

ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТІВ МЕХАНОАКТИВУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОДОСТУПНОСТІ КОМПОНЕНТІВ ЗЕРНА ВІВСА

Сімахіна Г.О., д-р техн. наук, проф., Миколів Т.І., аспірант
Національний університет харчових технологій, м. Київ

З'ясовано, що при розробленні нових харчових продуктів із оптимальним вмістом певних біологічно активних речовин (БАР) великого значення набувають їхні властивості, особливо – ступінь засвоюваності живим організмом. Подрібнення зерна вівса у дезінтеграторі, що супроводжується ефектами механоактивування, дає можливість максимально вилучити БАР у вільній формі, підвищити їхню біодоступність і відповідно посилити оздоровчі ефекти.

The article represents the conception that, in procession of new foodstuff with high content of certain biologically active substances (BAS), their properties, particularly – the grade of absorption by live organism, have got the increased value. The dispersion of oat grain in the disintegrator, accompanied with mechanoactivation effects, would allow eliminating the free-form BAS maximally, raising their biological accessibility, and, correspondingly, enforce their healthy effects.

Ключові слова: диспергування, механоактивування, засвоюваність, зерно вівса, біологічна цінність, гранулометричний склад, ферменти.

Нове покоління харчових продуктів, яке створюється нині харчовою промисловістю, розглядається в якості профілактичних та оздоровчих. Тому великого значення набувають їхні фізіологічні властивості, особливо ступінь засвоюваності окремих біокомпонентів живим організмом, оскільки саме вона визначає вплив цих компонентів на організм людини.

Відомо, що у споживачів із порушенням функцій певних органів можуть суттєво змінюватися як швидкість проходження компонентів харчових продуктів через шлунково-кишковий тракт, так і їхні властивості. Імовірно, що під впливом ферментів, білків їжі, мембранних процесів та інших чинників харчові інгредієнти можуть набути нових якостей.

Аналіз праць вітчизняних та зарубіжних учених із питань фармакокінетики БАР свідчить про те, що для досягнення максимальної ефективності в організмі людини будь-якої біологічно активної речовини (натуральної чи синтетичної) бажаними є знання щодо особливостей її поведінки, перш за все:

- величини всмоктування різними органами шлунково-кишкового тракту;
- ступеня біодоступності;
- часу досягнення максимальної концентрації в крові, настання очікуваного фізіологічного ефекту та розподілу по тканинах органів;
- процесів біотрансформації з утворенням певних метаболітів [1].

Слід зазначити, однак, що навіть в інструкціях, які супроводжують медичні препарати найкращих світових транснаціональних компаній, усіх цих відомостей повною мірою на сьогодні немає.

Медико-біологічні дослідження харчових продуктів нового покоління характеризуються великими складностями. Відсутність живих тест-об'єктів, складність доступу до клінічних досліджень, брак коштів на придбання сучасного обладнання для проведення фізико-хімічних аналізів унеможливають об'єктивну оцінку впливу окремих інгредієнтів нових продуктів або їхніх композицій на функціональну діяльність певних органів чи систем організму людини.

Зі всіх зазначених фармакокінетичних властивостей харчових БАР на сьогодні можна цілком вірогідно прогнозувати лише величину біодоступності того чи іншого інгредієнта нового харчового продукту, ґрунтуючись на якісних та кількісних характеристиках раціону.

Так, для підвищення рівня біодоступності, а значить – і всмоктування, наприклад, вітамінів групи В, якими так багаті зернові матеріали, необхідно є наявність у раціоні достатньої кількості білкової їжі. Інакше в організмі не вистачатиме білкових носіїв, необхідних для всмоктування вітамінів групи В, і вони виводитимуться з організму транзитом, не приносячи йому будь-якої користі.

Відомо також, що вітаміни групи В не всмоктуються із шлунково-кишкового тракту при одночасному застосуванні антибіотиків (тетрацикліну, левоміцетину) та барбітуратів (корвалолу, корвалдину, валокордину). Тому при розробленні рекомендацій із використання нових харчових продуктів необхідно враховувати зазначені особливості біодоступності окремих груп БАР.

