

УДК 664.1-663.43

Г.О. СИМАХІНА, д-р техн. наук,

О.М. КОРИХАЛОВА

І.О. СОКОЛОВСЬКА

А.О. ОСТРОВСЬКА

*Національний університет харчових технологій*

## ПОДРІБНЕННЯ ТА МЕХАНОАКТИВУВАННЯ СУБЛІМОВАНИХ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

---

Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність використання механоактиваційних процесів для підвищення біодоступності біологічно активних речовин харчової сировини.

**Ключові слова:** біологічно активні речовини, амарант, механоактивування, дезінтегратор, сублімація.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования механоактивационных процессов для повышения биодоступности биологически активных веществ пищевого сырья.

**Ключевые слова:** биологически активные вещества, амарант, механоактивация, дезинтегратор, сублимация.

There is proved theoretically and confirmed practically the expedience of mechano-activation processes usage in increasing the biological availability of biologically active substances from food raw material.

**Keywords:** biologically active substances, amaranth, mechanoactivation, disintegrator, sublimation.

При отриманні харчових біодобавок підвищеної біологічної активності процеси подрібнення займають одну із ключових позицій [1]. Завдяки цим процесам готові форми харчових біодобавок набирають відтворюваних фізико-хімічних та технологічних параметрів, які визначають їх засвоюваність та біологічний ефект.

Тому **метою** цієї роботи є з'ясування впливу різних способів подрібнення пружнокрихких сублімованих продуктів на біологічну активність їх компонентів та проведення порівняльних досліджень ефективності звичайного та дезінтеграторного подрібнення сублімованого зерна амаранту.

Експериментальні дослідження показали, що отримання порошків із сублімованих плодів, овочів та ягід за допомогою типових технологій практично неможливе, оскільки дисперговані матеріали дуже швидко агрегують та піддаються високим локальним температурам. Це призводить до втрати вітамінів та погіршення засвоюваності біодобавок живим організмом.

Відомо також, що ККД більшості сучасних подрібнювачів менший 3 %, тобто майже вся підведена до них енергія переходить у теплоту, і що при подрібненні матеріалів спостерігається яскраво виражений процес утворення електричних зарядів. Причому, останній ефект підтверджено також і при криподрібненні у середовищі рідкого азоту, особливо, якщо диспергуванню піддається заморожена і несублімована сировина [2, 3].

На сьогодні вважається, що найкращі умови для подрібнення створюються у випадку, коли тривалість впливу робочого органу на матеріал дорівнює або менша періоду релаксації — часу поступового розсіювання енергії, витраченої на пружку деформацію і переходу її в теплоту [4].

© Г.О. Сімахіна, О.М. Корихалова, І.О. Соколовська, А.О. Островська, 2011

## ТЕХНОЛОГІЯ

Щоб дотриматись цієї умови, кругову швидкість робочого органу довелось би збільшити до  $1000 \text{ с}^{-1}$ . Однак, дослідження показали, що вже при швидкості близько  $120 \text{ с}^{-1}$  у зоні контакту з робочим органом відбувається тривале підвищення температури до  $140...150 \text{ }^\circ\text{C}$ , що призводить до погіршення якості диспергованих рослинних продуктів.

Зазначені передумови, позитивні результати власних експериментальних досліджень із вивчення ефективності дезінтеграторного подрібнення матеріалів визначили напрям пошуку вирішення проблеми подрібнення сублімованих матеріалів з одночасним активуванням їх біокомпонентів [5]. Він ґрунтується на дезінтеграторному диспергуванні сухих сублімованих продуктів.

При диспергуванні пружнокрихких сублімованих продуктів енергія витрачається, в основному, на корисну роботу подолання поверхневих сил зчеплення, що супроводжується появою нових поверхонь. Тому енерговитрати в останньому випадку значно знижуються і не перевищують  $3...5 \text{ кВт-год/т}$ . Таким чином, ефективність процесу подрібнення зростає із зменшенням пружних властивостей матеріалу.

Подрібнення сублімованого зерна амаранту проводили у повітряному середовищі при кімнатній температурі. Седиментаційний аналіз зразків показав, що вже в результаті одноразового помелу у дезінтеграторі доля часток розмірами  $80...100 \text{ мкм}$  складає  $80...84 \%$  загальної маси. Максимальний розмір часток —  $90...105 \text{ мкм}$ , що відповідає вимогам дисперсності до порошкоподібних харчових продуктів.

В таблиці 1 наведено порівняльні дані вмісту вільних і зв'язаних амінокислот недосліджених у літературі кріопорошків зерна амаранту, отриманих звичайним подрібненням і методом дезінтеграції. Аналіз табличних даних свідчить про те, що при подрібненні в дезінтеграторі сублімованих порошків із зерна амаранту вміст вільних незамінних амінокислот збільшується на: лізину —  $53...56 \%$ , метіоніну —  $48...58 \%$ , валіну —  $56...64 \%$ , глютамінової кислоти — майже на  $200 \%$ .

