

УДК 664.162.1

DOI <https://doi.org/10.37734/2518-7171-2023-2-3>

## МАЛЬТОДЕКСТРИНИ ЯК ПРОДУКТИ БІОКОНВЕРСІЇ КРОХМАЛЮ

**О. М. ДЕМЕНЮК**, кандидат технічних наук, доцент;

**І. В. КАРПОВИЧ**, кандидат технічних наук, доцент  
(Національний університет харчових технологій)

**Анотація.** Сучасними та популярними заміниками жиру у харчових продуктах є мальтодекстрини, які мають широке використання, як в нашій країні, так і за кордоном. Виробництво даних крохмалепродуктів має ускладнене дотримання технологічного режиму, а саме рівномірного ступінчастого прогріву крохмальної суспензії, внаслідок порушення якого можуть втрачатися особливі властивості мальтодекстринів – їх термореверсивність. Актуальним є спрощення температурного режиму зі збереженням властивостей готового продукту.

Метою роботи було дослідження впливу технологічних умов на властивості мальтодекстринів і удосконалення технологічної схеми їх виробництва.

З метою вивчення технологічних умов одержання мальтодекстринів було проведено дослідження ферментативного розріджування суспензії картопляного та кукурудзяного крохмалю концентрацією 30 % за різних температурних режимів з використанням ферментних препаратів бактеріальної  $\alpha$ -амілази різної термостабільності та дозування. Ступінь гідролізу контролювали за величиною глюкозного еквіваленту (ГЕ). Мальтодекстрини, отримані у дослідгах за різних температурних умов, з однаковим показником ГЕ, мають різні властивості, одні здатні утворювати драглі при охолодженні (отримані з витримкою температурних пауз), другі – ні. В ході експерименту було помічено, що ступінчастий підйом температури уповільнює розріджування крохмалю, гідроліз відбувається за умов підвищеної в'язкості.

На основі проведених досліджень, була запропонована технологія з двома температурними паузами по 20 хв за температури 59...60 °C і 90 °C та наступного 30-ти хвилинного термооброблення за 120 °C. В результаті експериментального дослідження даної технології встановлено, що застосування такого температурного режиму під час виробництва мальтодекстринів дає змогу спростити технологію із ступінчастим підйомом температури та при цьому забезпечити отримання продукту високої якості з термореверсивними властивостями. Розроблена технологія за рахунок простоти її реалізації може широко впроваджуватись у промисловість. На основі розробленої технології запропоновано її апаратурно-технологічне оформлення

**Ключові слова:** біоконверсія крохмалю, амілолітичні ферменти, модифікований крохмаль.

### Постановка проблеми в загальному вигляді.

Провідна роль у здоровому харчуванні населення відводиться розробці харчових продуктів пониженої калорійності. Виробництво низькокалорійних продуктів, що намащуються на хліб (спредів) досить складне, пов'язане зі стійкістю емульсії масло-вода, стабільністю у циклах заморожування-відтаювання. Проте інтерес до цих продуктів постійно зростає. Для їх виробництва використовуються драглеутворюючі речовини, вибір яких є вирішальним для забезпечення необхідної стабільності [1]. Більшість з цих речовин мають занадто високу температуру плавлення та надають продуктам непріємного присмаку.

Використання мальтодекстрину з температурою плавлення близькою до температури плавлення натуральних жирів, дає можливість отримувати продукти, що можна намащувати на хліб, які є заміною маргарину та вершкового масла. Калорійність мальтодекстрину в сухому вигляді 17 кДж, що вдвічі менше, ніж жирів. На сьогодні, завдяки нейтральному смаку, мальтодекстрин використовують в якості наповнювача та

носія консистенції у великій кількості харчових продуктів: ковбасних, хлібобулочних і кондитерських виробів, у різноманітних сухих сумішах для спортсменів, дитячого харчування, для морозива, харчоконцентратах супів, киселів, у емульсійних соусах тощо [2, 5]. Саме тому, дослідження структури та властивостей мальтодекстринів і їх використання у харчових технологіях є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Процес конверсії крохмалю, в залежності від технологічних параметрів та використаних каталізаторів, дозволяє одержати різноманітні мальтодекстрини (з глюкозним еквівалентом від 2 до 20 %), які відрізняються за своїми характеристиками і можуть бути використані як харчові добавки різного призначення. Змінюючи дозування ферменту та тривалість реакції гідролізу можна отримувати різні продукти [3]. Мальтодекстрини – продукти без смаку та запаху, які використовуються як наповнювачі та формуючі агенти. Вони мають багаточисленні області застосування в харчовій промисловості:

