

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ЕСТРУЗІЇ НА КРОХМАЛЬ ЕКСТРУЗІЙНИХ КАРТОПЛЕПРОДУКТІВ

В статті наводяться результати досліджень зміни крохмалю різних видів сировини в процесі екструзії. Досліджено інтенсивність зменшення крохмалю від початкової масової частки вологи сухого картопляного пюре. Наведено результати досліджень кількості водорозчинних речовин та водопоглинальної здатності екструдатів. На основі літературних даних показана залежність між коефіцієнтом спучування та вмістом амілози в сировині. За отриманими дифрактограмами зроблений висновок про реорганізацію кристалічної структури полісахаридних ланцюгів крохмалю з А-типу на В-тип.

In the article results over of researches of change of starch of different types of raw material are brought in the process of extrusion. Investigational intensity of diminishing of starch from initial mass part of moisture of the dry mashed potatoes. The results of researches of amount of vodovodorozchinnikh matters and vodopoglinaln'noy ability of extrudates are resulted. On the basis of literary information the rotined dependence is between the coefficient of spuchuvannya and content of amilozi in raw material. After the got diffractograms the done conclusion is about reorganization of crystalline

Ключові слова: екструзія, крохмаль, крохмалевмісна сировина, дифрактограми, рентгенофазовий аналіз.

Крохмаль – це суміш двох полісахаридів: амілози та амілопектину (Л. Макен та Е. Ру, 1904 р.) [6]. Молекули амілози являють собою нерозгалужені (або незначно розгалужені) полісахариди зі ступенем полімеризації 1 000 – 6 000 залишків α -D-глюкопіранози, що відповідає молекулярній масі 16 000 – 1 000 000. Середня молекулярна маса амілози крохмалю картоплі біля 400 000, кукурудзи і рису між 100 000 та 200 000.

Подібно амілозі амілопектин побудований з молекул глюкози, але ланцюги в амілопектині дуже розгалужені зі ступенем полімеризації 6 000 – 36 000 залишків α -D-глюкопіранози, що відповідає молекулярній масі 1 000 000 – 6 000 000. Більшість глюкозних залишків мають, як і в амілозі α -1,4-глюкозидні зв'язки. Між точками розгалуження в основному ланцюзі розміщені 20 – 25 глюкозних залишків. Співвідношення амілози та амілопектину в крохмалі найчастіше становить 1:3 [6].

З літературних джерел відомо [7], що при екструзійному обробленні крохмалевмісної сировини загальний вміст крохмалю зменшується через розщеплення молекул амілози і амілопектину, поряд з тим збільшується кількість олігосахаридів і декстринів. Це обумовлює підвищення вмісту водорозчинних речовин тим самим підвищуючи його харчову цінність.

Нами досліджено кількісні зміни, що відбуваються з крохмалем в процесі екструзії. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Зміни кількості крохмалю сировини після дії екструзії

Зразок	Кількість крохмалю, % на СР			Зменшення крохмалю до початкового його вмісту, %
	до екструзії	після екструзії	різниця	
Сухе картопляне пюре	67,7	52,5	15,2	22,5
Крупа:				
ячна	64,3	51,0	13,3	20,7
пшоно	64,2	48,3	15,9	24,8
кукурудзяна	70,2	52,9	17,3	24,6
рисова	73,6	62,5	11,1	15,1
Горох	44,6	33,6	11,0	24,7

Дані таблиці свідчать, що під час екструзії відбувається зменшення кількості крохмалю, що пов'язано з розривом глікозидних зв'язків під дією гідролізу, температури та механічного впливу [6]. Внаслідок чого утворюються речовини з меншою молекулярною масою здатних розчинятися у воді, що підтверджено дослідженнями результати яких наведено на рис. 1 та табл. 2.

При встановленні оптимальної масової частки вологи сировини для проведення процесу екструзії використовувалися зразки з різним вмістом вологи. Отримані продукти з цих зразків були досліджені також на вміст крохмалю, для того, щоб з'ясувати, як впливає різна початкова масова частка вологи сировини на ступінь деструкції крохмалю. Отримані результати досліджень наведено в табл. 3.

