

Стуконоженко Тетяна Анатоліївна, асп. кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: ktrppom@ukr.net.

Стуконоженко Татьяна Анатольевна, асп. кафедра технологій переробки плодів, овочей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktrppom@ukr.net.

Stukonogenko Tatyana, graduate student, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktrppom@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 635.652/654:664.871

МЕХАНОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ НАНОТЕХНОЛОГІЇ БІЛКОВИХ ДОБАВОК ІЗ ГОРОХУ В ЛЕГКОЗАСВОЮВАНІЙ ФОРМІ

**Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Т.В. Котюк, Т.С. Маціпура,
О.С. Погарський**

Вивчено механохімічні процеси під час розробки нанотехнологій білкових добавок із гороху в легкозасвоюваній наноформі. Як інновацію використовували дрібнодисперсне подрібнення термообробленої сировини, яке супроводжується процесами неферментативного біокаталізу-механолізу важкорозчинних наноконплексів біополімерів (гетерополісахаридів і білків) в розчинну форму. Розкрито суть механізмів процесів. Розроблено нанотехнологію отримання добавок із гороху в наноформі з рекордним вмістом БАР (біологічно активних речовин).

Ключові слова: механохімічні процеси, нанотехнологія, дрібнодисперсне подрібнення, неферментативний біокаталіз-механоліз, наноконплекси, біополімери, гетерополісахариди.

© Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Котюк Т.В., Маціпура Т.С.,
Погарський О.С., 2016

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ БЕЛКОВЫХ ДОБАВОК ИЗ ГОРОХА В ЛЕГКОУСВАЯЕМОЙ ФОРМЕ

**Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская, Т.В. Котюк, Т.С. Маципура,
А.С. Погарский**

Изучены механохимические процессы при разработке нанотехнологий белковых добавок из гороха в легкоусваиваемой наноформе. В качестве инновации использовали мелкодисперсное измельчение термообработанного сырья, которое сопровождается процессами неферментативного биокатализа-механолиза труднорастворимых наноконплексов биополимеров (гетерополисахаридов и белков) в растворимую форму. Раскрыта суть механизмов процессов. Разработана нанотехнология получения добавок из гороха в наноформе с рекордным содержанием БАВ (биологически активных веществ).

Ключевые слова: механохимические процессы, нанотехнология, мелкодисперсное измельчение, неферментативный биокатализ-механолиз, наноконплексы, биополимеры, гетерополисахариды.

MECHANOCHEMICAL PROCESSES IN DEVELOPING NANOTECHNOLOGY OF PEA PROTEIN SUPPLEMENTS IN EASILY DIGESTIBLE FORM

R. Pavlyuk, V. Pogarska, T. Kotuyk, T. Matsipura, A. Pogarskiy

Nanotechnology of protein plant additives in the form of puree from peas is developed. It is based on the processes of raw materials' deep processing. Finely dispersed grinding for thermally processed raw material followed by the processes of non-enzymatic biological catalysis-mechanolysis of hard-soluble nanocomplexes of biopolymers (heteropolysaccharides and proteins) is used in this work as the innovation. Mechanisms of the processes are revealed. Nanotechnology of obtaining additives from peas in nanoform with the extraordinary content of biologically active substances is elaborated. When using traditional methods of raw material processing, biological potential is not used in full.

It was found that during deep processing of plant raw materials (dried peas), which is based on comprehensive effect of steam and thermal processing and finely dispersed grinding on the raw material in obtaining nanostructured puree, the processes of mechanical destruction and mechanical chemistry occur. These processes are accompanied by non-enzymatic biocatalysis – mechanolysis (destruction) of hard soluble biopolymers and nanocomplexes of biopolymers (proteins, heteropolysaccharides, namely, pectin, cellulose, starch) with their transformation to monomers (35...55%) into soluble easily absorbed form (almost 2 times higher compared to the original raw material in a hidden form). The mechanism of protein mechanical destruction and its nanocomplexes associated with mechanical cracking is the reason of mechanodestruction. It is found that steam and thermal processing, and finely dispersed grinding of peas, leads to the destruction of polysaccharides by non-enzymatic catalysis, namely cellulose and starch (30...35%), protopectin (50%), to separate monomers while obtaining finely

dispersed puree. It is shown that in parallel an increase of glucose in nanopuree of peas occurs (1.0 g. ...10.0 g/100 g, i.e. by 10 times). The elaborated nanotechnology of finely dispersed additives in the pureed form and nanopowder from dried peas, which differs by the deep processing of raw materials, and grounds on the use of complex influence of steam and thermal processing of raw material and fine grinding. Puree and nanopowder are in found a nanoscale easily digestible form due to mechanodestruction of the cells, fibers and hard-soluble nanocomplexes of biopolymers and associates to certain monomers. Their quality exceeds Ukrainian and foreign analogues. The reason of the protein destruction (to certain monomers of α -amino acids) and hard-soluble biopolymers and their nanocomplexes is the result of non-enzymatic bio catalysis – mehanolysis occurring under the influence steam and thermal processing, and fine grinding.