- як компоненти, які забезпечують максимальне збереження органолептичних властивостей продуктів;
- як компоненти, які забезпечують збереження біологічно активних речовин при різних термічних процесах в харчовій промисловості;
- як компоненти, які забезпечують певні реологічні властивості харчових продуктів на різних стадіях технологічної обробки;
- як компоненти дитячого харчування, і т.п.

Мальтодекстрини отримують шляхом ферментативного гідролізу [1-3, 5] суспензії крохмалю концентрацією 25...30 % СР за умов рН 6,3...6,5 і температури 55...60 °С бактеріальною  $\alpha$ -амілазою. Фермент дозують з розрахунку 0,5 од. ак./г СР крохмалю. Температуру підвищують до 85 °С і витримують 30 хв для клейстеризації і розріджування крохмалю, потім температуру швидко підвищують до 100 °С. Зернові крохмалі обробляють за температури 130...140 °С протягом 5...10 хв. Потім температуру знижують знову до 85 °С і в частково розріджений крохмаль дозують фермент (0,2 од. ак./г). Процес продовжують до досягнення в продукті заданого вмісту редукувальних речовин. Наприклад, через 1 год вміст редукувальних речовин складає 10...12 %, через 2 год – 15...16 %. Змінюючи тривалість реакції або дозування ферменту, можна одержувати різноманітні мальтодекстрини з ГЕ 11...20 %.

Відомо [4, 5], що в залежності від величини глюкозного еквіваленту якість мальтодекстринів дуже змінюється. Мальтодекстрини з ГЕ нижче 11 % мають тенденцію до ретроградації у гідролізатах. При ГЕ 15 % і вище з'являється солодкість і зменшується в'язкість. Гідролізат центрифугують або фільтрують, очищають активним вугіллям і іонообмінними смолами, концентрують, висушують у розпилювальній сушарці.

В Польщі [3] мальтодекстрини виробляють з картопляного крохмалю з наступним висушуванням в розпилювальній або вальцевій сушарці. Крохмальну суспензію піддають кислотно-ферментативному або ферментативному гідролізу. Процес гідролізу проводять в дві технологічні стадії: на першій регулюється рН крохмальної суспензії, потім її нагрівають до 80...85 °С в присутності  $\alpha$ -амілази, підвищують температуру до 130...140 °С. На цьому етапі крохмаль повністю клейстеризується і частково розріджується. На другій стадії гідроліз продовжують при температурі і рН, оптимальних для даного ферменту до досягнення необхідної величини глюкозного еквіваленту.

Таким чином, саме температурний режим проведення ферментативної конверсії крохмалю впливає на властивості мальтодекстринів, які він виявляє у харчових системах [4, 6-7].

### Формування цілей статті.

Метою роботи було дослідження впливу технологічних умов на властивості мальтодекстринів і удосконалення технологічної схеми їх виробництва.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Технологія мальтодекстринів базується на керованому ферментативному гідролізі картопляного або кукурудзяного крохмалів бактеріальною  $\alpha$ -амілазою [6, 7]. Оскільки бульбові та зернові крохмалі мають відмінності у співвідношенні амілози і амілопектину, типі кристалічності, температурах набрякання і клейстеризації, важливим було дослідити процес ферментативного розріджування як кукурудзяного, так і картопляного крохмалю [8].

З метою вивчення технологічних умов одержання мальтодекстринів було проведено дослідження ферментативного розріджування суспензії картопляного крохмалю концентрацією 30 % за різних температурних режимів з використанням ферментних препаратів бактеріальної  $\alpha$ -амілази різної термостабільності (звичайної та з підвищеною термостабільністю) фірми Gamazum (Німеччина) у різних дозуваннях. Ступінь гідролізу контролювали за величиною глюкозного еквіваленту (ГЕ) [2].