Таким чином, порушена у даній роботі **проблема є актуальною**, надзвичайно важливою з точки зору отримання нових харчових продуктів із підвищеною біодоступністю певних БАР, їх засвоєваністю живим організмом, а значить – більшою ефективністю для споживачів.

Така можливість ґрунтується на описаних у медичній літературі відомостях, де показник біодоступності лікарського препарату при його пасивній дифузії зі шлунка та тонкого відділу кишечника у кров повністю залежить від рівня дисоціації самого препарату. Констатується факт, що препарати з високим ступенем розчинності, які містять БАР у вільній формі, з меншою молекулярною масою, значно краще дифундують через подвійний ліпідний шар мембран клітин і добре всмоктуються організмом, тобто їхня доступність різко підвищується [2].

І навпаки, ліки, молекули яких мають велику масу, містять значну кількість органічних катіонів або аніонів, гірше абсорбуються, проникають пасивним шляхом у кров у незначній кількості і значно довше.

Ці дані і результати досліджень у харчових технологіях дають підстави технологу-конструктору нових оздоровчих продуктів підібрати і використати доступні ефективні методи підвищення біодоступності БАР отриманих композицій з максимальною користю для споживача [3].

Метою роботи є експериментальне підтвердження теоретичних уявлень впливу дезінтеграторного диспергування-активування рослинних матеріалів на досягнення високої дисперсності, перехід значної частини БАР у вільну форму і підвищення їхньої біодоступності ферментам. Предметом досліджень є зерно вівса.

Є відомості, що при застосуванні різних форм механічної дії, спрямованої на руйнування дисперсної структури, створюється можливість для керування її структурно-механічними властивостями [4, 5].

Деякі автори вважають, що з позиції фізико-хімічної механіки найефективнішою формою такої дії є вібрація. Ряд дослідників, порівнюючи вібрацію з іншими механічними впливами, теж зазначають її перспективність. Повідомляється також про формування порошкоподібних систем за допомогою звукових та ультразвукових коливань. Цікавими є відомості про ефективність низькочастотного віброуцільнення дисперсних систем з використанням простих і дешевих електромагнітних і механічних низькочастотних пристроїв [6].

Незважаючи на широке використання вібраційних методів подрібнення в фармакологічній промисловості, в наших дослідженнях ми віддали перевагу диспергуванню харчових матеріалів на дезінтеграторах. Досягнуті в цьому разі ефекти дефектоутворення та активування сприяють підвищенню біодоступності компонентів харчових матеріалів і є результатом їхнього подрібнення ударним методом [7]. Разом з тим, вібраційна техніка характеризується ударно-розтиральним впливом на частки матеріалу, і це істотно знижує ефект активування.

Незважаючи на те, що подрібнення широко використовують у різних галузях промисловості, механіка, яка вивчає зміни фізичних та хімічних властивостей сполук, що відбуваються при дії на них механічних сил у процесах подрібнення (пресування, ультразвукового подрібнення тощо), не знайшла належної уваги у фармакологічній та харчовій промисловостях при отриманні БАР як у лікарських формах, так і в вигляді біологічно активних добавок до їжі.

Тому досить важливо простежити, до яких наслідків приводять механічні впливи на БАР рослинної сировини. З наявних на сьогодні даних можна зробити висновок, що, з одного боку, подрібнення сировини дає можливість збільшити біодоступність БАР і, відповідно, підвищити їх лікувальний та оздоровчий ефекти, поліпшити технологію отримання лікарських препаратів та оздоровчих продуктів.

З іншого боку, механічні впливи можуть іноді призвести до небажаних впливів: руйнування структури БАР, розрив хімічних зв'язків і, як наслідок, зменшення реакційної здатності сполук, втрати ферментами активності в результаті інактивації. Тому в кожному конкретному випадку при подрібненні сільськогосподарської, лікарської сировини та продуктів на їхній основі необхідно з'ясовувати ступінь позитивних впливів механоактивування на біокомпоненти готових продуктів.