Keywords: *mechanochemical processes, nanotechnology, fine grinding, non-enzymatic biocatalysis-mehanolysis, nanocomplex, biopolymers, heteropolysaccharides.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо, що для організму людини рослинна сировина, зокрема плоди, овочі, є джерелом цілющих біологічно активних речовин, таких як вітаміни, каротиноїди, антоціани, хлорофіли, фенольні сполуки, мінеральні речовини та неперетравлювальні компоненти – пребіотики, такі як гетерополісахариди, білок, целюлоза, пектинові речовини та ін. [1–4]. В організмі людини вони зміцнюють його захисні сили, зміцнюють судини серця й мозку, сприяють профілактиці онкозахворювань, а також детоксикації та очищенню організму від різних видів шкідливих і токсичних речовин [5; 6]. Слід зазначити, що, незважаючи на корисні властивості плодоовочевої сировини, на сьогодні біологічний потенціал (за вмістом вітамінів та інших БАР, білка, амінокислот, полісахаридів та ін.), закладений у рослинній сировині, у світі використовується тільки частково. Значні втрати БАР (від 20 до 80%) відбуваються за традиційних методів переробки, а також під час споживання свіжої та готової продукції (від $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$). Значна частина цілющих речовин важко засвоюється організмом людини, тобто відбуваються значні втрати біологічного потенціалу цінної харчової рослинної сировини як під час переробки, так і під час споживання, які в межах планети Земля становлять сотні мільярдів тонн [1; 4; 7–9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із основних способів збереження всього цінного, що є в плодоовочевої сировині, який використовується у світі, є впровадження безвідходних технологій виробництва. Аналіз літературних джерел показав, що в рослинній сировині наявні у значній кількості приховані (зв'язані) форми БАР і біополімерів, значний прихований біологічний потенціал, використання якого можна порівняти зі збільшенням урожайності

плодоовочевої сировини в декілька разів [10–12]. У своїх попередніх роботах автори показали, як можна не тільки зберігати все цінне в рослинній сировині, але й більш повно вилучити з неї БАР, біополімери, що перебувають у прихованій неактивній формі [6]. У результаті багаторічних фундаментальних і прикладних досліджень (близько 30 років) автори цієї статті вперше в міжнародній практиці виявили та встановили, що в неактивній формі в рослинній сировині L-аскорбінової кислоти міститься в 2–4 рази більше, ніж у вільній (у формі кристалів), що фіксується загальноприйнятими методами, а також пектинових речовин у 4–5 разів більше (які під час вилучення трансформуються у високометоксильовану форму, про що свідчать желуючі властивості), каротиноїдів – у 2,5–4 рази більше, низькомолекулярних фенольних сполук – у 1,8–2,5 разу більше та ін.

Традиційні методи переробки рослинної сировини призводять до значних втрат вітамінів та інших БАР, біополімерів та неповного використання біологічного потенціалу сировини. У зв'язку з цим на сьогодні в міжнародній практиці гостро стоїть проблема розробки високих технологій, зокрема нанотехнологій, які можуть зробити процес обробки харчової сировини більш інтенсивним, глибоким, ефективним, з максимальним збереженням цінних БАР і поживних речовин, збільшити вилучення (екстракцію) цільових компонентів, запровадити ресурсозбережні процеси, безвідходні технології та менш енергоємні процеси. Труднощі під час переробки плодоовочевої сировини з високим вмістом важкорозчинних біополімерів, їх нанокомплексів (зокрема целюлози, білків, пектинових речовин та ін.) пов'язані з тим, що значна частина перерахованих речовин у свіжій сировині перебуває в неактивній (прихованій, зв'язаній) формі [8–14].

Особливе місце серед рослинної сировини займають бобові, зокрема горох (висушений), боби, сочевиця та ін. Відомо, що горох є традиційним джерелом рослинних повноцінних білків, незамінних амінокислот, гетерополісахаридів (целюлози, крохмалю, пектинових речовин та ін.), які в рослинній сировині перебувають у формі важкорозчинних наноасоціатів і нанокомплексів, що слабо засвоюються організмом людини (усього на 30...50%). Вони належать до пребіотиків, непертравлюваних інгредієнтів їжі та стимулюють в організмі людини розвиток і метаболічну й біологічну активність однієї або декількох груп власних бактерій, які складають кишкову мікрофлору людини, позитивно впливають на склад мікробіоценозу [2–6].