Гідроліз проводили при поступовому підвищенні температури із застосуванням  $\alpha$ -амілази Gamalpha 600L з оптимумом температури 60–65 °С при дозуванні її 0,75 та 0,1 одиниць амілолітичної активності на 1 г сухих речовин крохмалю (од. ак./г СР) та термостабільної  $\alpha$ -амілази Spezyme Fred при дозуванні 0,4 та 0,1 од.ак./г СР. З одержаних результатів (рис. 1) видно, що хід процесу залежить від дозування ферментного препарату та його термостабільності. Поступове підвищення температури починали від 50 °С. При збільшенні дозування ферменту та поступовому підвищенні температури, збільшується швидкість розріджування крохмалю, та досягаються більш високі значення глюкозного еквівалента (20...25 %). За умов використання термостабільного ферменту Spezyme Fred (оптимум температури 95 °С) розріджування картопляного крохмалю відбувається інтенсивніше із досягненням вищих значень ГЕ, особливо при підвищенні температури до оптимальної для даного ферменту. Збільшення його дозування також підвищує ефективність процесу. Проте, якщо порівнювати із бактеріальною  $\alpha$ -амілазою (0,75 од.ак./г), яка має оптимум дії за температур 60–70 °С, більш високий ступінь розріджування досягається за значно менших витрат термостабільного ферменту (0,4 од.ак./г) (рис. 1, криві 1, 2). Для отримання продуктів гідролізу з ГЕ в межах 5...8 % достатньо додавати 0,4–0,5 од.ак./г СР крохмалю термостабільного ферменту. В ході дослідження було помічено, що швидкість, з якою

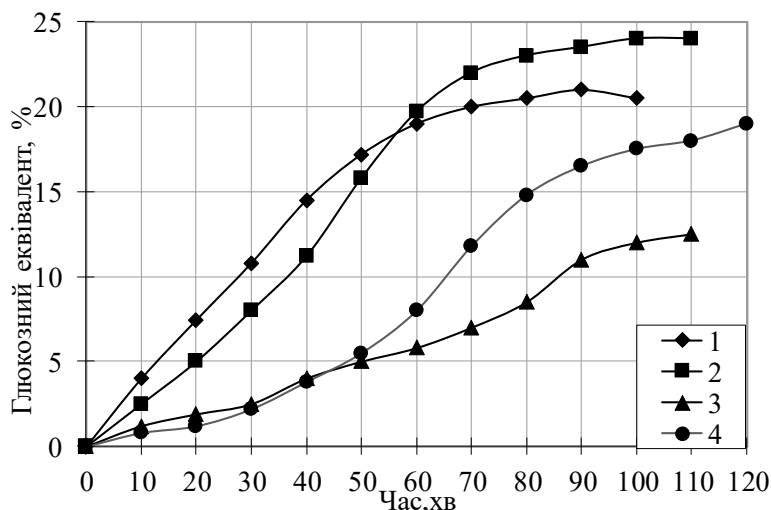


Рис. 1. Кінетика ферментативного гідролізу картопляного крохмалю за умов різного дозування  $\alpha$ -амілази: 1, 3 – відповідно 0,75 та 0,1 од.ак./г СР; 2, 4 – термостабільної  $\alpha$ -амілази – 0,4 та 0,1 од.ак./г СР