Дані таблиці показують, що збільшення вихідної масової частки вологи зменшує кількість крохмалю у

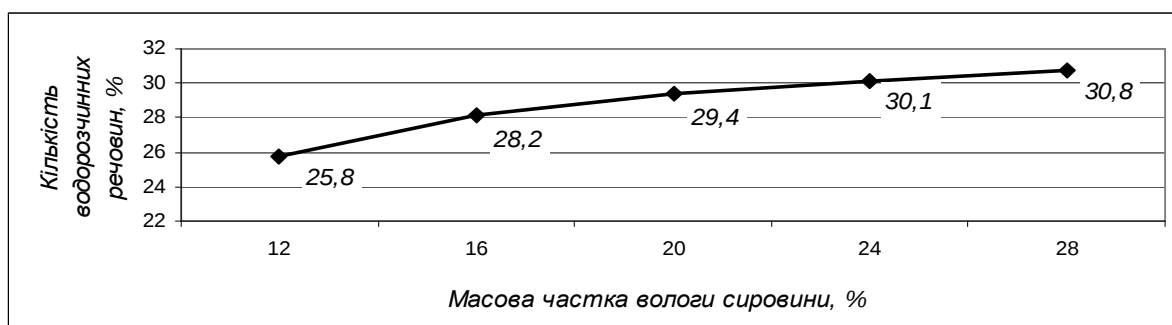


Рис. 1. Залежність кількості водорозчинних речовин в екструдаті від масової частки води вихідної сировини

Таблиця 2

Зміна показника водопоглинальної здатності залежно від дозування та виду круп

Кількість доданої крупы, %	Водопоглинальна здатність екструдатів, г/г сухого продукту				
	з ячною крупкою	з пшоном	з кукурудзяною крупкою	з рисовою крупкою	з горохом
0	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
5	7,9	7,9	7,9	8,0	7,7
10	7,7	7,8	8,0	8,3	7,5
15	7,7	7,6	8,0	8,5	7,5
20	7,6	7,6	8,3	8,5	7,3
25	7,7	7,4	8,5	8,7	7,3
30	7,6	7,4	8,5	8,7	6,9
35	7,6	7,2	8,6	8,6	6,7
40	7,4	6,9	8,7	8,9	6,4
45	7,4	6,9	8,7	9,1	6,1
100	7,1	6,0	9,0	9,8	-

Таблиця 3

Зміна кількості крохмалю в екструдатах залежно від початкової масової частки води сухої картопляного пюре

Масова частка води вихідної сировини, %	Кількість крохмалю в екструдаті, % до СР
12	53,1
16	52,5
20	51,7
24	50,9
28	49,8

кінцевому продукті, оскільки за більшої кількості води гідроліз крохмалю проходить інтенсивніше. Проте необхідно зазначити, що це зменшення не є дуже значним, різниця між максимальним і мінімальним значенням становить 3,3 %. Визначене зменшення крохмалю є також однією з причин зменшення коефіцієнта спучування екструдатів.

Встановлено [7], що більший вміст саме амілози позитивно впливає на ступінь розширення екструдату. У разі збільшення вмісту амілози в крохмалі спостерігається задовільне розширення екструдату при зростанні температури. Спучений, багатий на амілозу крохмаль має білий колір, тонку і рівномірну текстуру, він м'який та еластичний. Амілопектин крохмалю розширюється починаючи за більш низької температури, проте цей процес швидко згасає зі зростанням температури.

На рис. 2 зазначені коефіцієнти спучування залежно від вмісту амілози в крохмалю. Вміст амілози залежно від походження крохмалю взято з літературних джерел [8]. Наведені дані підтверджують зазначені вище міркування. Менший коефіцієнт спучування сухої картопляної пюре, що містить більше амілози ніж крупа рисова, можна пояснити тим, що дослідження проводилися на екструдері, який призначений для

екструдують зернову сировину, тому режим оброблення є більш жорстким ніж необхідно для сухого картопляного пюре. Рисова крупа має більший коефіцієнт спучування за меншого вмісту амілози, оскільки, відомо [8], що зерна рисового крохмалю дрібніші, що збільшує кількість центрів спучування.

Ще однією характеристикою крохмалю є його структура аморфна або кристалічна. Дослідити цей стан можливо за допомогою рентгенофазового аналізу. Відомо [3], що подвійні спіралі А-ланцюгів амілопектину утворюють кристалічну решітку в нативних крохмалях. На основі рентгенофазових досліджень нативних крохмалів, що були отримані з різних джерел, на сьогодні виявлено три типи кристалічного пакування полісахаридних ланцюгів – А, В і С.

