

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДГОТОВКИ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ ДО ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ

Сучасні крохмале-патокові підприємства країн СНД виробляють крохмальну патоку та кристалічну гідратну глюкозу за допомогою гідролізу крохмалю, видаленого відповідно з кукурудзи, картоплі, пшениці. До недавнього часу гідроліз проводили за допомогою мінеральних кислот, які, крім крохмалю, гідролізують білки та жири. В традиційних процесах гідролізу підлягає крохмаль, що містить небагато розчинних речовин та білка. У разі підвищення вмісту цих домішок виникають певні ускладнення в проведенні технологічного процесу.

Промислове видалення крохмалю складається з ряду операцій: замочування зерна, подрібнення, видалення зародка, дрібного помолу кашки, ситкування та сепарування крохмале-білкової суспензії. Набагато ефективніше гідролізувати безпосередньо сировину, скорочуючи стадії видалення крохмалю.

З літератури відомо, що розробленням способів гідролізу крохмалевмісної сировини вчені почали займатись досить давно [1, 3]. Дослідження вчених свідчать [2, 3], що отримати крохмалепродукти одноступеневим гідролізом сировини мінеральними кислотами можна за допомогою простої схеми виробництва, проте це пов'язано з труднощами, яких досі уникнути не вдавалось. Використання для гідролізу соляної кислоти каталізує розклад багатокomпонентної системи сировини, і отриманий гідролізат має високий вміст продуктів розкладу та набуває неприємного смаку. Очищення таких продуктів, навіть за допомогою іонообміну, не дає бажаних результатів. Продукти розкладу протеїну утворюють з цукрами дуже забарвлені сполуки, які ускладнюють процеси ферментативного оцукрювання та очищення гідролізатів. Тому отримати якісні продукти безпосередньо з кукурудзяної сировини було неможливо.

Досягти того, щоб крохмаль, що міститься в сировині у зв'язаному стані, був повністю гідролізований і при цьому частина інших компонентів не була зачеплена, виявилось можливим при використанні ферментів як каталізатора гідролізу. Добором ферментів та зміною режиму гідролізу можна досягти вибіркової дії ферментів на крохмаль. Ферментативний гідроліз сировини здатен замінити технологічні операції видалення крохмалю, а більшість домішок видалається простим фільтруванням суспензії.

© О.В. Грабовська, І.В. Кузнєцова, Н.І. Штангєєва, Л.М. Мельник, 2002

У завдання дослідження входило забезпечити максимальне вивільнення крохмалю при мінімальному розщепленні білків та оцукрювання його з метою отримання цукристих сиропів. Щоб розробити основи технології, потрібно вирішити ряд питань, пов'язаних з підготовкою сировини для прямого гідролізу, обґрунтувати та дослідити основні етапи процесу.

Використання для прямого гідролізу кукурудзяної крупи, яку виробляють борошнопереробні підприємства, є ефективним завдяки попередньому видаленню зародка та оболонки сухим способом. Зародок містить основну частину жиру, що є у зерні кукурудзи, а наявність жиру в гідролізаті інгібує дію амілаз. Крупу часто виготовляють пересушеною з масовою часткою вологи 9...11 %. Наслідком пересушування крупи, а також використання високих температур є денатурація білка та клейстеризація зерен крохмалю, що унеможливує вивільнення їх у процесі перероблення. Проте цей крохмаль можна успішно оцукрювати прямим гідролізом кукурудзи за наявності ферменту.

З урахуванням цих факторів були проведені дослідження впливу попередньої підготовки кукурудзяної крупи на кінетику ферментативного гідролізу. При цьому контролювали перехід сухих речовин у замочувальну воду, рН середовища та вміст зв'язаного крохмалю у сировині після ретельного його видалення за допомогою методу "заводу на столі" [5]. Розчинність білкових речовин кукурудзи визначали за оригінальною методикою [4] — за змінами оптичної густини екстракту, осадженого фосфорно-вольфрамовою кислотою. Вміст редукувальних речовин визначали за методом Вільштеттера та Шудля [5].

Зазвичай у виробництві крохмалю замочують ціле кукурудзяне зерно впродовж двох діб, хоча відомо, що процеси набухання та пом'якшення зерна відбуваються швидше при замочуванні подрібненого зерна [1, 2]. Проте під час подрібнення сировини вивільняється багато крохмалю, який потім переходить у екстракт. Це призводить до підвищених втрат крохмалю та погіршення якості екстракту. В нашому випадку подрібнення зерна потрібне для прискорення його набухання та вивільнення крохмалю з білкової матриці. Підготовку сировини, яка складається з подрібнення та замочування крупи, проводять для вида-

лення частини розчинних речовин, пом'якшення зерна та поліпшення доступу ферменту до зерен крохмалю.