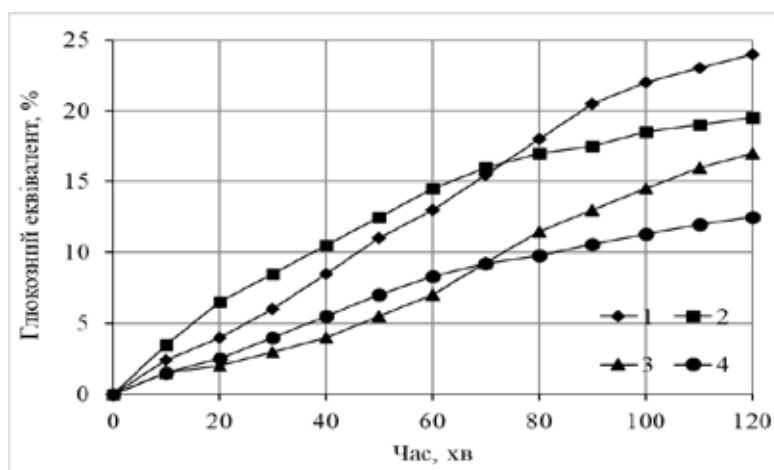


Рис. 2. Кінетика розріджування картопляного крохмалю за різних температурних умов проведення процесу та дозування ферменту, од.ак./г: при поступовому збільшенні температури: 1 – 0,5, 3 – 0,1; при витримуванні температурних пауз: 2 – 0,5, 4 – 0,1

відбувається розріджування впливає на якість гідролізату. При цьому змінюється прозорість та глюкозний еквівалент розрідженого продукту. Оскільки на швидкість розріджування за однакових концентрацій та дозування ферменту впливає температурний режим проведення процесу, було вирішено дослідити вплив різних температурних умов розріджування на якість гідролізатів.

З метою дослідження цього впливу було проведено серію дослідів по розріджуванню суспензії картопляного крохмалю із застосуванням різних температурних режимів. Готували по два зразки крохмальної суспензії (30 % СР) з різним дозуванням ферменту. У підготовлені зразки суспензії додавали препарат бактеріальної  $\alpha$ -амілази в кількості 0,1 та 0,5 од.ак./г СР крохмалю. Два зразки з різним дозуванням термостабільної  $\alpha$ -амілази розріджували при поступовому підвищенні

температури, починаючи від 50 °C зі швидкістю підйому 3 °C за 10 хв. Інші два зразки – з витримуванням температурних пауз тривалістю 15 хвилин при 59 °C та по 5 хв. при 63,5, 65 та 68 °C, підігріванням маси до 90 °C (зі швидкістю 1,5 °C за хвилину) та витримуванням протягом 15 хв. Кип'ятили гідролізати для коагуляції білку впродовж 5 хвилин, фільтрували та охолоджували. В процесі розріджування визначали глюкозний еквівалент, за зміною якого побудовано криві гідролізу, що представлені на рис. 2. Криві 1, 3 (рис. 2) відповідають процесу, що проводився з повільним підвищенням температури (3 °C за 10 хв.). Криві 2, 4 (рис. 2) ілюструють процес, який проводили з витримуванням температурних пауз. Мальтодекстрини, отримані у досліді за різних температурних умов, з однаковим показником ГЕ, мають різні властивості, одні здатні

утворювати драгли при охолодженні (отримані з витримкою температурних пауз), другі – ні. В ході дослідження було помічено, що ступінчастий підйом температури уповільнює розріджування крохмалю, гідроліз відбувається за умов підвищеної в'язкості.

Для дослідження зміни в'язкості в процесі розріджування крохмалю за різних умов використовували ротаційний віскозиметр «Реотест 2». У суспензію картопляного крохмалю додавали бактеріальну термостабільну  $\alpha$ -амілазу у кількості 0,5 од.ак./г СР і визначали в'язкість в процесі розріджування з поступовим підйомом температури, та з витримкою температурних пауз (рис. 3).

Як можна спостерігати на графіку, при поступовому підйомі температури крива (2) не має вираженого піка в'язкості. При витримванні температурних пауз процес гідролізу уповільнюється і відбувається в умовах підвищеної в'язкості. Витримання температурних пауз за температур нижчих ніж температура клейстеризації картопляного крохмалю сприяє проходженню часткового гетерогенного гідролізу в гідратованих, але не клейстеризованих зернах крохмалю.

В проміжку температур 65...68°C в'язкість найбільша (крива 1) проте при витримванні останньої паузи за температури 68 °C вона швидко спадає. Кінцева в'язкість гідролізату значно нижча за в'язкість суспензії у попередньому випадку. Такі зміни в'язкості при підйомі температури з витриманням пауз пояснюють специфічний перебіг ферментативної реакції не лише в гомогенній фазі, але й у гетерогенній, що сприяє визначеному розподілу молекул за розміром у гідролізатах і обумовлює їх драглеутворювальні властивості.