На сьогодні глобальною проблемою в міжнародній практиці є дефіцит білка в раціонах харчування населення. За статистичними даними [15; 16] в Україні потреба в білках задовольняється не повною мірою. Горох є важливим джерелом повноцінного білка, який за своєю біологічною цінністю не поступається тваринному. Проте сьогодні горох не знайшов належного застосування в харчовій промисловості України. Асортимент продуктів із гороху висушеного обмежений і представлений декількома видами продукції: сухий концентрат із гороху для супів, горохове борошно, горохове пюре, пастоподібні закуски – намазки, які називають «хумуси» (виробництво Ізраїль) та ін. Літературних джерел, у яких містилася б інформація про інноваційні технології отримання дрібнодисперсних добавок із гороху у формі пюре й порошоків, не виявлено. У зв'язку із цим актуальною є розробка нових наноструктурованих добавок із гороху та оздоровчих продуктів з їх використанням.

Відомо, що сьогодні одним із прогресивних методів переробки рослинної сировини є криогенне та дрібнодисперсне подрібнення без застосування холоду. Щодо переробки гороху висушеного, то ці методи практично не застосовувалися, не вивчалися процеси механодеструкції, механоактивації. На сьогодні перспективні способи дрібнодисперсного подрібнення вже широко застосовуються в хімічній, авіаційній, текстильній, будівельній галузі [17–24]. У харчовій промисловості ці процеси майже не вивчені.

Під час розробки технологій отримання нанопорошків і нанопюре з гороху висушеного як інновацію було запропоновано використовувати дрібнодисперсне подрібнення паротермічно обробленого гороху, що супроводжується процесами механодеструкції та неферментативного біокаталізу. Комплексне використання вказаних технологічних прийомів дозволило розробити новий спосіб отримання наноструктурованого пюре й нанопорошків із гороху з якісно новими порівняно з вихідною сировиною й аналогами характеристиками та хімічним складом, який не можна отримати, використовуючи традиційні методи.

Стаття присвячена розробці нанотехнології білкових рослинних добавок у формі нанопорошків і нанопюре з гороху, яка заснована на процесах глибокої переробки сировини. Як інновацію використовували дрібнодисперсне подрібнення термообробленої сировини, яке супроводжується неферментативним біокаталізом-механолізмом наноконструкцій біополімерів (гетерополісахаридів і білків) в розчинну легкозасвоювану форму (майже в 2 рази більше, ніж у вихідній сировині).

Мета статті – розробка нанотехнології отримання добавок у формі поре та нанопорошків із гороху, яка заснована на процесах глибокої переробки сировини з використанням як інновації дрібнодисперсного подрібнення попередньо обробленої (паротермічно) сировини, яке супроводжується процесами термомеханодеструкції, механоактивації та механолізу складних важкорозчинних наноасоціатів та нанокомплексів біополімерів та виявлення закономірностей і механізму зазначених процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити закономірності та механізм впливу неферментативного біокаталізу-механолізу на трансформацію зв'язаних і вільних амінокислот під час отримання наноструктурованого поре та нанопорошків із гороху;

- вивчити вплив процесів неферментативного біокаталізу-механолізу (механічного руйнування) гетерополісахаридів (крохмалю, целюлози, пектинів);

- розробити нанотехнологію отримання наноструктурованого поре та нанопорошків із використанням глибокої переробки гороху разом із паротермічною обробкою та дрібнодисперсним подрібненням, яке супроводжується процесом механолізу;

- вивчити особливості хімічного складу нанопорошків і нанопоре із висушеного гороху (білок, незамінні й замінні амінокислоти та їх зв'язані й вільні форми, амінокислотний скор, масова частка важкорозчинних гетерополісахаридів (крохмалю, пектину, целюлози), мінеральний склад (К, Са, Ма, Р, Na, Si), вітаміни (Е, В₁, В₂, холін), моноцукри та ін.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наведені в цій статті наукові результати є продовженням роботи авторів на тему «Створення та впровадження прогресивних технологій та ефективного обладнання для отримання нових функціональних оздоровчих харчових продуктів», яка була удостоєна в 2006 році Державної премії України в галузі науки і техніки [8].

Головним під час розробки нанотехнологій поре та нанопорошків з гороху з використанням процесів глибокої переробки рослинної сировини, зокрема паротермічної обробки в поєднанні з дрібнодисперсним подрібненням, було збільшити ступінь вилучення з сировини прихованих зв'язаних форм біополімерів у нанокомплексах у вільний стан, трансформувати білки, гетерополісахариди (харчові волокна, зокрема целюлозу, пектинові речовини) в розчинну форму за рахунок механодеструкції та механолізу (механічного руйнування за рахунок механічної енергії).

Дослідження проведено в ХДУХТ (м. Харків, Україна) на кафедрі технологій переробки плодів, овочів і молока в науково-дослідній лабораторії «Інноваційні кріо- та нанотехнології рослинних добавок та оздоровчих продуктів».