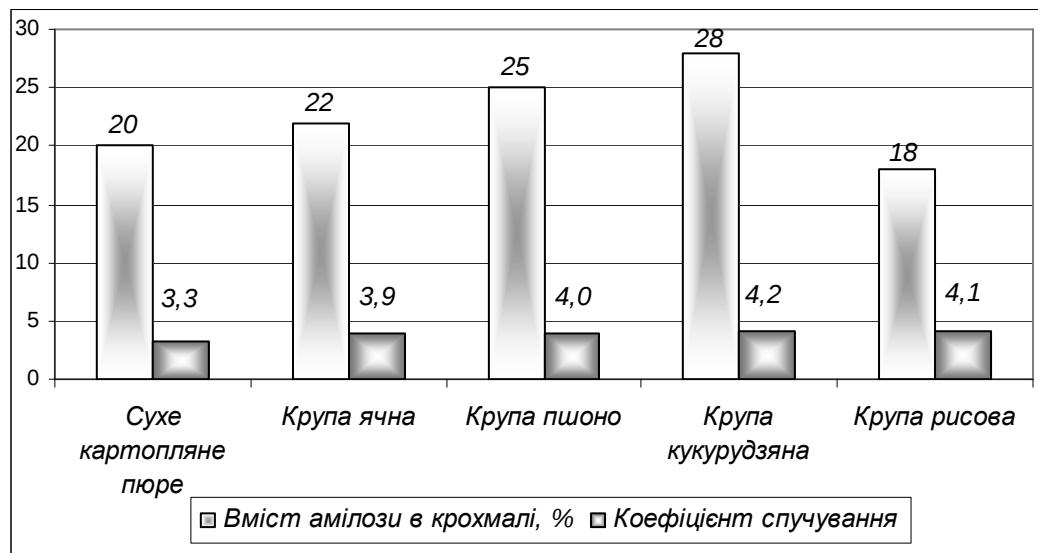


Рис. 2. Залежність коефіцієнта спучування екструдатів від кількості амілози в крохмалі

Крохмалі зернових мають А-тип пакування, аналогічний тип пакування мають також крохмалі двох тропічних видів, таких як *Colocasia antiquorum* та *D. dumetorum*. Нативний крохмаль картоплі та крохмалю деяких інших тропічних коренеплодів (*C. edulis*, *D. alata*, *D. cayenensis*, *D. esculenta*) мають В-тип пакування. Нативний крохмаль деяких інших видів тропічних коренеплодів (*Manihot utilissima*, *Ipomea batatas*), а також зернобобових мають змішаний С (А+В)- тип пакування. Для високоамілозних крохмалів кукурудзи та ячменю тип пакування не встановлений.

А-тип пакування представляє собою моноклінну решітку, елементарна комірка якої містить чотири молекули води. В-тип представляє собою гексагональну решітку елементарна комірка якої може містити до 36–40 молекул води. Половина молекул в цій кристалічній решітці зв'язана з біополімером водневими зв'язками, а інші молекули води – одна з одною. Перетворення А- на В-тип пакування можливе тільки на випадок, коли, так звані, А-крохмалі, тобто крохмалі з А-типом пакування полісахаридних ланцюгів, попередньо клейстеризовані та охолоджені для утворення тривимірної сітки драглів. Побудова таких драглів супроводжується ретроградацією, яка і призводить до утворення подвійних спіралей та кристалічного пакування. На випадок В-типу крохмалів конверсія кристалічної структури В-типу на А-тип можливо спостерігати без руйнування кристалічної структури. Так, наприклад, відомо [3], що довготривале обпалення (теплове оброблення нативного картопляного крохмалю за температури меншої температури початку клейстеризації) зерен крохмалю призводить до незворотної конверсії В-типу на А-тип пакування. Такий перехід змінює функціональні властивості В-крохмалів: їх водозв'язуючу і водопоглинальну здатність, розчинність, в'язкість крохмальних дисперсій, а також збільшує максимальну температуру їх плавлення і, як наслідок, змінює температуру клейстеризації крохмалів.

Між температурою клейстеризації розмірних фракцій картопляного, кукурудзяного та пшеничного крохмалів і величиною зерен існує певна залежність. Встановлено [4], що зерна дрібної фракції картопляного крохмалю при підвищенні температури набухають до певної межі зберігаючи при цьому чітко окреслений контур, як крохмалі зернових, а зерна крупної фракції руйнуються. Встановлено, що чим зерна крохмалю крупніші, тим більша його середня молекулярна маса і нижча температура клейстеризації. Така закономірність пояснюється більшою міцністю дрібніших зерен при нагріванні у воді та різною організацією зерен крохмалю, які відрізняються за розміром. Вважається, що дрібні зерна мають більшу густину пакування макромолекул ніж крупні зерна.

Методом рентгенофазового аналізу встановлено [5], що поряд з впорядкованою фазою в картопляному і кукурудзяному крохмалі присутня значна частка рентгеноаморфної фази. Так, ступінь кристалічності зерен кукурудзяного крохмалю становить 63 %, а зерен картопляного – лише 24 %. Крім того, встановлено, що зерна різного розміру одного і того ж зразка картопляного крохмалю мають різні частки упорядкованої та аморфної фаз, причому ступінь кристалічності тим більший, чим дрібніші крохмальні зерна.