**Таблиця 1. Масова частка вільних та зв'язаних амінокислот в кріопорошку зерна амаранту, мг/г препарату**

Амінокислоти	Звичайне подрібнення		Дезінтеграторне подрібнення	
	вільні	зв'язані	вільні	зв'язані
Лізін	0,47	4,8	0,89	4,0
Гістидин	0,78	1,9	0,89	1,7
Фенілаланін	0,66	4,39	0,56	4,2
Тирозин	0,44	3,1	0,61	2,9
Лейцин	0,34	5,6	0,31	4,6
Ізолейцин	0,30	3,5	0,44	3,3
Метіонін	0,07	0,6	0,14	0,44
Валін	0,74	2,5	1,35	1,4
Цистин	0,01	1,0	0,02	0,45
Аланін	0,25	2,9	0,145	2,59
Гліцин	0,166	14,4	0,852	8,7
Пролін	0,01	3,6	0,01	1,6
Глютамінова к-та	0,92	47,3	2,2	47,3
Сірін	0,32	4,8	0,38	4,5
Триптофан	0,27	3,5	0,29	3,4
Аспарагінова, к-та	0,27	6,8	0,35	6,8
Аргінін	—	5,7	—	4,3
Треонін	—	0,91	—	1,0

Біокомпоненти таких порошків переходять у легкозасвоювану форму, підвищується їх біодоступність, що ілюструється даними ферментативного гідролізу білків зерна амаранту пепсином та хімотрипсином (табл. 2).

**Таблиця 2. Результати ферментативного гідролізу свіжого і обробленого зерна амаранту**

Дослідний зразок	Оптична густина гідролізатів при дії ферментів, Д			
	1 год.	2 год.	3 год.	4 год.
Пепсин				
Свіже зерно	0,186	0,252	0,338	0,376
Сублімоване зерно	0,268	0,356	0,422	0,484
Механоактивоване зерно	0,294	0,389	0,5466	0,529
Хімотрипсин				
Свіже зерно	0,451	0,549	0,582	0,588
Сублімоване зерно	0,592	0,710	0,798	0,804
Механоактивоване зерно	0,615	0,727	0,811	0,815

Аналіз даних таблиці 2 дає змогу зробити ряд висновків. Білок контрольного зразка (свіже зерно амаранту) перетравлюється гідролітичними ферментами меншою мірою, ніж сублімованого зерна, а, тим паче, дезінтегрованого.

Тобто, позитивні зміни, які відбулись у матеріалі під дією низьких температур і сприяли переходу значної частини білка (22...28 %) з важкорозчинного у легкокорозчинний стан посилено механоактивуванням сублімованого зерна. Тому можна говорити про конформаційні та деструктивні зміни біополімерів рослинної сировини, що є наслідком як низькотемпературного шоку, так і механохімічних перетворень при подрібненні у дезінтеграторі.

Кріопорошок зерна амаранту перетравлюється найкраще пепсином, і дещо меншою мірою хімотрипсином. Враховуючи той факт, що пепсин прискорює гідролітичний розклад певних пептидних зв'язків і, в першу чергу, в ароматичних і дікарбонічних кислотах, вірогідно, що впливу низьких температур та механодеструкції зазнають, перш за все, фенілаланін, тирозин, аспарагінова та глютамінова кислоти.

Оскільки сума цих складових переважає 10 % від загального вмісту амінокислот у зерні амаранту, то зрозуміло, чому завдяки деструктивним змінам відчутним є підвищений ефект біологічної дії сублімованих та диспергованих матеріалів порівняно із свіжими зразками.

У свіжих матеріалах завдяки значній кількості зв'язаної води молекули біополімерів міцно агреговані, що веде до утворення малорозчинних комплексів, які важко піддаються дії протеолітичних ферментів.

Температурний шок, якого зазнають клітини рослин при швидкому зниженні температури нижче нуля, і подальша механодеструкція сублімованих матеріалів сприяють руйнуванню цих агрегатів, вивільненню значного числа білкових молекул, деградації зв'язків і збільшенню числа вільних амінокислот, що сприяє підвищенню біологічної цінності отриманих продуктів.

Можна говорити і про те, що дезінтеграторне подрібнення приводить до вивільнення ряду активних груп (сульф-гідрильних, залишків тирозину тощо), що знаходяться у нативному білку всередині глобули. Тому вони легше піддаються ферментному гідролізу.

Порошок із зерна амаранту багатий на білок. Його на 6 % більше, ніж у борошні із злакових культур, однак втричі менше, ніж у соєвому. Вміст ліпідів в 5...6 разів вищий, ніж у борошні із злакових і співставний з соєвим знежиреним борошном. Вуглеводи, як і в інших продуктах із зернових та зернобобових, представлено переважно крохмалем.

