

# Дослідження морфологічної структури різних видів кукурудзяного крохмалю

**О.В. Грабовська**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології цукру та підготовки води, Національний університет харчових технологій

**В.В. Літвяк**, кандидат хімічних наук, РУП «Науково-практичний центр» Національної академії наук Білорусі з продовольства, м. Мінськ, Республіка Білорусь

*Досліджено фізико-хімічні властивості та проведено морфологічний аналіз зразків кукурудзяного крохмалю з різним вмістом амілози і встановлено залежність технологічних властивостей крохмалю від вмісту лінійної фракції полісахаридів – амілози.*

*Ключові слова: високоамілозний крохмаль, амілопектиновий крохмаль, морфологічний аналіз, реологічні властивості.*

*Исследованы физико-химические свойства и проведен морфологический анализ образцов кукурузного крахмала с разным содержанием амилозы и установлена зависимость технологических свойств крахмала от содержания линейной фракции полисахаридов – амилозы.*

*Ключевые слова: высокоамилозный крахмал, амилопектиновый крахмал, морфологический анализ, реологические свойства.*

*Physico-chemical properties and morphological analysis of the samples of corn starch with different amylose content were investigated. Dependence on technological properties of starch content of linear polysaccharide fractions - amylose was studied.*

*Key words: high amylose starch, amylopectin starch, a morphological analysis, rheological properties.*

У рослинних клітинах полісахариди крохмалю об'єднані у щільні впорядковані структури – крохмальні зерна. Крохмаль являє собою суміш двох гомополісахаридів, що складаються із залишків глюкози: лінійної амілози та розгалуженого амілопектину. Встановлено, що зерно крохмалю має напівкристалічну будову і є сферокристалом, у якому структурний каркас формується молекулами амілопектину (рис. 1). Будова амілопектину зумовлює формування кристалічного та аморфного шарів крохмального зерна. Компактні області з впорядкованою структурою (кристалічні) гідролізуються повільно, менш впорядковані зони, багаті точками розгалуження (аморфні), гідролізуються значно швидше. Амілоза сполучає різні шари амілопектину через утворення прохідних спіралей, а також зосереджується у аморфних зонах крохмальних зерен [1]. Вміст амілозної та амілопектинової фракцій у крохмалі різних рослин різняться. Від співвідношення цих полісахаридів залежать основні технологічні властивості, які виявляє крохмаль у харчових системах: здатність до набухання, клейстеризації та драглеутворення. Таким чином, вивчення структури крохмалю необхідне для розроблення сучасних технологій його переробки на крохмалепродукти, а також для покращення виробництва хлібопекарських і кондитерських виробів, де крохмаль є основним компонентом рецептурної суміші.

Будова і властивості крохмалю залежать від виду сировини, з якої його вилучено. Крохмаль зернової сировини та коренебульбоплодів різняться формою зерен, відсотковим вмістом амілози та амілопектину, вмістом супутніх домішок, що суттєво впливає на його фізико-хімічні властивості. Середній розмір зерен крохмалю різного походження коливається у широких межах. Найбільш крупними є зерна картопляного крохмалю (до 100 мкм), найдрібнішими – рису та проса (до 10 мкм). Дрібні зерна містять більше амілози та ліпідів і вони більш стійкі до кислотного та ферментативного гідролізу [1, 2].