У роботі запропоновано та розроблено технологію отримання наноструктурованого пюре та нанопорошку із висушеного гороху, яка включає паротермічну обробку та дрібнодисперсне подрібнення. Роботу виконано з використанням сучасного обладнання: для паротермічної обробки використовували пароконвекційну піч (Італія), традиційне обладнання для паротермічної обробки, активатор-подрібнювач – кутер (Франція), бінокулярний мікроскоп, із відеокамерою та калібрувальною шкалою в мікрометровому та нанометровому діапазоні.

Горох, який використовували як сировину під час розробки добавок у наноструктурованій формі, має високий вміст повноцінного білка (від 23,8 до 25,0%) та містить незамінні амінокислоти, такі як лізин, триптофан, треонін, фенілаланін і тирозин, валін, ізолейцин, лейцин.

Так, вміст триптофану в білку гороху в 5 разів більший, ніж в ідеальному білку (згідно з величиною амінокислотного скору порівняно зі шкалою ФАО/ВОЗ), амінокислот лізину та фенілаланіну в 3,4 рази більше, треоніну та валіну, ізолейцину, лейцину в 2,3–2,6 рази більше. Лімітуючою амінокислотою є метіонін (її амінокислотний скор становить 74,3%). Показано також, що горох відрізняється високим вмістом важкорозчинних гетерополісахаридів – крохмалю – від 44,8 до 46,5%, целюлози – від 8,9 до 10,1%, пектину – від 3,2 до 3,8%. Виявлено також, що масова частка загального цукру становить від 3,0...3,5%, вона представлена моноцукрами, здебільшого фруктозою (1,2...1,3%) та глюкозою – 1,0...1,4%. Показано, що кількість золи становить 2,8...3,0%. Мінеральні речовини гороху представлені всім спектром мікроелементів (К, Са, Ма, Р, Na), також міститься кремній. Вітаміни гороху представлені вітаміном Е (9,1...11,2 мг в 100 г), рибофлавіном (0,15...0,30 мг в 100 г), а також холіном (200...210 мг в 100 г), тіаміном (0,8...1,2 мг в 100 г).

Установлено, що паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення висушеного гороху під час отримання з нього дрібнодисперсного пюре й нанопорошків супроводжується процесами механодеструкції та неферментативного біокаталізу та призводить до руйнування білка та нанокомплексів і наноасоціатів білка з іншими біополімерами, зокрема гетерополісахаридами, та їх часткового механолізу на 48...55% до окремих α -амінокислот (табл. 1, 2).

Показано, що у вихідній сировині – висушеному гороху – 10% білка перебуває у вільному стані у вигляді вільних амінокислот і 90% у зв'язаному стані (відповідно 1,1 та 10,9 г) у вигляді зв'язаних амінокислот (табл. 2). Крім того, показано, що кількість вільних амінокислот у нанопорошку з горохового пюре збільшується в 3,5...7,5 разу порівняно з вихідним висушеним горохом (табл. 2). Це пов'язано з тим, що значна частина білка трансформувалася в розчинну форму у вільні α -амінокислоти, які легко засвоюються живими організмами, тобто був виявлений ефект механодеструкції й руйнування білків до вільних амінокислот, які є нанорозмірні. Відомо, що розмір молекули α -амінокислот знаходиться в інтервалі від 0,42 до 1,5 нм.

Таблиця 1
Вплив паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення на вміст зв'язаних і вільних амінокислот білка під час отримання наноструктурованого пюре з гороху

Амінокислота	Масова частка амінокислот							
	зв'язаних				вільних			
	Вихідна сировина (грубоподрібнене пюре з гороху), %	Дрібнодисперсне пюре з гороху, %	% до вихідної сировини	Зменшення до вихідної сировини, разів	Вихідна сировина (грубоподрібнене пюре з гороху), %	Дрібнодисперсне пюре з гороху, %	% до вихідної сировини	Збільшення до вихідної сировини, разів
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Аспарагінова кислота	1,14	0,62	54,0	1,8	0,13	0,65	515,1	5,2
Треонін	0,43	0,22	49,8	2,1	0,03	0,25	950,0	5,7
Серін	0,52	0,26	50,0	2,0	0,56	0,32	564,0	5,6
Глутамінова кислота	2,00	1,01	50,2	1,9	0,22	0,22	550,5	5,4
Пролін	0,44	0,45	50,6	2,1	0,10	0,32	338,2	3,5