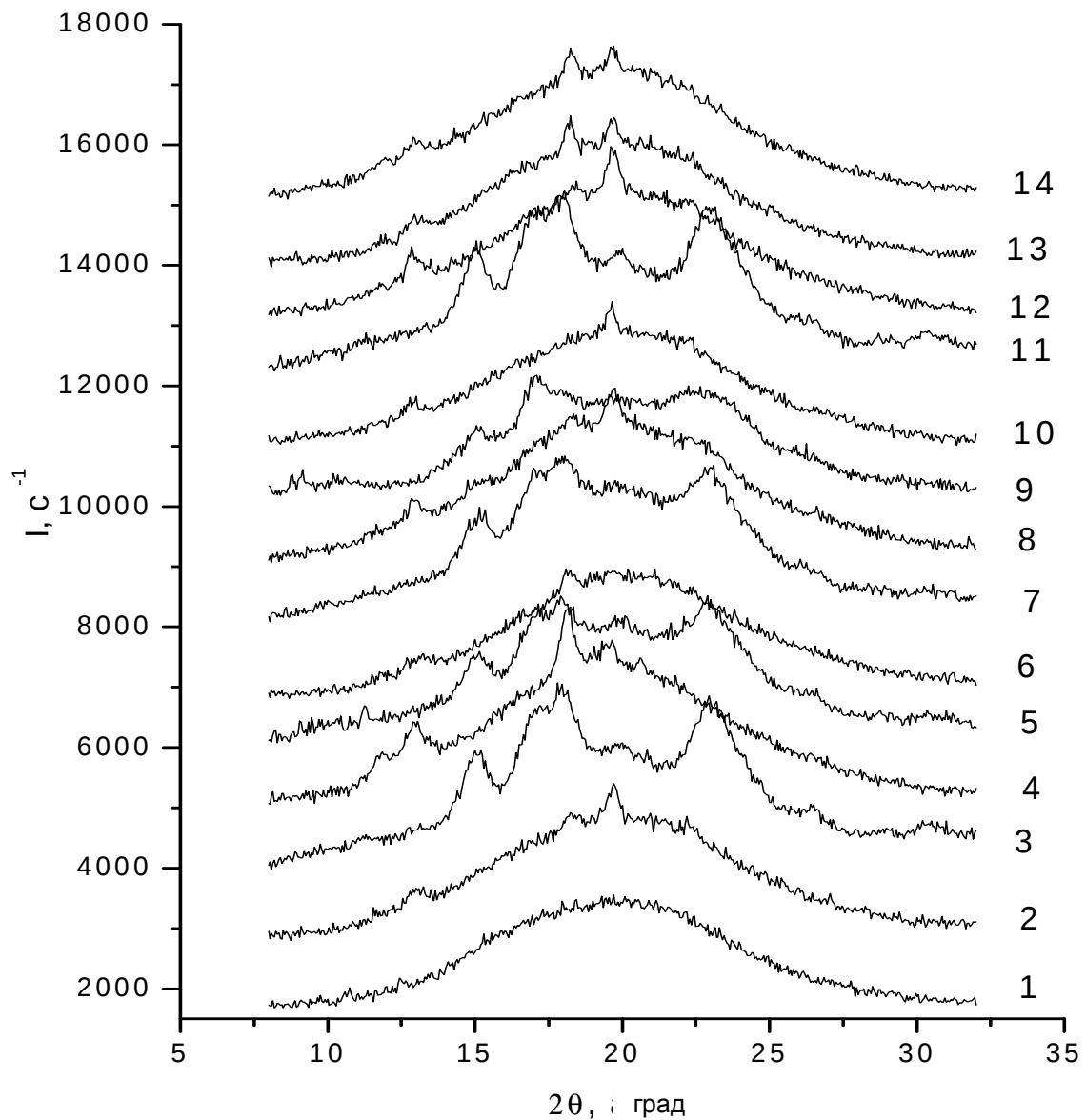


Рис. 3. Дифрактограми сировини та продуктів екструзії:

- | | |
|--|--|
| 1 – сухого картопляного пюре; | 2 – екструдату сухого картопляного пюре; |
| 3 – крупи пшоно; | 4 – екструдату крупи пшоно; |
| 5 – крупи ячної; | 6 – екструдату крупи ячної; |
| 7 – крупи кукурудзяної; | 8 – екструдату крупи кукурудзяної; |
| 9 – гороху; | 10 – екструдату суміші сухого картопляного пюре 70 % і гороху 30 %; |
| 11 – крупи рисової; | 12 – екструдату суміші сухого картопляного пюре 49 %, пшоно 17, крупи кукурудзяної 17, крупи ячної 17 %; |
| 13 – екструдату суміші сухого картопляного пюре 80 % і яблучного порошку 20 %; | 14 – екструдату суміші сухого картопляного пюре 50 % і крупи рисової 50 %. |

Співвідношення між кристалічною і рентгеноаморфною частками структури крохмалю до та після екструзії є дуже важливе, оскільки безпосередньо впливає на якість екструзійних продуктів.