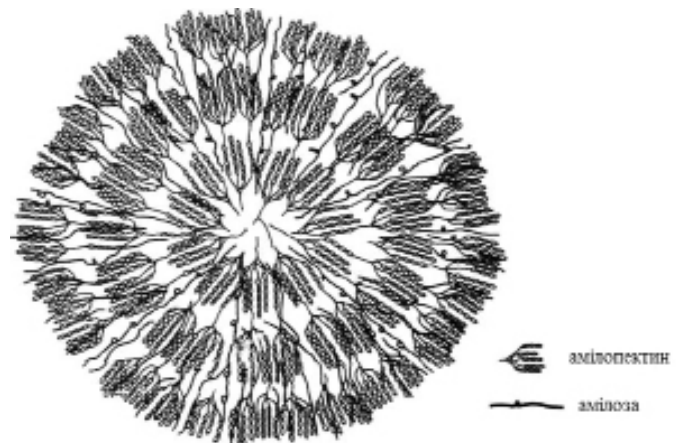


Рис. 1. Схематична будова крохмального зерна

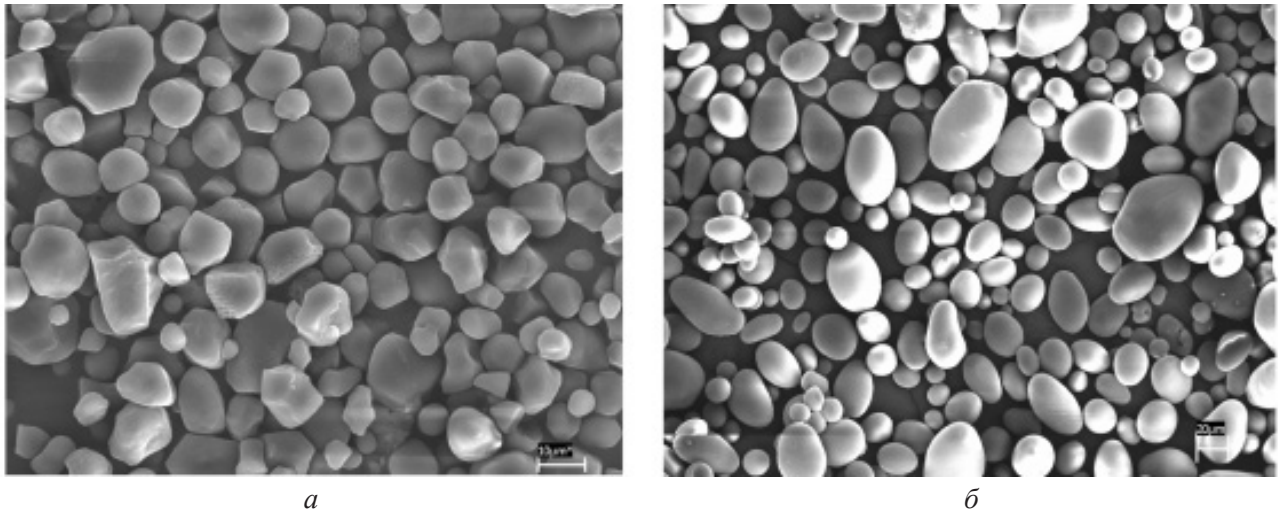


Рис. 2. Скануючі електронні мікрофотографії зерен кукурудзяного (а) і картопляного (б) крохмалю

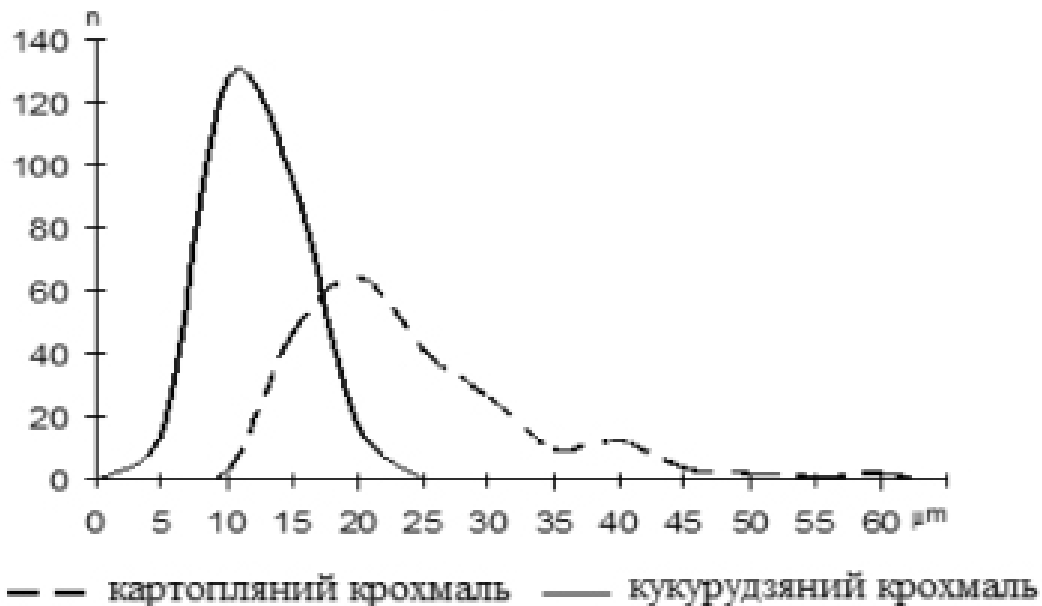


Рис. 3. Гранулометричний аналіз зерен нативного картопляного і кукурудзяного видів крохмалю

Метою роботи було дослідити морфологічну структуру та фізико-хімічні властивості зразків кукурудзяного крохмалю з різним вмістом амілози.