Картопляний крохмаль внаслідок має вдвічі вищу ціну за кукурудзяний крохмаль. Для повної

клейстеризації зерен кукурудзяного крохмалю необхідно проводити оброблення отриманого продукту під тиском впродовж 5 хв за температури 140 °C. Внаслідок того, що кукурудзяний крохмаль має більш високу температуру клейстеризації, порівняно з картопляним (68...70 °C), близьку до оптимальної температури термостабільної  $\alpha$ -амілази, розріджування крохмалю відбувається без різкого підвищення в'язкості. Для зменшення собівартості мальтодекстрину нами проводились досліді по використанню в якості сировини для його виробництва кукурудзяного крохмалю.

Проте, мальтодекстрин з кукурудзяного крохмалю, в зв'язку з особливістю його будови, утворює драгли відмінної структури, що мають мазку пастоподібну консистенцію порівняно з мальтодекстрином із картопляного крохмалю. Змішуючи картопляний та кукурудзяний крохмалі у співвідношенні 3 : 1 за вмістом сухих речовин вдалося уникнути різкого підвищення в'язкості суспензії в процесі гідролізу та отримати продукти, що мають властивості подібні до мальтодекстринів з картопляного крохмалю (здатні формувати стійкі термореверсивні драгли).

Зкоагульований білок після витримання гідролізату за температури 90 C та рН 3,5 для інактивації ферменту, відокремлювали сепаруванням та декантацією. Отриманий продукт висушували у розпилювальній сушарці за температури 120...140 °C. Таким чином, отримували мальтодекстрини з ГЕ від 3 до 13 %. Продукт можна використовувати у вигляді драглів, що утворюються при охолодженні гідролізату, або у вигляді порошку, отриманого висушуванням у розпилювальній сушарці. На мікрофотознімках, зроблених за допомогою скануючого електронного мікроскопу

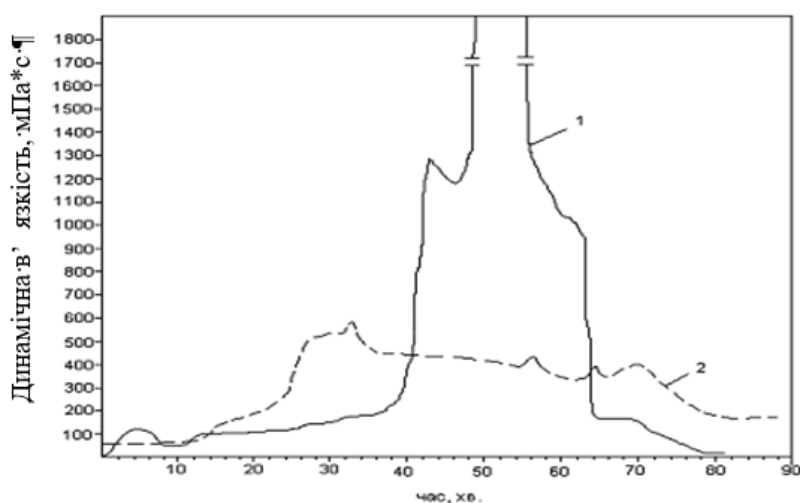


Рис. 3. Зміна динамічної в'язкості суспензії картопляного крохмалю в процесі ферментативного розріджування: 1 – при ступінчастому підйомі температури; 2 – при поступовому підйомі температури

LEO 1420 (Germany) (рис. 4), показано форму частинок мальтодекстрину, висушеного у розпилювальній сушарці.

Нами розроблено технологію мальтодекстрину з низьким глюкозним еквівалентом (5...10 %), яка полягає у ферментативній конверсії суспензії крохмалю концентрацією 30 % сухих речовин під дією  $\alpha$ -амілази (у кількості 1,0 од. ак./г СР крохмалю) до декстринів різної молекулярної маси з додержанням спеціального температурного режиму: із застосуванням поступового підігріву крохмальної суспензії з двома температурними

паузами по 20 хв за температури 59...60 °С і 90 °С та наступного 30-ти хвилинного термооброблення при 120 °С, кислотної інактивації ферменту, нейтралізації кислоти, очищенні гідролізату за допомогою мінерального адсорбенту, сепаруванні, випарюванні та висушуванні мальтодекстрину.

