

**ТЕХНОЛОГІЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ РОСЛИННИХ
ДОБАВОК ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО
БІОКАТАЛІЗУ – МЕХАНОЛІЗУ БІОПОЛІМЕРІВ
(ГЕТЕРОПОЛІСАХАРИДІВ І БІЛКА)**

**Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Т.В. Котюк,
А.С. Погарський, С.М. Лосева**

Розроблено нанотехнологію білкових рослинних добавок у формі пюре із гороху, засновану на процесах глибокої переробки сировини. Як інновацію застосовували дрібнодисперсне подрібнення попередньо обробленої (паротермічно) сировини, комплексне використання яких призводить до механодеструкції, механоактивації та механолізу наноконструкцій біополімерів (білка, гетерополісахаридів та ін.) на 48...52% до α -амінокислот, глюкози та ін.

Ключові слова: нанотехнологія, дрібнодисперсне подрібнення, механодеструкція, механоактивація, механоліз, наноконструкції, біополімери, гетерополісахариди.

**ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО БИОКАТАЛИЗА –
МЕХАНОЛИЗА БИОПОЛИМЕРОВ
(ГЕТЕРОПОЛИСАХАРИДОВ И БЕЛКА)**

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

Разработана нанотехнология белковых растительных добавок в виде пюре из гороха, основанная на процессах глубокой переработки сырья. Как инновацию применяли мелкодисперсное измельчение предварительно обработанного (паротермически) сырья, комплексное использование которых приводит к механодеструкции, механоактивации и механолизу наноконструкций биополимеров (белка, гетерополисахаридов и др.) на 48...52% до α -аминокислот, глюкозы и др.

Ключевые слова: нанотехнология, мелкодисперсное измельчение, механодеструкция, механоактивация, механолиз, наноконструкции, биополимеры, гетерополисахариды.

THE TECHNOLOGY OF NANOSTRUCTURED HERBAL ADDITIVES WITH THE USE OF NON-ENZYMATIC BIOCATALYSIS – MECHANOLYSIS OF BIOPOLYMERS (HETEROPOLYSACCHARIDES AND PROTEIN)

R. Pavlyuk, V. Pogarska, T. Kotuyk, A. Pogarskiy, S. Loseva

Nanotechnology of herbal protein additives in the form puree from peas based on the deep processing of raw materials is developed. Fine-dispersed grinding and steam treatment of raw materials are used as innovation in this research work. When using traditional methods of processing herbal raw materials not all biological potential is used. Significant loss biologically active substance (20...80%) occur when use of traditional methods processing.

It is found that during the deep processing of herbal raw materials (dry peas), which is based on complex effect of steam treatment and fine-dispersed grinding to raw materials during the reception of nano-structured puree, the processes of mechanical destruction and mechanical chemistry occur. These processes are accompanied with non-enzymatic biocatalysis – mechanolysis (destruction) of sparingly soluble biopolymers and their nanocomplexes (protein and heteropolysaccharides, particularly, pectin substances cellulose and starch), which are transformed into monomers (35...55%) in the soluble easily-digestible form (almost 2 times more than in raw materials in hidden form). The mechanism of mechanical destruction of protein and its nanocomplexes connected with mechanical cracking is revealed. It is found that steam treatment and fine-dispersed grinding of peas during the reception of fine-dispersed puree results in the destruction of polysaccharides due to non-enzymatic catalysis, particularly, cellulose and starch (30...35%), protopectin (55%) into separated monomers. It is shown that at that time, glucose increases in nano-puree from peas (1,0 g...10,0 g/100 g in other words 10 times).

The complex use of these processes is accompanied by mechanical destruction, mechanical activation and mechanolysis of biopolymer nano-complexes (protein, heteropolysaccharides, etc.) to α -amino-acids, glucose, etc. (48...52%).

Keywords: nanotechnology, fine-dispersed grinding, mechanical destruction, activation, mechanolysis, nano-complexes, biopolymers, heteropolysaccharides.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Дослідження присвячено розробці нанотехнологій рослинних добавок із висушеного гороху у формі пюре, заснованих на процесах глибокої переробки сировини, виявленню закономірностей і механізму впливу паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення, які супроводжуються процесами механодеструкції та неферментативного біокаталізу – механолізу важкорозчинних неактивних наноконкомплексів біополімерів (зокрема білка та гетерополісахаридів) в розчинну, легкозасвоювану форму.