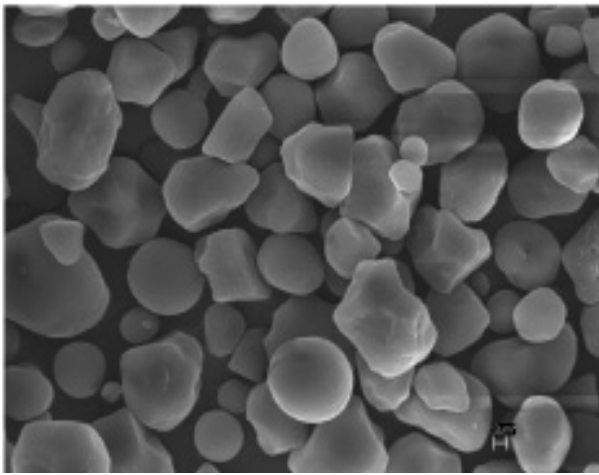
В природному крохмалі, який отримує промисловість, співвідношення амілози та амілопектину складає 1:3, тобто вміст амілози приблизно на рівні 24–28%. Якщо амілози більше ніж 30%, то крохмаль називають високоамілозним. На сьогодні в світі вирощують восковидну кукурудзу, в якій формуються крохмальні зерна з переважним вмістом розгалуженої фракції полісахаридів – амілопектину.

Відомо, що високоамілозний крохмаль (такий вид крохмалю формується у бобових культурах) має менший ступінь кристалічності та більші значення максимальної температури клейстеризації зерен. Крохмалю притаманна кристалічність (впорядкованість), яку зумовлює специфічна будова амілопектину (рис. 1). Для високоамілозного крохмалю властиві такі реологічні характеристики: висока температура клейстеризації, підвищена розчинність у воді, обмежене набухан-

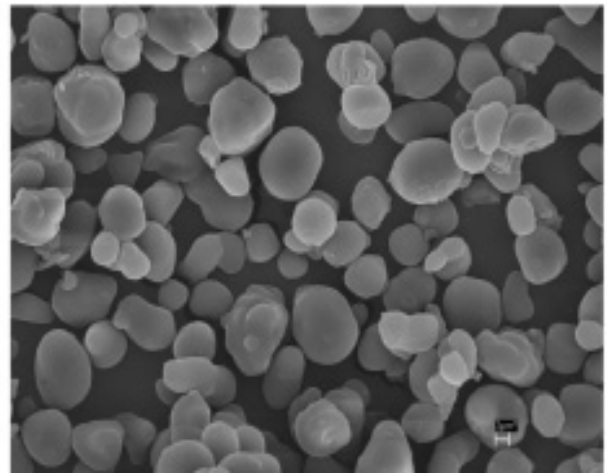
ня крохмальних зерен, низька в'язкість клейстерів, схильність полісахаридів до ретроградації та швидкого драглеутворення.

Нами проведено дослідження щодо визначення фізико-хімічних властивостей (здатності до набухання та клейстеризації) та морфологічної структури зразків крохмалю з різним вмістом амілози. Для визначення температури клейстеризації крохмалю було використано віскозиметричний метод [3]. Морфологічна структура визначалась за допомогою скануючого електронного мікроскопу LEO 1420 (Germany). Проведено гранулометричний аналіз зерен крохмалю різного походження. Ступінь кристалічності крохмалю досліджували на рентгенівському дифрактометрі HZG4A (Carl Zeiss, Jena, Germany) [5].