Ми вивчили гідроліз білків рослинних матеріалів у дослідях *in vitro*, результати яких представлено у таблиці 3, порівняно з казеїном (контроль).

## ТЕХНОЛОГІЯ

**Таблиця 3. Перетравлюваність *in vitro* білків рослинних матеріалів (ммоль NH<sub>2</sub> на 1 г білка)**

Рослинні матеріали	Стадія протеолізу			
	пепсинова	трипсинова	пептидазна	загальний протеоліз
Казеїн	3,9 ± 0,51	10,37 ± 0,79	15,77 ± 0,85	30,01 ± 1,70
Кріопорошок зерна амаранту	1,24 ± 0,14	11,07 ± 0,56	16,52 ± 2,32	29,44 ± 1,16
Кріопорошок буряка	2,37 ± 0,85	11,67 ± 0,71	13,24 ± 0,46	27,28 ± 1,51
Кріопорошок моркви	3,24 ± 0,90	12,42 ± 0,20	14,25 ± 0,81	28,72 ± 0,95

З даних таблиці видно, що для білків кріопорошку амаранту характерний більш низький рівень протеолізу на пепсиновій стадії порівняно з казеїном. Зате, трипсинова і пептидазна стадії протеолізу і загальний протеоліз білків амаранту практично не відрізняються від легкогідролізованого білка казеїну. Білки овочевих кріопорошків теж можна віднести до легко перетравлюваних, оскільки показники їх протеолізу на всіх стадіях майже відрізняються від контрольного білку.

Результати визначення важких металів в сублімованих та дезінтегрованих рослинних порошках наведено в таблиці 4.

**Таблиця 4. Вміст токсичних елементів в дезінтегрованих кріопорошках (г/кг)**

Показники	Рослинні дезінтегровані кріопорошки		
	амарант	буряк	морква
Свинець	0,5 ± 0,04	0,15 ± 0,003	0,49 ± 0,002
Кадмій	0,05 ± 0,003	0,075 ± 0,0004	0,13 ± 0,001
Мідь	1,4 ± 0,03	1,13 ± 0,005	4,58 ± 0,03
Цинк	3,0 ± 0,09	14,22 ± 0,08	16,27 ± 0,09
Ртуть	—	—	—
Миш'як	0,08 ± 0,005	0,24 ± 0,001	0,016 ± 0,0001

Таким чином, рівень важких металів і миш'яку в амаранті не перевищує аналогічні показники для зернових і зернобобових культур. Диспергування рослинних порошків у дезінтеграторі не привносить у подрібнений продукт ніяких шкідливих домішок.

**Висновки.** Важливим з точки зору технології отримання нових харчових продуктів є можливість підвищити біодоступність біологічно активних речовин і їх засвоюваність живим організмом. На сьогодні відомо, що при застосуванні різних форм механічної дії, спрямованої на руйнування дисперсної структури харчових продуктів, створюється можливість для керування їх структурно-механічними властивостями, а значить і ступенем засвоюваності. Досить важливо простежити, до яких наслідків приводять механічні впливи на біологічно активні речовини рослинної сировини. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що подрібнення матеріалів дає можливість збільшити вихід вільних амінокислот, поліпшити перетравлюваність білків, а значить і підвищити біодоступність біологічно активних речовин і, відповідно, їх лікувальний та оздоровчий ефекти, вдосконалити технологію отримання лікарських препаратів та оздоровчих продуктів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Е.Г. Аввакумова.* Механические методы активации химических процессов. — Новосибирск: Наука, 1986. — 305 с.
2. *Interatomic Potentials for CaCP<sub>2</sub> Polymorphs (Calcite and Aragonite), Fitted to Elastic and Vibrational Data / Pavese A., Catti M., Price G.D., Jacson R.A.* Physics and Chemistry of Minerals. — 1992. — № 2. — P. 80-87.
3. *Веркин Б.И., Зиновьев М.В., Повстяный Л.В.* Криогенное измельчение фармацевтических и пищевых продуктов. — Харьков: 1985. — 25 с. (Препр. /АН УССР.ФТИНТ; 1—85).

## ТЕХНОЛОГІЯ

4. Павлюк Р.Ю., Черевко А.И., Українець А.И. Новые фитодобавки и их использование в продуктах питания. — Харьков-Киев: ХГУПТ, 2003. — 286 с.

5. Бандуренко Г.М., Симахина Г.А., Кислая Л.В. Перспективы использования процессов механоактивирования растений для расширения ассортимента безалкогольных напитков профилактического направления: Сб. научн. тр. — Одесса: НПО «ВОТУМ», 1998. — С. 89-92.

*Одержана редколлегією 31.01.2011 р.*