Незважаючи на переконливі переваги використання дезінтеграторного обладнання для подрібнення різних матеріалів, слід враховувати ту обставину, що при механічному контактуванні двох пружних тіл при напругах, близьких до руйнівних, в зоні контакту можуть розвиватися високі температури, що, за літературними даними, сягають 400 °C і більше.

Цю обставину слід враховувати при виборі оптимальних параметрів подрібнення рослинних матеріалів, які мають низькі значення коефіцієнтів тепло- та температуропровідності, що неминуче призводить до місцевих локальних перегрівів. У результаті відбувається налипання часток матеріалів на ударні поверхні пальців роторів дезінтегратора. Водночас із диспергуванням проходить процес агломерації уже подрібнених часток; і найголовніше – підвищені температури призводять до втрат вітамінів, руйнування міжмолекулярних зв'язків тощо. Це істотним чином знижує харчову та біологічну цінність отриманих порошків.

Тому перед диспергуванням доцільно попередньо підготувати сировину таким чином, щоб надати їй крихкої структури і зменшити завдяки цьому до мінімуму час перебування матеріалу в зоні дезінтеграції.

Цієї мети можна досягти двома шляхами. Відомо, що будь-які матеріали набувають високої крихкості в замороженому стані. Тому перший шлях полягає у заморожуванні рослинних продуктів і подальшому їх криподрібненні. Другий шлях передбачає заморожування сировини, сублімацію закристиалізованої води і подрібнення в дезінтеграторах.

Для реалізації першого шляху необхідно мати досить складний у виконанні криподрібнювач. До такого обладнання висувається ряд вимог, оскільки специфіка криподрібнення вимагає мінімізації втрат зріджених газів на охолодження самого обладнання і в навколишнє середовище. Тому корпус помольної камери повинен мати відповідну теплоізоляцію.

Добре відомо, що безперервний спосіб організації будь-якого процесу енергетично завжди має переваги перед періодичним. При подрібненні це пов'язано з безперервним надходженням і виведенням продуктів із помольного простору. Подрібнений продукт завжди містить частки, які не досягли потрібного кінцевого розміру. Тому постає завдання повернення таких часток у зону подрібнення. І в решті-решт криподрібнювальна установка обростає транспортними комунікаціями та транспортувальними пристроями. Все це неминуче викликає додаткові витрати холодильного агента і технологічно досить складно виконується.

Зважаючи на сказане, у своїх дослідженнях ми віддали перевагу другому шляху, тобто заморожували рослинні матеріали, в даному випадку пророщений овес – рідким азотом, проводили сублімацію за розробленим раніше технологічним способом і подрібнювали сублімовані продукти у дезінтеграторі. Тривалість подрібнення не перевищувала 50...60 с, що дало змогу зберегти у диспергованих продуктах весь комплекс біологічно активних речовин сировини.

Таких мінімальних витрат часу на подрібнення вдалось досягти завдяки використанню результатів дослідження Г. Ходакова, який на прикладі диспергування кварцу виявив дуже важливий із практичної точки зору ефект, а саме: питома поверхня подрібнених матеріалів різко зростає в присутності добавок невеликої кількості води. Більше того, тривалість процесу подрібнення зменшується при цьому у 3...4 рази.

У таблиці 1 наведено результати тривалості процесу подрібнення сублімованого (після пророщування) зерна вівса залежно від його залишкової вологості та інших параметрів заморожування. Дисперсність отриманого порошку в кожному випадку складає (98±2,05) мкм.

Таблиця 1 – Вплив залишкової вологості сублімованого зерна вівса на тривалість диспергування

Залишкова вологість, %	Закристиалізована вода (% до загальної маси води)	Температура початку плавлення води, °С	Тривалість диспергування, хв
13,2	69,9	-20,0	4,4
9,4	68,4	-20,0	2,2
8,5	62,8	-18,0	2,1
6,9	64,8	-18,2	5,1
5,4	38,6	-18,8	6,0
4,1	26,9	-19,0	6,0

Отже, при сублімуванні заморожених зразків пророщеного зерна достатньо процес сушіння проводити до залишкової вологості в межах 8...9,5 %. Ця вода справляє, очевидно, розклинювальний вплив на частки сублімованих матеріалів, сприяючи швидшому їх диспергуванню. Однак при збільшенні вмісту залишкової води понад 13 % тривалість диспергування зростає, хоча і не такою мірою, як при зменшенні залишкової вологості нижче 5 %.