З панорамних мікрофотознімків і морфологічного аналізу зерен картопляного і кукурудзяного видів крохмалю встановлено, що форма і розміри зерен суттєво відрізняються, що пов'язано з умовами їх формування у рослинній сировині. Відомо, що картопляний крохмаль містить біль-



а

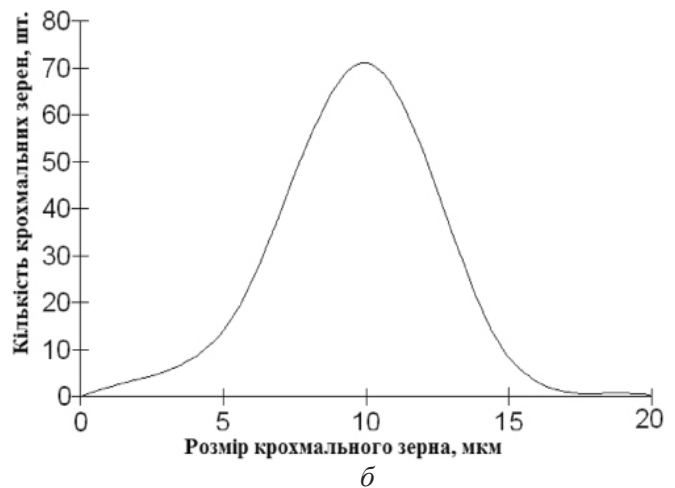


б

Рис. 4. Скануючі електронні мікрофотографії амілопектинового (а) і високоамілозного (б) видів кукурудзяного крохмалю



а



б

Рис. 5. Гранулометричний аналіз амілопектинового (а) і високоамілозного (б) видів кукурудзяного крохмалю

ше зв'язаної води і відноситься до типу кристалічності В, а кукурудзяний крохмаль відноситься до типу кристалічності А і містить менше молекул води, зв'язаних з високополімером водневими зв'язками. Форма зерен картопляного крохмалю овальна, кукурудзяного – багатогранна, оскільки крохмальні зерна формуються в умовах низької вологості затиснутими у білковій матриці (рис. 2). За даними морфологічного аналізу середній розмір зерен кукурудзяного крохмалю становить 15 мкм, картопляного – 25-30 мкм. Проте, слід зауважити, що середній розмір крохмальних зерен суттєво залежить від ступеню зрілості рослин, з яких

їх вилучено.

Також, проведено панорамну мікрофотозйомку зразків крохмалю за допомогою скануючого електронного мікроскопу. Мікрофотографії зерен амілопектинового та високоамілозного видів крохмалю представлено на **рис. 4**, гранулометричний аналіз зразків на **рис. 5**.

В результаті досліджень встановлено, що розмір зерен кукурудзяного високоамілозного крохмалю в середньому становить  $8,11 \pm 0,38$  мкм, а амілопектинового –  $13,94 \pm 0,82$  мкм.

Результати досліджень морфологічної структури кукурудзяного високоамілозного і амілопек-

Таблиця 1

Морфологічна характеристика кукурудзяного крохмалю

Параметри	Кукурудзяний крохмаль	
	Високоамілозний	Амілопектиновий
$d_{\text{серед.}}$ мкм	8,11	13,94
$d_{\text{min}}$ мкм	3,30	4,26
$d_{\text{max}}$ мкм	12,65	22,26
Розподіл крохмальних зерен за розмірами	Мономодальне	Мономодальне
Форма гранул	Неправильна заокруглена	Неправильна багатогранна

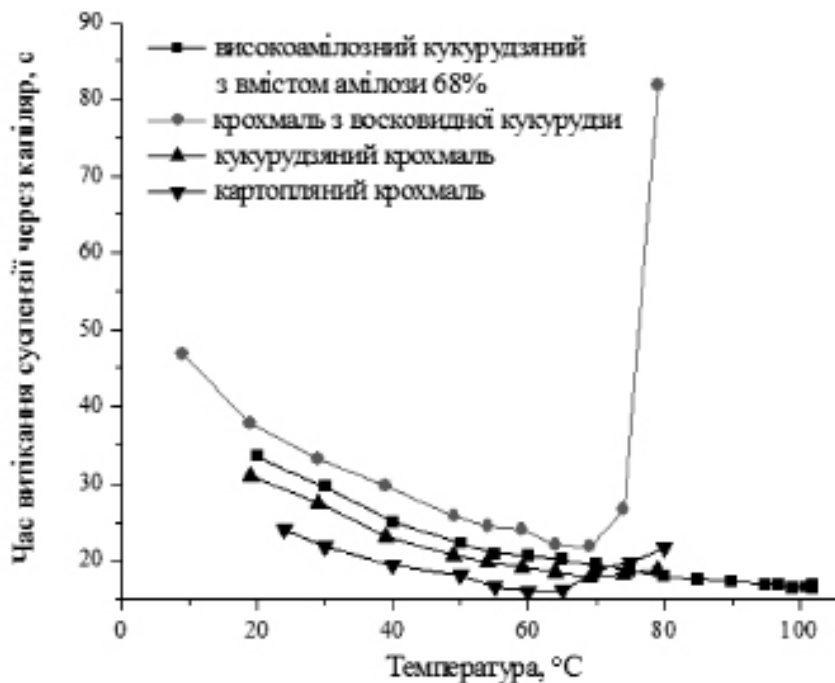


Рис. 6. Залежність в'язкості 1% суспензій крохмалю з різним вмістом амілози від температури

тинового крохмалю наведено в таблиці 1.