Ряд дослідників стверджує, що крохмалі з високим ступенем кристалічності поступаються у фізіологічному аспекті крохмалю з аморфною структурою, оскільки менш піддатливі до дії травних ферментів. Крім того, відомо [5], що екструзійне оброблення крохмалевмісної сировини сприяє зниженню ступеня кристалічності крохмальних зерен, що і обумовлює підвищення харчової цінності екструзійних продуктів.

Для з'ясування ступеня впливу процесу екструзії на кристалічність структури екструзійних картоплепродуктів, як вже зазначалося раніше, використано метод рентгенофазового аналізу.

Дифрактограми отримано для сировини та відповідних продуктів екструзії, які представлено на рис. 3. Дифрактограма сухого картопляного пюре (1) показує, що крохмаль пюре до екструзії має аморфну структуру, що узгоджується з літературними даними [3]. Дифрактограма екструдату сухого картопляного пюре (2) вказує на те, що під час екструзії відбулася ретроградація крохмалю: з'явилися дифрактометричні рефлекси при $2\theta = 13; 18,3; 19,8$, що вказує на появу кристалічної структури, при чому згідно літературних даних положення рефлексів дозволяє стверджувати, що кристалічна структура відповідає В-типу пакування полісахаридних ланцюгів, характерного для картопляного крохмалю.

Дифрактограми 3, 5, 7, 9, 11 (див. рис. 3) складаються з п'яти дифрактометричних рефлексів при значеннях $2\theta = 15,1; 17,3; 18,3; 19,8; 23,1$, що відповідає структурі кристалічного крохмалю, при чому, згідно [2] вони мають А-тип пакування.

Дифрактограми екструдатів зазначених круп та деяких сумішей: 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14 показують, що під час екструзії відбулися суттєві зміни кристалічної будови крохмалів всіх зразків. Відбулося руйнування кристалічної структури крохмалів. Дифрактограми всіх зразків після екструзії 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14 (див. рис. 3) аналогічні дифрактограмі 2 екструдату картопляного пюре. Як було вже зазначено, відповідно до дифрактограми екструдату картопляного пюре (2) кристалічна структура відповідає В-типу пакування полісахаридних ланцюгів, характерних саме для картопляного крохмалю.

Таким чином відбулася реорганізація кристалічної структури полісахаридних ланцюгів крохмалю з А-типу (зернових) на В-тип (картопляний).

Висновки. В результаті досліджень було підтверджено, що кількість крохмалю в процесі екструзії зменшується при чому для різних видів крохмалевмісної сировини ступінь зменшення різних. На основі аналізу дифрактограм встановлено, що процес екструзії спричиняє зміну крохмалю А-типу на В-тип.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
2. Карпов В.Г. Разработка технологии новых видов крахмалопродуктов экструзионным способом: автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.18.05 «Технология сахара и сахаристых продуктов» / В.Г. Карпов. – М., 2000. – 43 с.
3. Карпов В.Г. Трансформация кристаллической решетки крахмала в смеси его с картофельным пюре при холодной экструзии / В.Г. Карпов, В.П. Юрьев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1998. – № 10. – С. 27 – 28.
4. Маслова Г.М. Зависимость температуры клейстеризации картофельного крахмала от размера зерен / Г.М. Маслова, Л.Ф. Горин // Известия вузов. Пищевая технология. – 1963. – №6. – С. 16 – 19.
5. Маслова Г.М. Рентгенофазовый анализ зерен картофеля и кукурузы / Г.М. Маслова, А.А. Цветков. // Сахарная промышленность. – 1972. – №10. – С. 68 – 70.
6. Неницеску К.Д. Органическая химия; [пер. с румын. Л. Бырлэдяна]. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – Т. 2. – 1047 с.
7. Остриков А.Н. Экструзия в пищевой технологи / Остриков А.Н., Абрамов О.В., Рудометкин А.С. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.
8. Пищевая химия / [Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочетова А.А. и др.]; под ред. А.П. Нечаева – [2-е изд.] – С.-Петербург: ГИОРД, 2003. – 632 с.