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цистин	0,33	0,16	49,2	2,0	0,03	0,19	762,1	7,6
Гліцин	0,39	0,20	49,8	2,1	0,04	0,22	861,2	8,7
Аланін	0,52	0,24	47,2	2,2	0,06	0,33	592,1	5,8
Валін	0,58	0,29	50,0	2,0	0,025	0,34	1250,0	2,5
Метіонін	0,12	0,06	45,9	2,2	0,01	0,08	749,0	7,5
Ізолейцин	0,48	0,29	50,5	1,9	0,05	0,28	570,0	5,7
Лейцин	0,86	0,45	52,6	1,9	0,06	0,47	720,0	7,2
Тирозин	0,17	0,18	100,0	1,0	0,19	0,22	107,9	1,1
Фенілаланін	0,55	0,28	51,9	1,9	0,04	0,31	760,0	7,6
Гістидин	0,30	0,15	50,0	2,0	0,07	0,42	431,3	4,3
Лізин	0,86	0,43	50,0	2,0	0,07	0,48	675,6	6,8
Аргінін	1,06	0,80	75,0	1,3	0,02	0,15	600,0	6,0
Триптофан	0,23	0,20	44,4	2,2	0,03	0,15	600,0	6,0
Σ	10,90	5,88	53,9	2,0	1,1	0,32	570,0	5,9

Таблиця 2

Вплив паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення на вміст зв'язаних і вільних амінокислот білка під час отримання наноструктурованого порошку з горохового пюре

Назва амінокислот	Масова частка амінокислот							
	зв'язаних				вільних			
	Вихідна сировина (висушений горох), %	Нанопорошок із горохового пюре, %	% до вихідної сировини	Зменшення до вихідної сировини, разів	Вихідна сировина (висушений горох), %	Нанопорошок з горохового пюре, %	% до вихідної сировини	Збільшення до вихідної сировини, разів
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Аспарагінова кислота	2,28	1,24	54,4	1,8	0,25	1,29	516,0	5,2
Треонін	0,86	0,43	50,0	2	0,05	0,48	960,0	9,6

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серін	1,02	0,51	50,0	2	0,11	0,62	563,6	5,6
Глутамінова кислота	3,95	1,98	50,1	1,9	0,44	2,41	547,7	5,5
Пролін	0,87	0,44	50,6	1,9	0,18	0,61	339,0	3,4
Цистин	0,65	0,32	49,2	2	0,05	0,38	760,0	7,6
Гліцин	0,77	0,39	50,7	1,9	0,05	0,43	860,0	8,6
Аланін	1,02	0,48	47,1	2,1	0,11	0,65	591,0	5,9
Валін	1,16	0,58	50,0	2,0	0,05	0,63	1260,0	12,6
Метіонін	0,24	0,11	45,8	2,2	0,02	0,15	750,0	7,5
Ізолейцин	0,95	0,48	50,5	1,9	0,10	0,57	570,0	5,7
Лейцин	1,71	0,9	52,6	1,9	0,13	0,94	723,1	7,2
Тирозин	0,34	0,35	102,9	1,1	0,38	0,41	107,9	1,1
Фенілаланін	1,1	0,57	51,9	1,9	0,08	0,61	762,5	7,6
Гістидин	0,6	0,29	48,3	2,1	0,03	0,34	1133,3	11,3
Лізін	1,71	0,90	52,6	1,9	0,14	0,95	678,6	6,8
Аргінін	2,13	1,60	75,1	1,3	0,16	0,69	431,3	4,3
Триптофан	0,45	0,20	44,4	2,25	0,05	0,30	600,0	6,0
Σ	21,81	11,77	54,0	1,9	2,38	12,44	574,5	5,7

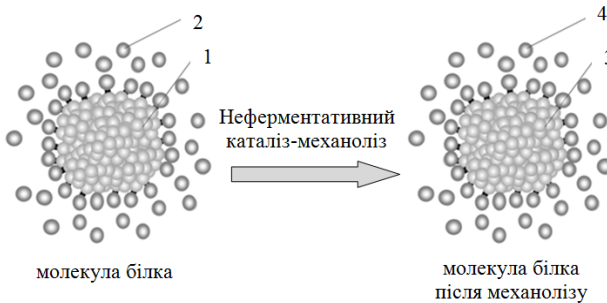


Рис. 1. Схематичне відображення механізму впливу паротермічної обробки та неферментативного каталізу на деструкцію й механоліз молекул білка гороху у водорозчинну форму до окремих амінокислот під час переробки гороху термообробленого, де: 1 – біополімер-білок; 2 – вільні амінокислоти; 3 – низькомолекулярні фрагменти білка (дипептиди, трипептиди); 4 – вільні амінокислоти під час отримання дрібнодисперсних добавок у наноформі

Отримане нанопюре технологічне, легко утворює гелі й розширює спектр його застосування для збагачення різних харчових продуктів незамінними амінокислотами, іншими БАР та поживними речовинами.

Механізми механодеструкції та механолізу білка та його наноконструкцій і наноасоціатів з іншими біополімерами, який пов'язаний з механокрекінгом, показані на рис. 1.