Відмінності морфологічної структури крохмальних зерен кукурудзяного високоамілозного та амілопектинового видів крохмалю зумовлені генетичними особливостями рослинної сировини. Оскільки, у рослин кукурудзи (*Zea mays* L.) є генотип (wx) розгалужуючого ферменту SBE, що забезпечує амілопектинові розгалужену структуру крохмалю, а також генотип (ae) крохмальних синтаз SSSI та SSSII, що зумовлюють накопичення лінійних полімерів амілози [1].

Нами проведено дослідження щодо визначення впливу вмісту амілози на здатність до набухання та температуру клейстеризації крохмалю. На графіку (рис. 6) показано зміну в'язкості крохмальної суспензії з підвищенням температури для зразків високоамілозного, амілопектинового, звичайного кукурудзяного та картопляного крохмалю.

З графіків видно, що крохмаль, який містить переважно амілозу (68%), починає клейстеризуватись за температури близько 100°C, причому внаслідок погіршеного набухання зерен в'язкість суспензії майже не збільшується. Амілопектиновий крохмаль, отриманий із восковицею кукурудзи, має температуру клейстеризації 72-74°C і, внаслідок гарного набухання зерен крохмалю, в'язкість суспензії стрімко зростає. Звичайний кукурудзяний крохмаль, який містить близько 28% амілози має температуру клейстеризації близько 68°C. Природний картопляний крохмаль, який містить приблизно 21% амілози має температуру клейстеризації 63°C. Таким чином, встановлено, що вміст амілози впливає на реологічні властивості крохмалю. У високоамілозному крохмалі відсутність аморфних зон призводить до того, що зерна цього виду крохмалю набухають та клейстеризуються за значно вищих температур.

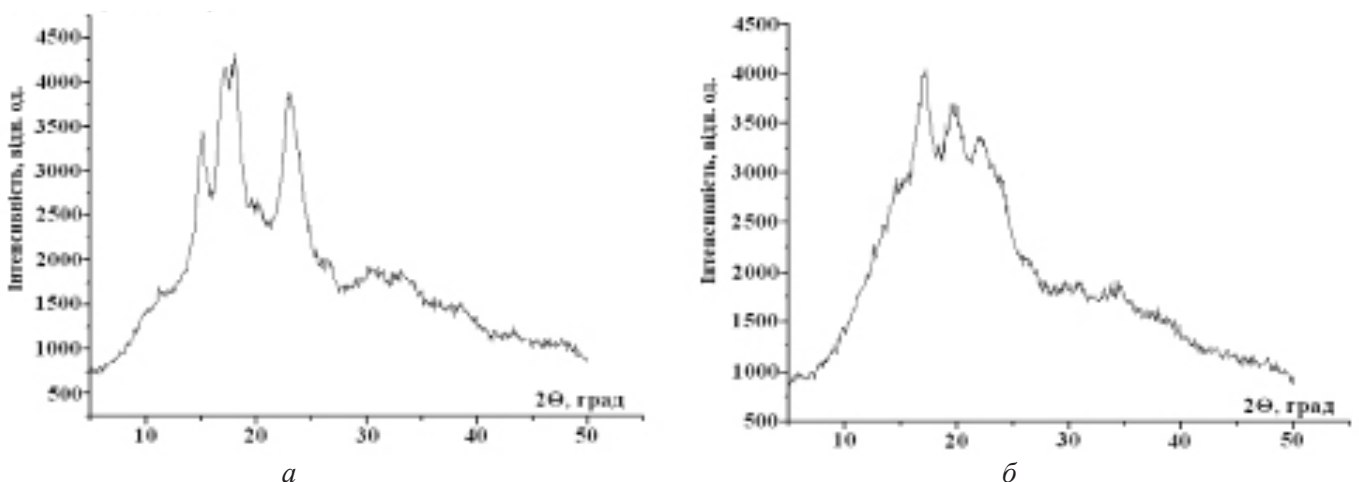
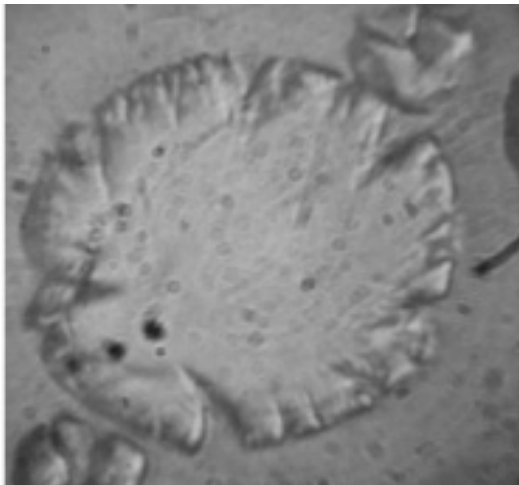