На попередньому етапі було розглянуто декілька способів підготовки кукурудзяної крупи з видаленим зародком. Для дослідів готували суспензію з тонко подрібненої кукурудзяної крупки та води у співвідношенні 1:3. На замочування ставили три проби суспензії з додаванням у першу сірчистої кислоти до об'ємної концентрації 0,026 % в перерахунку на газ SO<sub>2</sub>, у другу — кислоти протеази, у третю пробу реагент не додавали. Підтримували оптимальну температуру замочування зерна 50...52 °C [1, 2]. Визначали перехід сухих речовин у екстракт під час підготовки сировини та гідролізу з використанням ферментів (рис. 1).

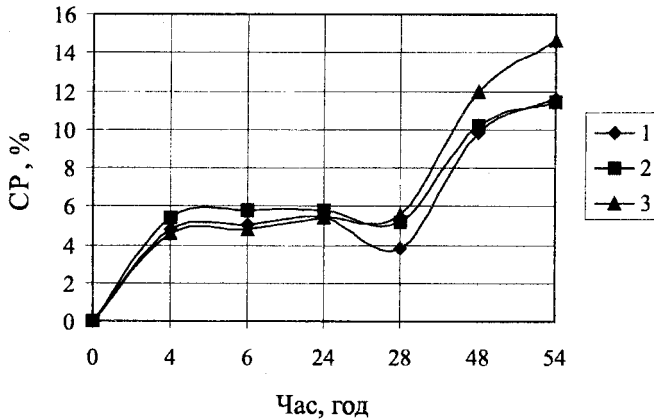


Рис. 1. Залежність масової частки сухих речовин в екстракті від тривалості процесу та умов замочування кукурудзяної крупки: 1 — з сірчистою кислотою; 2 — з протеазою; 3 — з водою

Подрібнену кукурудзяну крупку замочували протягом 24 год, періодично додаючи у першу пробу сірчисту кислоту для підтримання її концентрації на початковому рівні. Через 4 та 6 год заміняли частину замочувальної води свіжою порцією екстрагенту. Після 24 год з усіх проб злили екстракт і залили свіжу воду для промивання та додаткового видалення розчинних речовин. Підготовлену сировину після видалення промивної води гідролізували за схемою подвійного ферментативного гідролізу [2], щоб оцінити ефективність замочування. Таким чином, весь процес можна розділити на декілька етапів: замочування з різними екстрагентами (24 год), промивання водою (4 год), розрідження  $\alpha$ -амілазою (20 год), оцукрювання глюкоамілазою (6 год). З графіків видно, що сухі речовини зерна інтенсивніше переходять в екстракт у пробі 2 з використанням протеази. Проте після промивання крупки чистою водою більше видалилось сухих речовин з проби 1, де використовувалась сірчиста кислота. Впродовж гідролізу картина змінюється. Найефективніше сухі речовини переходять у розчин у пробі 3, де для замочування використовували воду. Крім сухих речовин, у замочувальній рідині визначали вміст розчинного білка. На рис. 2 наведено криві, які описують зміни оптичної густини екстракту в процесі замочування та гідролізу крупки. Змішування розчинів екстракту та фосфорно-вольфрамової кислоти зменшує оптичну густину суміші тим більше, чим вище вміст білка в екстракті. Пояснюється це тим, що частина фосфорно-вольфрамової кислоти зв'язується з білком і потім видаляється під час фільтрування, внаслідок чого її концентрація у розчині, а відповідно й оптична густина зменшуються порівняно з вихідним розчином фосфорно-вольфрамової кислоти. Таким чином, було отримано залежність розчинності білків та переходу їх у екстракт від тривалості замочування за різних умов (рис. 2).

На початку замочування білки розчиняються і переходять в екстракт інтенсивно, потім швидкість падає, а після промивання водою (через 28 год) та впродовж гідролізу

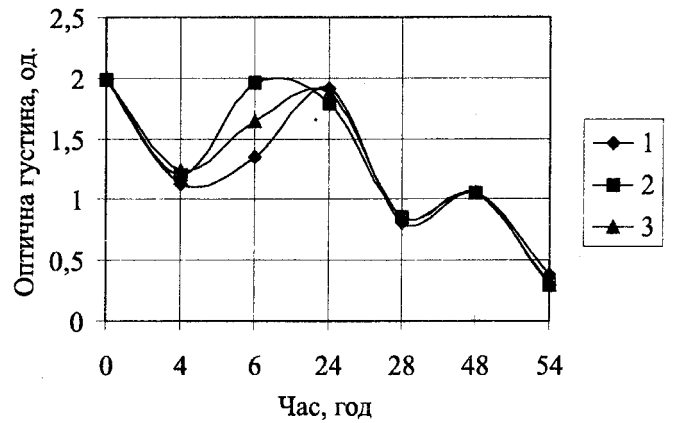


Рис. 2. Залежність оптичної густини від тривалості процесу та умов замочування сировини: 1 — з сірчистою кислотою; 2 — з протеазою; 3 — з водою