Таблиця 3

Вміст розчинних і нерозчинних компонентів-біополімерів нанопорошків і нанопюре з гороху порівняно з аналогами та вихідною сировиною

Найменування показника	Горох висушений (вихідна сировина)	Дрібнодисперсне пюре з гороху	Нанопюре з гороху	Порошкоподібне пюре з гороху (аналог)	Пюре з гороху (аналог)
Білок, % на СР	23,8...25,0	14,0...14,5	25,0...27,5	22,0...22,5	12,5...13,0
Зв'язані амінокислоти, % на СР	21,8...22,5	5,9...6,0	10,9...12,2	19,5...20,0	11,0...11,2
Вільні амінокислоти, % на СР	2,0...2,5	6,0...7,0	11,5...13,0	3,5...4,0	1,5...1,8
Протопектин, % на СР	3,2...3,8	1,4...1,6	1,2...1,4	3,2...3,4	2,8...3,0
Розчинний пектин, % на СР	0,4...0,5	1,8...2,0	3,6...4,0	0,8...0,9	0,7...0,8
Крохмаль, % на СР	44,8...46,5	20...21	34...36	33,0...40,0	22...23
Целюлоза, % на СР	8,9...10,1	3,5...4,0	5,2...7,0	8,9...9,0	6,0...6,2
Глюкоза, % на СР	1,0...1,4	2,5...5,0	11...15,0	2,0...2,1	1,6...1,8
Загальний цукор, %	3,5...3,8	7,0...7,5	24...28	6,5...6,8	3,0...3,2
Сухі речовини, %	14...14,5	45...50,0	5...8	8...9	45...50

Паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення висушеного гороху під час отримання із нього дрібнодисперсного пюре за рахунок неферментативного біокаталізу-механолізу призводять до руйнування важкорозчинних біополімерів та їх наноконкомплексів, гетерополісахаридів, зокрема целюлози, крохмалю (на 30...35%) та протопектину на 50% в розчинну форму. Паралельно відбувається збільшення глюкози в нанопюре з гороху (від 1,0 г в 100 г до 10,0 г в 100 г), тобто в 10 разів порівняно з вихідною сировиною (табл. 3).

Отримані хімічними методами результати дослідження впливу кріомеханодеструкції на наноконкомплекс та наноасоціати біополімерів із низькомолекулярними БАР та окремими біополімерами під час отримання нанодобавок із гороху були підтверджені методом спектрального аналізу під час вивчення ІЧ-спектрів (рис. 2).

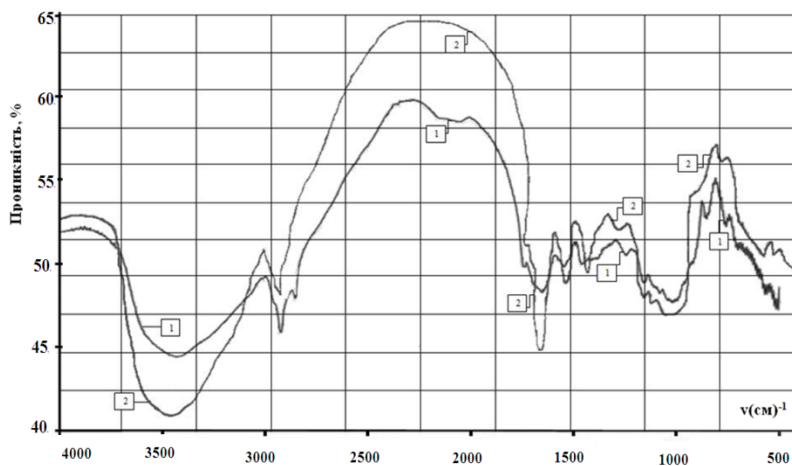


Рис. 2. Порівняння ІЧ - спектрів гороху термообробленого, висушеного та грубоподрібненого (1), дрібнодисперсного гороху термообробленого та висушеного за допомогою теплового сушіння (2)

Під час порівняння ІЧ-спектрів гороху висушеного та отриманих з нього (попередньо термообробленого) дрібнодисперсних добавок у формі пюре та нанопорошків встановлено, що під час паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення спостерігається значне зменшення інтенсивності спектрів широкої характеристичної полоски в