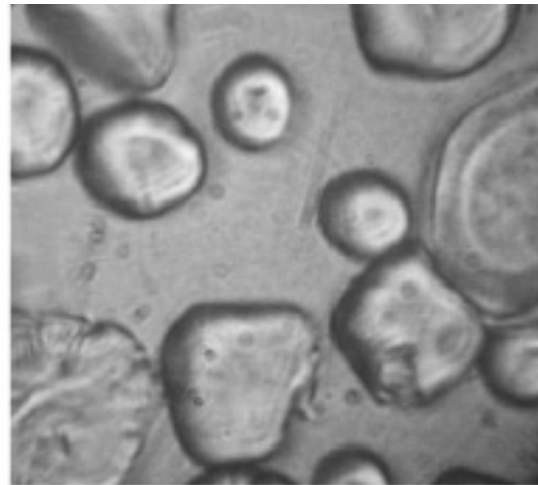
Рис. 7. Рентгенограми амілопектинового (а) і високоамілозного видів кукурудзяного крохмалю

## Особливості фазової структури крохмалю різного ботанічного походження

№ п/п	Тип крохмалю	Відносний ступінь кристалічності, %	Відносний ступінь аморфності, %
<b>Кукурудзяний крохмаль</b>			
1	Амілопектиновий	55,9	44,1
2	Високоамілозний	30,6	69,4



а



б

**Рис. 8.** Мікрофотознімки зерен амілопектинового (а) і високоамілозного (б) зразків крохмалю, оброблених  $\alpha$ -амілазою

Проба на здатність до драглеутворення показала, що високоамілозний крохмаль, хоча і не утворює в'язкі системи при нагріванні у воді, проте при охолодженні застигає, утворюючи міцні, але крихкі драгли. Амілопектиновий крохмаль швидко набухає при нагріванні з утворенням дуже в'язких прозорих пластичних мас, які не формують драгли при застиганні.

За допомогою вивчення дифракції рентгеновських променів встановили, що високоамілозний і амілопектиновий види крохмалю мають різну щільність пакування полісахаридних ланцюгів і різний ступінь кристалічності.

За допомогою отриманих рентгенограм (рис. 7) визначили відносний ступінь кристалічності зразків крохмалю відповідно до вмісту амілози. Ступінь кристалічності розраховували за відношенням інтенсивностей  $I_k/I_o$ , де  $I_k$  – інтенсивність дифракції рентгеновських променів на кристалічних областях;  $I_o$  – загальна інтенсивність дифракції рентгеновських променів.

Ймовірно, ступінь кристалічності крохмалю багато в чому залежить від генетичних особливостей крохмалевмісної сировини. Так, встановлено, що ступінь кристалічності кукурудзяного амілопектинового крохмалю була 55,9%, а кукурудзяного високоамілозного крохмалю, незважаючи на більшу щільність пакування полісахаридних ланцюгів, лише 30,6% (табл. 2).

