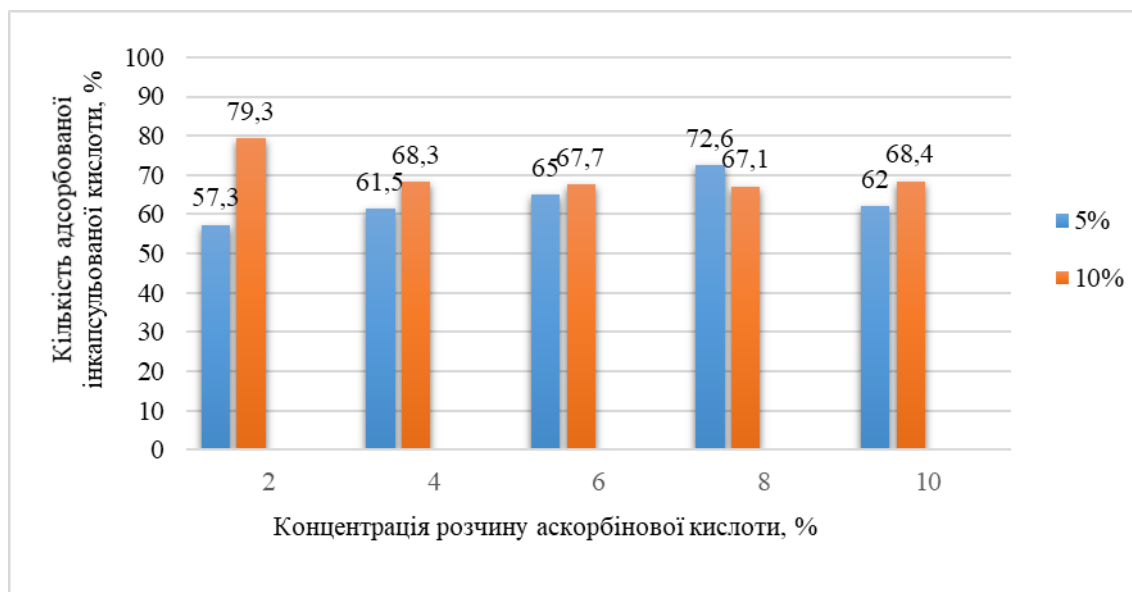


Рис. 3. Залежність кількості адсорбованої пористим крохмалем аскорбінової кислоти від концентрації крохмального клейстеру

Дослідження показали що модифікований крохмаль, отриманий заморожуванням-відтаванням крохмальних клейстерів, здатен інкапсулювати низькомолекулярні речовини, що було доведено на прикладі аскорбінової кислоти. Кількість зв'язаної аскорбінової кислоти залежить від концентрації кукурудзяного крохмального клейстеру з якого був приготовлений модифікований крохмаль. Найбільше аскорбінової кислоти сорбував пористий крохмаль, отриманий з клейстеру концентрацією 10%.

Підсумовуючи, зазначимо, що шляхом глибокого заморожування водних клейстеризованих дисперсій крохмалю низьких концентрацій, отримано модифікований крохмаль, який має пористу структуру і може бути використаний у якості інкапсулюючого агента для БАР.

З отриманих результатів досліджень видно, що завдяки модифікації шляхом заморожування-відтавання крохмального клейстеру, стійкість крохмалю до ферментативного гідролізу підвищується і він може вважатися резистентним. Модифікований резистентний крохмаль, отриманий з кукурудзяного клейстеру концентрацією 5 %, найстійкіший до дії травних ферментів, при його гідролізі за визначених умов утворюється найменша кількість редукувальних речовин.

З отриманих даних бачимо що найбільша кількість інкапсульованої аскорбінової кислоти спостерігається для модифікованого крохмалю отриманого з кукурудзяного клейстеру концентрацією 10%, збагаченого 2% розчином аскорбінової кислоти, найнижча кількість – з клейстеру кукурудзяного крохмалю концентрацією 5% при додаванні 2%-го розчину аскорбінової кислоти.

Інкапсулювання аскорбінової кислоти у полісахаридну матрицю дає можливість підвищити її стійкість до дії високих температур і світла. Використання у рецептурах харчових продуктів порошків пористого крохмалю з інкапсульованою аскорбіновою кислотою, дає змогу розробляти технології харчових продуктів, збагачених БАР, профілактичного і оздоровчого призначення.