Очевидно, виявлений ефект позитивної дії певної концентрації залишкової води в сублімованих матеріалах (у даному випадку 8...9,5 %) при їх механоактивуванні має ту ж природу, що і встановлений Г. Ходаковим при диспергуванні кварцу.

Відомо, що отримана величина дисперсності матеріалів має раціонально узгоджуватись із витратами енергії на цей процес. Тому було проведено дослідження із з'ясування залежності дисперсності часток зерна вівса від енерговитрат, результати яких наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Залежність гранулометричного складу порошку пророщеного вівса від параметрів подрібнення

Швидкість обертання роторів дезінтегратора, с ⁻¹	Енергоємність, кДж/кг	Вміст часток, % при діаметрі сит, мкм		
		250...150	150...100	Менше 100
50	22	15,6	7,4	77,0
100	38	4,2	9,6	86,0
150	46	3,6	7,4	89,0
200	70	1,8	6,5	91,7
250	88	1,6	6,0	92,4
300	98	1,4	6,0	92,6

За даними таблиці, збільшення швидкості обертання роторів понад 200 с⁻¹ лише незначно впливає на вміст фракції менше 100 мкм (від 89 до 91,7 %), зате енергоємність зростає з 46 до 70 кДж/кг, що в сучасних умовах енергетичної кризи в країні є досить вагомим аргументом на користь вибору таких параметрів подрібнення, які б забезпечували дисперсність матеріалу, достатню для його високої засвоюваності живим організмом при порівняно невисоких енерговитратах.

Таким чином, подрібнення та механоактивування пророщеного і сублімованого зерна доцільно вести при швидкості обертання роторів дезінтегратора 100...150 с⁻¹, енерговитрати при цьому складають 38...46 кДж/кг. Тривалість процесу не перевищує 2,5 хв.

За таких умов з основними біокомпонентами пророщеного зерна вівса відбувається ряд позитивних змін, що забезпечують у подальшому при споживанні харчових продуктів або біологічно активних добавок на його основі підвищену засвоюваність організмом людини, а значить – і реальну можливість часткової або повної ліквідації дефіциту певних біологічно активних речовин.

У таблиці 3 наведено результати впливу механоактивування сублімованого пророщеного зерна вівса на ефект вилучення основних біокомпонентів.

Таблиця 3 – Кількісні зміни основних біокомпонентів пророщеного сублімованого зерна вівса при механоактивуванні в дезінтеграторі

Показники	Вихідний продукт, %	Дезінтегрований продукт, %
Вітамін Е	100	118
Клітковина	100	72
Пектин нерозчинний	100	96
Пектин розчинний	100	230
Сума цукрів	100	210
Моноцукри	100	230
Амінний азот	100	128

Таким чином, механохімічне активування сублімованого зерна вівса в дезінтеграторі сприяє перш за все підвищенню вмісту в готовому продукті вітамінів. Реєстроване збільшення вітаміну Е у порошках зерна вівса свідчить про те, що в результаті руйнування на надмолекулярному рівні тканин зерна відбувається деградація і розрив зв'язків між вітаміном Е та іншими біокомпонентами зерна – крохмалем, білками, ферментами, полісахаридами тощо. Наявні методики визначення вітаміну Е дають можливість встановити лише ту його частку, яка перебуває у вільній формі. При тонкому подрібненні ми маємо можливість отримати більшу кількість вітаміну у вільній формі, оскільки в найбільш лабільних ланках біокомплексів при виникненні критичних напруг зв'язки руйнуються з вивільненням певної частки вітаміну Е.

Згідно з даними таблиці 3, збільшується як загальна сума цукрів, так і моноцукрів. Очевидно, при тонкому диспергуванні від молекул полісахаридів відщеплюються низькомолекулярні компоненти (фруктоза, глюкоза). Зазначені зміни не лише сприяють підвищенню біологічної цінності пророщеного зерна, а й забезпечують зростання біодоступності його компонентів. Результати ферментативного гідролізу білків зерна вівса пепсином, трипсином та химотрипсином наведено в таблиці 4.