Оскільки від вмісту амілози залежить ступінь кристалічності крохмалю, то ферменти будуть по

різному гідролізувати крохмальні зерна з різним співвідношенням амілози та амілопектину. Щоб з'ясувати цей факт, нами було проведено дослідження за допомогою мікроскопу МБД-15. У приготовлені суспензії різних видів крохмалю з масовою часткою сухих речовин 1% додавали однакову кількість бактеріальної  $\alpha$ -амілази і витримували на водяній бані за температури 45°C. Через двадцять хвилин проводили мікроскопіювання зразків. Отримані мікрофотознімки (збільшення у 660 разів) представлені на рис. 8. Зі знімків (рис. 8) видно, що амілопектиновий крохмаль швидше руйнується ферментом, оскільки ці зони розгалужень менш щільні і фермент легше проникає всередину крохмального зерна. Найгірше руйнується ферментом  $\alpha$ -амілазою високоамілозний крохмаль. За однакового часу реакції ступінь гідролізу високоамілозного крохмалю значно менший.

Також, нами був використаний метод термогравіметрії для визначення термічної стійкості отриманих зразків. Початок деструкції у досліджених матеріалів різний (табл. 3). Нагрівання зразків у дериватографі показало, що в інтервалі температур від кімнатної до 200–220°C спостерігається видалення води. Високоамілозний крохмаль має найвищу температуру початку деструкції 220°C. Максимум піка ендотермічного ефекту, що відповідає максимальній швидкості зневоднення, приходить на температуру 98–103°C.

Після закінчення видалення води починає роз-

Результати аналізу термостійкості матеріалів

Назва матеріалу	Температура, °С				Вологість, %
	Початок видалення води	Максимум швидкості видалення води	Початок термічного розкладу	Зміна маси при розкладанні	
Кукурудзяний нативний	31	98	200	8,78	13,70
Кукурудзяний високоамілозний	38	101,4	208	8,48	10,38
Кукурудзяний амілопектиновий	30	103,1	220	9,84	14,09

виватись процес термічної деструкції. Як видно з таблиці 3 початок деструкції у досліджених матеріалів різний. Крохмаль амілопектиновий має найвищу температуру початку деструкції. Взагалі, крива ДТА термічного розкладу цього крохмалю відрізняється від кривої ДТА високоамілозного крохмалю і зміщена в область більш високих температур.

#### Висновок

Таким чином, на основі проведених досліджень було встановлено, що збільшення вмісту амілозної фракції у крохмалі призводить до підвищення температури клейстеризації, зменшення ступеню набухання крохмальних зерен і посилення здатності до драгле утворення.

Відсутність зон розгалужень у високоамілозному крохмалі призводить до більш щільного пакування полісахаридних ланцюгів та погіршення здатності до гідролітичного розщеплення ферментами, а також до зменшення термостійкості крохмалю.

#### Список використаних джерел:

1. Андреев Н.Р. Основы производства нативных крахмалов (научные аспекты). – М. : «Пищепромиздат», 2001. – 282 с.
2. Грабовська О.В. Технологія крохмалю та крохмалепродуктів. Курс лекцій для студ. спец. «Технологія цукристих речовин» напряму 6.051701 «Харчові технології та інженерія» для денної та заочної форм навчання. - 2010, Київ, НУХТ, 127 с.
3. Грабовська О.В., Ковалевська Є.І. Реологія харчових мас: Метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. спец. «Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів» напряму 6.051701 «Харчові технології та інженерія» ден. та заоч. форм навч. / Уклад.: – К. : НУХТ, 2009. – 20 с.
4. Литвяк В.В. Дослідження будови модифікованих крохмалів методом мікроскопування / В.В. Литвяк, З.В. Ловкис, Е.В. Дитина, М.П. Купчик // Хлібопекар: науковий виробничо-практичний журнал. - №5. - 2007. - С. 24-27.
5. Ловкис З.В., Литвяк В.В., Петюшев Н.Н. Технологія крахмала і крохмалопродуктів. – Минск : Асобны, 2007. – 176 с.

#### ЦІКАВІ НОВИНИ

### Цукрові блоки замість кубиків



Якщо вам набридли стандартні кубики цукру, так що ж заважає їх замінити? Ви думаєте, в наше століття високих технологій і комунікацій не додумалися до чогось більш цікавого, ніж куб? От і ні, зовсім навпаки. Погляньте на ці «Цукрові блоки».

Вони здатні зробити ваш чай дійсно солодше і смачніше! Цікаво, чи багато часу на обдумування цієї ідеї пішло у Оддрі Рассела (Audrey Russel) з Spiceship? Хотілося б неодмінно побачити й інші його проекти саме такого плану. Вони б зробили набагато яскравіше наше життя.

Принаймні, ту її частину, яку ми проводимо на кухні.

Джерело: novate.ru