На основі розробленої технології запропоновано її апаратурно-технологічне оформлення (рис. 5).

В якості жирозамінників можуть використовуватись низькоцукрені продукти гідролізу крохмалю з ГЕ 2...3 %. Ферментативна модифікація

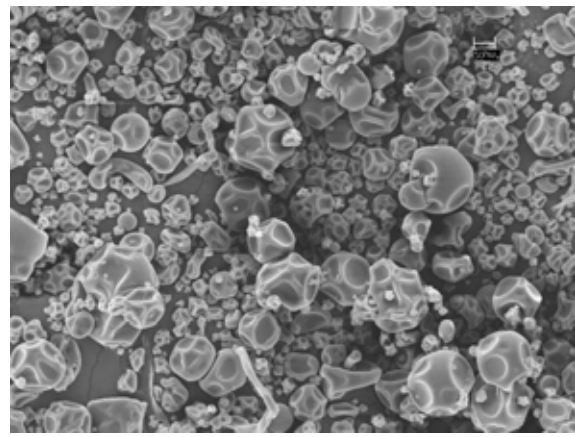
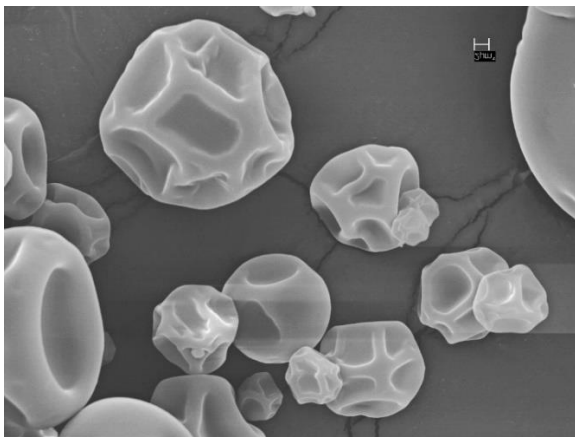