Результати таблиці 4 свідчать про те, що під дією ферментів найбільшою мірою розпадаються до амінокислот білки пророщеного сублімованого механоактивованого зерна вівса (наприклад, збільшення оптичної густини зростає з 0,164 для свіжого зерна до 0,306 – для пророщеного диспергованого).

Таблиця 4 – Біодоступність білків диспергованого зерна вівса дії ферментів

Дослідні зразки	Оптична густина гідролізатів, D, одиниці опт. густини			
	1 год	2 год	3 год	4 год
Пепсин				
Зерно до пророщування	0,164	0,236	0,314	0,353
Пророщене сублімоване зерно	0,237	0,315	0,396	0,448
Дисперговане зерно	0,306	0,374	0,458	0,495
Трипсин				
Зерно до пророщування	0,276	0,324	0,426	0,476
Пророщене сублімоване зерно	0,394	0,425	0,588	0,630
Дисперговане зерно	0,417	0,500	0,635	0,748
Химотрипсин				
Зерно до пророщування	0,417	0,518	0,566	0,600
Пророщене сублімоване зерно	0,550	0,676	0,720	0,795
Дисперговане зерно	0,590	0,680	0,747	0,830

Таким чином, усі позитивні зміни, що відбуваються у зерні під час його пророщування, заморожування, сублімації та механоактивування сприяють переходу значної кількості білка з важкорозчинного у легкорозчинний стан, і свідчать про складні конформаційні та деструктивні перетворення біополімерів рослинної сировини в ході цих процесів.

Дані таблиці дають можливість також зробити висновок, що білки вівса, як і криопорошків моркви, найкраще перетравлюються пепсином, а трипсином та химотрипсином – меншою мірою.

Література

1. Логунова И.В. Экспериментальное исследование биодоступности комбинированного препарата Диоксид [Электронный ресурс] / Логунова И.В., Богомолова Н.С., Чистяков В.В. // Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2012. – №5. – Режим доступа. <http://www.pharmacokinetics.ru/part.php?pid=29>
2. Каркищенко Н.Н. Основы биомоделирования [Текст] : монография / Н.Н. Каркищенко. – М. : ВПК, 2004. – 608 с.
3. Сімахіна Г.О. Теоретичні та практичні аспекти механохімії і механоактивування в процесах подрібнення / Г.О. Сімахіна // Харчова промисловість. – 2011. – №10-11. – С. 24-31.
4. Бутягин П.Ю. Кинетика и природа механохимических реакций / Павел Бутягин // Успехи химии. – 1981. – Т. 11, вып. 11. – С. 1929-1956.
5. Сегалова Н.Е. Кинетическая теория прочности твердых тел / Н.Е. Сегалова, А.М. Дубинская, А.А. Иванова // Химико-фарм. журнал. – 1991. – №7. – С. 96-104.
6. Колесников Ю.В. Механика контактного разрушения [Текст] / Ю.В. Колесников, Е.М. Морозов. – М. : Наука, 1989. – 224 с.
7. Хинт И. УДА-технология : проблемы и перспективы / И. Хинт. – Таллинн : Валгус, 1991. – 35 с.

УДК 631.84: 633.1

ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

Сухомуд О.Г., канд. с.-г. наук, доцент, Любич В.В., канд. с.-г. наук
Уманський національний університет садівництва, м. Умань

Наведено дані досліджень впливу різних норм азотних добрив і погодних умов на формування вмісту білка і клейковини в зерні тритикале ярого, індекс деформації клейковини та розтяжність.

Research data of the effect of the rates of fertilizers and weather conditions on the formation of protein and gluten in the grain of spring triticale, index of gluten deformation and extensibility are presented.

Ключові слова: тритикале яре, білок, клейковина, індекс деформації клейковини.

Важливим резервом підвищення виробництва зерна є впровадження у виробництво більш врожайних сортів та гібридів зернових культур. Останніми роками увагу багатьох учених привертає тритикале яре,