в усіх трьох пробах кількість розчинного білка в екстракті майже однакова. Вона збільшується під кінець процесу внаслідок гідролізу зерен крохмалю та ослаблення зв'язків у білковій матриці. Проте слід відмітити більш ефективне видалення білка на початку замочування в пробі 3 з використанням сірчистої кислоти, що підтверджує відомий факт руйнівної дії цієї кислоти на білкові речовини [1, 2]. Проаналізувавши отримані результати (рис. 1, 2), ми зробили висновок, що процес замочування можна скоротити до 6 год.

Вплив умов попередньої підготовки сировини на кінетику ферментативного гідролізу оцінювали за зростанням глюкозного еквівалента (ГЕ) впродовж процесу. Дані досліджень наведено на рис. 3.

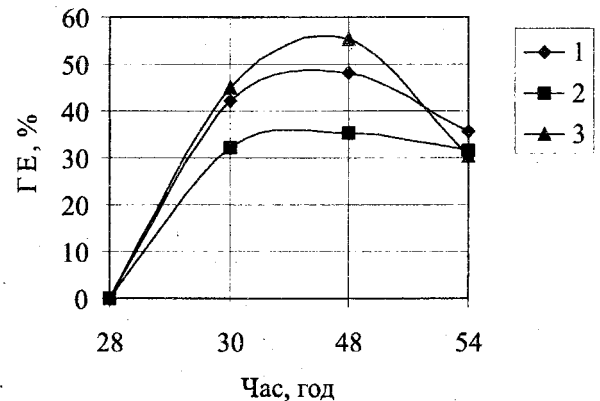


Рис. 3. Зміна глюкозного еквівалента впродовж ферментативного гідролізу залежно від умов підготовки сировини: 1 — з сірчистою кислотою; 2 — з протеазою; 3 — з водою

Як видно з рис. 3, ГЕ в процесі розрідження та оцукрювання сировини підвищується інтенсивніше за умов набухання кукурудзяної крупки у воді. Ймовірно, що залишки сірчистої кислоти та протеази можуть інгібувати дію амілаз і таким чином знижувати ефективність процесу гідролізу. Зниження ГЕ в кінці процесу пов'язане із заміною частини гідролізату чистою водою з додаванням нової порції ферменту.

Масова частка зв'язаного крохмалю, визначена у меззі у двох дослідках (проби 1, 3), була однаковою (5,4 %), а в досліді з додаванням протеази (проба 2) трохи нижча (4,5 %). Це свідчить про краще вивільнення крохмалю в цій пробі завдяки дії протеази на білкову матрицю. Підсумовуючи, слід зазначити, що гідроліз кукурудзяної крупки ферментами проходить ефективніше за умов підготовки кукурудзяної крупки з використанням води як екстрагента впродовж 6 год та періодичної заміни екстракту чистою водою.

**Висновки.** Встановлено, що виробництво цукристих крохмалепродуктів з кукурудзяної крупки без видалення крохмалю є економічно ефективним, дає можливість зни-

зити капіталовкладення, скоротити тривалість виробничого процесу та сприяє комплексному використанню сухих речовин зерна. Важливою технологічною операцією при цьому є процес підготовки сировини до ферментативного гідролізу. Внаслідок проведених досліджень визначено оптимальні умови підготовки крохмалевмісної сировини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Андреев Н.Р.* Основы производства нативных крахмалов. — М.: Пищепромиздат, 2001. — 281 с.
2. *Крахмал* и крахмалопродукты / Н.Г. Гулюк, А.И. Жушман, Т.А. Ладур, Е.А. Штыркова. — М.: Агропромиздат, 1985. — 238 с.

3. *Ладур Т.А.* Производство сахаристых продуктов из крахмалсодержащего сырья с применением ферментов // Обзор. информ. / ЦНИИТЭИпищепром. Сер. Крахмало-паточная пром-сть. — 1978. — 34 с.

4. *Захарченко Н.А.* Растворимость белков зерна в кукурузо-крахмальном производстве // Сах. пром-сть. — 1975. — № 1. — С. 58–59.

5. *Рихтер М., Аугустат Э., Ширбаум Ф.* Избранные методы исследования крахмала. — М.: Пищ. пром-сть, 1975. — 184 с.

*Надійшла до редколегії 08.04.02 р.*