Рис. 4. Мікрофотознімки частинок мальтодекстрину

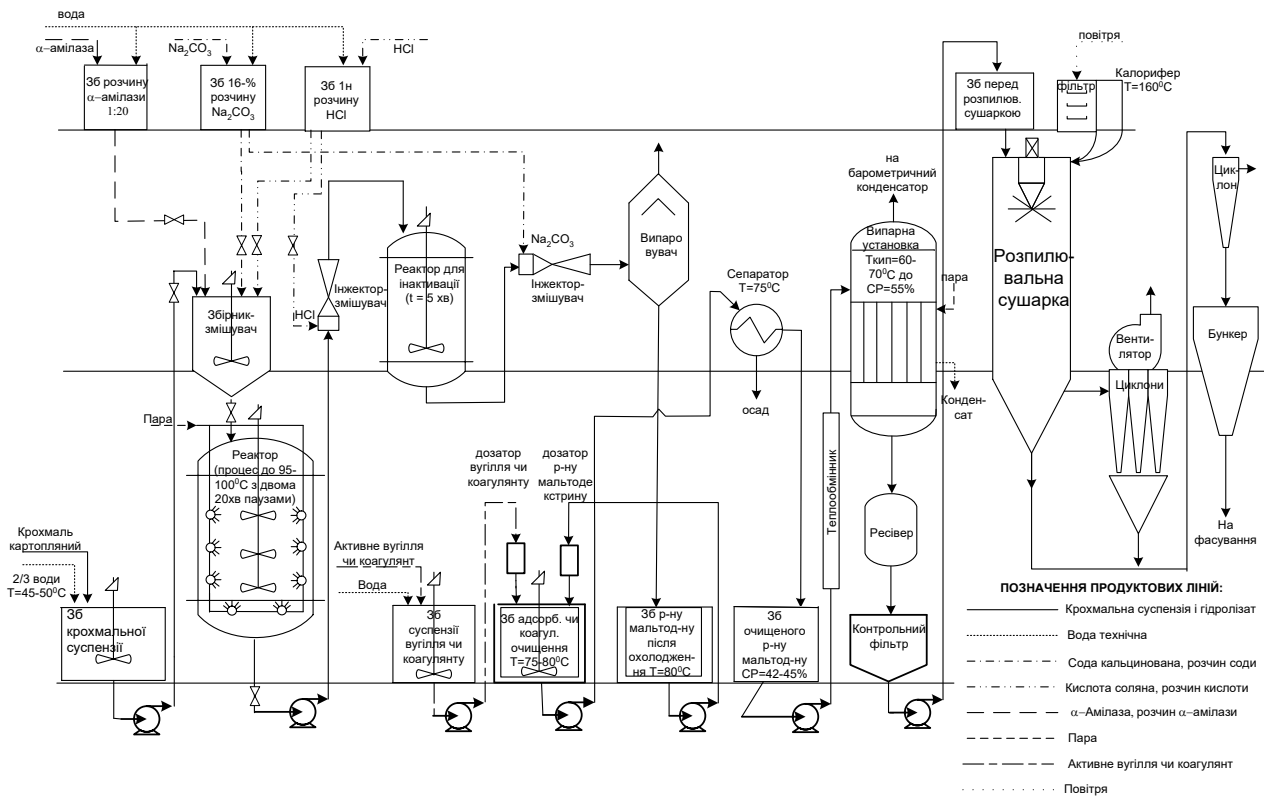


Рис. 5. Технологічна схема виробництва мальтодекстрину

дозволяє знижувати в'язкість клейстерів та сприяє утворенню драглів, що мають міцність не менше 25 г протягом 24 год при 4 °С. Гідроліз проводили наступним шляхом. Суміш крохмальної суспензії з ферментом при оптимальному значенні рН швидко нагрівали до температури більшої за температуру клейстеризації крохмалю. По досягненні необхідної в'язкості рН сиропу знижували до 2 для інактивації ферменту та витримували 10 хв, після чого рН знову підвищували. Потім гідролізат пропарювали парою до повного розчинення крохмалю та інактивації ферменту.

Отриманий продукт має глюкозний еквівалент 2...3 %, міцність драглів 192...427 г. Він не утворює термореверсивні драгли, проте може застосовуватись для часткової заміни жиру в таких продуктах, як маргарин, морозиво, соуси до салатів, креми для тортів.

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Отже, в результаті експериментального дослідження розробленої технології встановлено, що застосування запропонованого температурного режиму під час виробництва мальтодекстринів дає змогу спростити технологію із ступінчастим підйомом температури та при цьому забезпечити отримання мальтодекстринів високої якості з термореверсивними властивостями. Розроблена технологія мальтодекстринів за рахунок простоти її реалізації може широко впроваджуватись у промисловість. Запропоновано її апаратурно-технологічне оформлення. З метою здешевлення крохмалепродукту та збереження при цьому термореверсивних властивостей рекомендовано змішування кукурудзяного та картопляного крохмалю у співвідношенні 1 : 4.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Quintero J.A. et al. Analysis and characterization of starchy and cellulosic materials after enzymatic modification. *DYNA*. 2016. Vol. 83. № 197. P. 44-51. DOI: 10.15446/dyna.v83n197.42729.
2. Li Z. et al. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food hydrocolloids*. 2015. № 48. P. 189-196. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.02.030.
3. Bangar S.P. et al. Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. *Carbohydrate Polymers*. 2022. № 287. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.119265.
4. Ahmad I. et al. Microstructural study of enzymatically and non-enzymatically hydrolyzed potato powder. *Journal of food processing and preservation*. 2022. Vol. 46. № 11. DOI: 10.1111/jfpp.16998.
5. Mohamed A. et al. Physicochemical properties of enzymatically modified starches. *Processes*. 2021. Vol. 9. № 12. DOI: doi.org/10.3390/pr9122251.
6. Mondal S. et al. Microbial amylase: old but still at the forefront of all major industrial enzymes. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*. 2022. № 45. DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102509.
7. Alqah H. et al. Effect of annealing and  $\alpha$ -amylase extract on the rheological properties, syneresis, and water holding capacity of different starches. / *Food science and technology*. 2022. № 42. DOI:10.1590/fst.83821.
8. Zhong Y. et al. Generation of short-chained granular corn starch by maltogenic  $\alpha$ -amylase and transglucosidase treatment. *Carbohydrate polymers*. 2021. № 251. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.117056.