області частот за $V = 3600 \dots 3000 \text{ см}^{-1}$, характерної для валентних коливань функціональних груп – ОН. Це свідчить про руйнування внутрішньомолекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків, деструкції наноконплексів і наноасоціатів біополімерів із низькомолекулярними БАР, дезагрегацію, руйнування (зокрема неферментативного каталізу-механолізу, який виникає під час механічного подрібнення та паротермічної обробки) біополімерів (білка, гетерополісахаридів, пектинових речовин, целюлози, крохмалю) та їх наноконплексів і наноасоціатів. Паралельно в області частот за $V = 2900 \dots 2000 \text{ см}^{-1}$ та $V = 1700 \dots 1100 \text{ см}^{-1}$ характерних для валентних коливань груп $-\text{CH}_3$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NH}$, $\text{CO}-$, а також ненасичених подвійних зв'язків спостерігається значне збільшення інтенсивності спектрів. Це свідчить про збільшення після подрібнення функціональних груп α -амінокислот, які відбуваються під час руйнування білків до окремих мономерів α -амінокислот у результаті неферментативного біокаталізу-механолізу, а також руйнування інших біополімерів, зокрема целюлози до глюкози, пектину до галактуронової кислоти, крохмалю до глюкози та ін. та руйнування наноконплексів «біолімер – БАР» і трансформації низькомолекулярних БАР у вільну форму (зокрема низькомолекулярних фенольних сполук і вітамінів та ін.), що підтверджують експериментальні дані, отримані за допомогою хімічних методів аналізу.

На основі отриманих експериментальних даних була розроблена нанотехнологія переробки гороху висушеного в дрібнодисперсне пюре та нанопорошок, яка від традиційних відрізняється тим, що заснована на процесах глибокої переробки сировини та включає паротермічну обробку та дрібнодисперсне подрібнення.

Нова технологія дає можливість отримати добавки з гороху у вигляді дрібнодисперсного пюре та нанопорошку з розміром частинок у десятки разів менше, ніж за традиційних методів подрібнення. Їх якість за вмістом розчинних складових біополімерів (зокрема вільних α -амінокислот, розчинних пектинів, розчинної целюлози) та БАР (вітамінів, ненасичених ароматичних речовин, фенольних сполук та ін.), які вилучені із зв'язаного стану у вільний і перевищують українські та закордонні аналоги.

Під час розробки нових технологій одержані результати стали основою для отримання дрібнодисперсних порошків з гороху для оздоровчого харчування. Нові технології пройшли апробацію у виробничих умовах в НПП «КРІАС» (м. Харків, Україна). На основі експериментальних даних було розроблено нормативну документацію на дрібнодисперсне пюре та порошок із гороху. На їх основі були

розроблені нові види оздоровчих продуктів для масового споживання і спецконтингенту (сухі концентрати для супів, соусів-дресингів, білкові пасти та закуски-намазки та ін.).

До недоліків та особливостей запропонованих методів обробки гороху можна віднести необхідність корегування режимів та особливостей його попередньої підготовки до паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення залежно від сорту, його хімічного складу та ін.

Висновки. Використання глибокої переробки рослинної сировини (зокрема гороху висушеного) засноване на комплексній дії на сировину паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення. Під час отримання наноструктурованого пюре та нанопорошку відбуваються процеси механодеструкції, механохімії, які супроводжуються неферментативним біокаталізом-механолізом (руйнуванням) важкорозчинних наноконкомплексів біополімерів та самих біополімерів (білків, гетерополісахаридів, зокрема пектинових речовин, целюлози, крохмалю) в розчинну легкозасвоювану форму (майже в 2 рази більше, ніж знаходиться у вихідній сировині в прихованій формі) до їх мономерів (на 35...55%). Причиною механодеструкції білка та його наноконкомплексів є механізм пов'язаний з механокрекінгом.

Паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення гороху під час отримання з нього дрібнодисперсного пюре призводить до руйнування полісахаридів за рахунок неферментативного каталізу, зокрема целюлози та крохмалю на 30–35%, протопектину на 50% до окремих мономерів. Показано, що паралельно відбувається збільшення глюкози в нанопюре із гороху від 1,0 г в 100 г до 10,0 г в 100 г, тобто в 10 разів.

Розроблена нанотехнологія дрібнодисперсних добавок у формі пюре та нанопорошку з гороху висушеного, яка відрізняється глибокою переробкою сировини та заснована на використанні комплексної дії паротермічної обробки сировини та дрібнодисперсного подрібнення. Пюре й нанопорошок перебувають в нанорозмірній легкозасвоюваній формі за рахунок механодеструкції клітин, тканин і важкорозчинних наноконкомплексів біополімерів та асоціатів до окремих мономерів. Їх якість перевищує українські й закордонні аналоги.

Причиною руйнування білка (до окремих мономерів α -амінокислот) та важкорозчинних біополімерів та їх наноконкомплексів, ймовірно, є неферментативний біокаталіз-механоліз, що відбувається під дією паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення.