### REFERENCES

1. Quintero J.A., Dávila J.A., Moncada J., Giraldo O.H., & Cardona C.A. (2016). Analysis and characterization of starchy and cellulosic materials after enzymatic modification. *DYNA*. 83 (197), 44-51.
2. Li Z., Liu W., Gu Z., Li C., & Hong Y. (2015). The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food hydrocolloids*. 48, 189-196.
3. Bangar S.P., Ashogbon A.O., Singh A., Chaudhary V., & Whiteside W.S. (2022). Enzymatic modification of starch: A green approach for starch applications. *Carbohydrate polymers*. 287. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>.
4. Ahmad I., Xiong Z., Hanguo X., Lyu F., Aadil R.M., Khalid N. & et al. (2022). Microstructural study of enzymatically and non-enzymatically hydrolyzed potato powder. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46 (11). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jfpp.16998>.
5. Mohamed A., Alqah H., Alamri M., Hussain S., Qasem A., Ibraheem M. & et al. (2021). Physicochemical properties of enzymatically modified starches. *Processes*. 9(12). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/pr9122251>.
6. Mondal S., Mondal K., Halder S.K., Thakur N., & Mondal K.C. (2022). Microbial Amylase: Old but still at the forefront of all major industrial enzymes. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*. 45. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102509>.
7. Alqah H., Alamri M.S., Mohamed A.A., Hussain S., Qasem A.A., Ibraheem M.A. & et al. (2022). Effect of annealing and  $\alpha$ -amylase extract on the rheological properties, syneresis, and water holding capacity of different starches. *Food science and technology*. 42. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/fst.83821>
8. Zhong Y., Keeratiburana T., Kirkensgaard J.J.K., Khakimov B., Blennow A., & Hansen A.R. (2021). Generation of short-chained granular corn starch by maltogenic  $\alpha$ -amylase and transglucosidase treatment. *Carbohydrate polymers*. 251. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117056>.

**O. Demenyuk**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (National University of Food Technologies, Kyiv); **I. Karpovych**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (National University of Food Technologies, Kyiv) **Maltodextrins as products of starch bioconversion**

**Abstract.** Modern and popular fat substitutes in food products are maltodextrins, which are widely used both in our country and abroad. The production of these starch products requires strict compliance with the technological regime, namely it requires uniform stepwise heating of the starch suspension, as a result of violation of which the special properties of maltodextrins – their thermoreversibility – may be lost. It is important to simplify the temperature regime while preserving the properties of the finished product.

The aim of the work was to study the influence of technological conditions on the properties of maltodextrins and to improve the technological scheme of their production.

In order to study the technological conditions for the production of maltodextrins, a study of the enzymatic hydrolysis of a suspension of potato and corn starch with a concentration of 30% under different temperature regimes using enzyme preparations of bacterial  $\alpha$ -amylase of different thermal stability and dosage was carried out. The degree of hydrolysis was monitored by the value of glucose equivalent (GE). Maltodextrins obtained in experiments under different temperature conditions, with the same GE, have different properties, some are able to form gels upon cooling (obtained with temperature pauses), others are not. In the course of the experiment, it was observed that a gradual rise in temperature slows down the liquefaction of starch, hydrolysis occurs under conditions of increased viscosity.

Based on the conducted research, proposed a technology with two temperature pauses of 20 minutes each at temperatures of 59...60 °C and 90 °C and the next 30-minute heat treatment at 120 °C. As a result of an experimental study of this technology, it was established that the use of such a temperature regime during the production of maltodextrins makes it possible to simplify the technology with a stepwise increase in temperature and at the same time ensures the production of quality product with thermoreversible properties. Due to the simplicity of its implementation, the developed technology can be widely implemented in industry. On the basis of the developed technology, its hardware and technological design is proposed

**Key words:** bioconversion of starch, amylolytic enzymes, modified starch.