Список джерел інформації / References

1. FAO/WHO/UNU (2013), Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. Food and agriculture organization of the united nations Rome, Vol. 92, 57 p.
2. Капрельянц, Л. В. Пробиотики: химия, технология, применение: монография / Л. В. Капрельянц. – К. : ЭнтерПринт, 2015. – 252 с.
Kaprilyants, L. (2015), *Prebiotics: chemistry, technology, application* [Prebiotiki: himiya, tehnologiya, primeneniye], EnterPrint, K., 252 p.
3. Gibson, G., Roberfroid, M. (2008), *Handbook of Prebiotics*, CRS Press, London, Vol. 4, pp. 22-42.
4. Sousa, M., Santos, E., Sgarbeeri, V. (2011), The importance of prebiotics in functional food and clinical practical, *Food and Nutritional Science*, Vol. 2, pp. 133-144.
5. Roberfroid, M. (2000), Fructo-oligosaccharide malabsorption: benefit for gastrointestinal functions, *Curr Opinion Gastroenterology*, Vol. 16, pp. 173-177.
6. Крио- и механохимия в пищевых технологиях: монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк и др. ; Харьк. гос. ун-т питания и торговли ; Харьк. торг.-экон. ин-т Киевск. нац.торг.-эконом. ун-та. – Х. : Факт, 2015. – 255 с. – (Серия «Новое в пищевых технологиях и инновации в здоровом питании»).
- Pavlyuk, R., Pogarskaya, V., Pavlyuk, V., Radchenko, L., Yur'eva, O., Maksimova, N. (2015), [*Krio- i Mexanoximiya v pishhevix tehnologiyax*]: Fact, Kh., 255 p.
7. Galland, L. (2014), “Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications”, *Reference Module in Biomedical Sciences*, pp. 366-371.
8. Tur, J.A., Bibiloni, M.M. (2015), “Functional Foods”, *Reference Module in Food Science*, pp. 157-161.
9. Tu, J., Zhang, M., Xu, B., Liu, H. (2015), “Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus (*Nelumbonucifera*) root”, *International Journal of Refrigeration*, pp. 59-65.
10. James, S.J., James, C. (2014), “Chilling and Freezing”, *Food Safety Management*, Vol. 20, pp. 481-510.
11. Shi, L., Li, W., Sun, J., Qiu, Y., Wei, X., Luan, G.Hu, Y., Tatsumi, E. (2016), “Grinding of maize: The effects of fine grinding on compositional, functional and physicochemical properties of maize flour”, *Journal of Cereal Science*, Vol. 68, pp. 25-30.
12. Balaz, P. (2010), *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*, Woodhead Publishing Limited, 400 p.
13. Balaz, P., Balaz, M., Bujnakova, Z. (2014), “Mechanochemistry in technology: from minerals to nanomaterials and drugs”. *Chemical Engineering & Technology*, Vol. 37, pp. 747-756.
14. Boldyrev, V.V. (2004), “Mechanochemical modification and synthesis of drugs”, *Journal of Materials Science*, Vol. 39, Issue 16/17, pp. 5117-5120.

Павлюк Раїса Юрїївна, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування і торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Павлюк Раїса Юрьевна, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины, кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Pavlyuk Raisa, doctor of technical sciences, professor, the State Prize laureate of Ukraine, Honored figure of Science and Technology in Ukraine, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Погарська Вікторія Вадимівна, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування і торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 6105; e-mail: ktppom@ukr.net.

Погарская Виктория Вадимовна, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Pogarska Viktoriya, doctor of technical sciences, professor, the State Prize laureate of Ukraine, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Котюк Тетяна Валерїївна, асп. кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Котюк Татьяна Валериевна, асп. кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Kotuyk Tatyana, graduate student, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Маціпура Тетяна Сергїївна, ст. викл. кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Маціпура Татьяна Сергеевна, ст. преп. кафедра кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

Matsipura Tatyana, senior lecturer Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktprom@ukr.net.

Погарський Олексій Сергійович, асп., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: ktprom@ukr.net.

Погарский Алексей Сергеевич, асп., кафедра технологій переробки плодів, овочей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адресс: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: ktprom@ukr.net.

Pogarskiy Aleksey, graduate student, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktprom@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 637.18:634.52-021.635:66.061.3

ВИРОБНИЦТВО РОСЛИННОГО ЗАМІННИКА МОЛОКА

А.К. Д'яконова, В.С. Степанова

Вивчено особливості виготовлення оздоровчих продуктів із рослинної сировини. Розроблено технологію виробництва рослинного замітника молока на основі ядра волоського горіха, наведено схему виробництва горіхового напою та шляхи подальшого використання в складі харчових продуктів.

Ключові слова: замітник, горіхи, технологія, виробництво, екстрагування.

ПРОИЗВОДСТВО РАСТИТЕЛЬНОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ МОЛОКА

А.К. Дьяконова, В.С. Степанова

Изучены особенности изготовления оздоровительных продуктов питания, полученных из растительного сырья. Разработана технология производства растительного заменителя молока из ядра грецкого ореха, приведена схема производства орехового напитка и пути дальнейшего использования в составе пищевых продуктов.

Ключевые слова: заменитель, орехи, технология, производство, экстрагирование.