На думку авторів, їх результати будуть мати практичну цінність як для України, так і для світового суспільства, що пов'язано з дефіцитом натуральних продуктів на всій Землі та відсутністю знань стосовно

прихованих резервів або скритих форм розчинних видів харчових та біологічно активних речовин у існуючій свіжій рослинній сировині та відсутністю способів їх максимального вилучення та використання під час переробки в харчові продукти. Відомо, що, для організму людини рослинна сировина, зокрема плоди, овочі є джерелом цілющих біологічно активних речовин, таких як вітаміни, каротиноїди, антоціани, хлорофіли, фенольні сполуки та неперетравлювальні компоненти – пребіотики, такі як гетерополісахариди, білок, целюлоза, пектинови та мінеральні речовини. В організмі людини вони зміцнюють захисні його сили, укріплюють судини серця й мозку, сприяють профілактиці онкозахворювань, а також детоксикації та очищенню організму від різних видів шкідливих і токсичних речовин. Слід зазначити, що, незважаючи на корисні властивості плодоовочевої сировини на сьогоднішній день біологічний потенціал (за вмістом вітамінів та інших БАР, білка, амінокислот, полісахаридів та ін.), закладений в рослинній сировині, в світі використовується неповністю, 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 для планети Земля становлять сотні т мільярдів [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із основних способів збереження всього цінного, що є в плодоовочевій сировині, та який використовується в світі, є впровадження безвідходних технологій виробництва. Проте ніхто із світової наукової спільноти до появи авторів цієї статті ніколи не підіймав питання про те, що в рослинній сировині існують у значній кількості приховані (зв'язані) форми БАР та біополімерів, значний прихований біологічний потенціал, використання якого можна порівняти зі збільшенням врожайності плодоовочевої сировини в декілька разів. У своїх попередніх дослідженнях автори навчилися не тільки зберігати все цінне в рослинній сировині, але й більш повно вилучити із неї БАР, біополімери, що знаходяться в скритій неактивній формі [5; 6]. У результаті багаторічних фундаментальних та прикладних досліджень (протягом біля 30 років) автори 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 формі (у формі кристалів), що фіксується загальноприйнятими методами, а також пектинових речовин – в 4...5 разів більше (які під час вилучення трансформуються в вискометоксильовану форму, про що свідчать желуючі властивості), каротиноїдів – в 2,5...4 рази більше, низькомолекулярних фенольних сполук – в 1,8...2,5 рази 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 та поживних речовин, збільшити вилучення (екстракцію) цільових компонентів, запровадити ресурсозберігаючі процеси, безвідходні технології та менш енергоємні процеси. Труднощі під час переробки плодоовочевої сировини з високим вмістом складнорозчинних біополімерів їх наноконкомплексів (зокрема целюлози, білків, пектинових речовин та ін.) пов'язані з тим, що значна частина перерахованих речовин у свіжій сировині знаходяться в неактивній (скритій, зв'язаній) формі.

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 знаходяться у формі важкорозчинних наноасоціатів і наноконкомплексів, що слабо засвоюються організмом людини (всього на 30...50%). Вони відносяться до пребіотиків, непертравлювальних інгредієнтів їжі та стимулюють у організмі людини розвиток і метаболічну та 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 в Україні потреба в білках задовольняється всього на 50%. 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, горохова мука, горохове пюре, пастоподібні закуски – намазки, які називають «Хумуси» (виробництво Ізраїль). Літературних джерел, які б несли інформацію про інноваційні технології отримання дрібнодисперсних добавок із гороху у формі пюре і порошків, немає. У зв'язку з 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 кріогенна та дрібнодисперсна подрібнення без застосування холоду. Що стосується переробки гороху висушеного, то практично ніхто цих методів не застосовував, не вивчав процеси

механодеструкції, механоактивації. На сьогодні перспективні способи дрібнодисперсного подрібнення вже знайшли широке застосування в хімічній, авіаційній, текстильній, будівельній галузі [7–10]. У харчовій промисловості ці процеси майже не були вивчені взагалі.

У цьому дослідженні під час розробки технологій отримання нанопорошків із 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 із гороху з якісно новими порівняно з вихідною сировиною й аналогами характеристиками та хімічним складом, який не можна отримати, використовуючи традиційні методи.

Мета статті – є розробка нанотехнологій отримання добавок у формі пюре з гороху, яка заснована на процесах глибокої переробки сировини з використанням в якості інновації дрібнодисперсного подрібнення попередньо обробленої (паротермічно) сировини, яке супроводжується процесами термомеханодеструкції, механоактивації та механолізу складних важкорозчинних біополімерів та виявлення закономірностей і механізмів зазначених процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити особливості хімічного складу висушеного гороху – сировини для виготовлення наноструктурованих добавок у вигляді пюре (кількість білка, незамінні й замінні амінокислоти та їх зв'язані й вільні форми, амінокислотний скор, масову частку важкорозчинних гетерополісахаридів (крохмалю, пектину, целюлози), мінеральний склад (К, Са, Ма, Р, Na, Si), вітаміни (Е, В₁, В₂, холін), моноцукри та ін.;

- виявити закономірності й механізми впливу неферментативного біокаталізу – механолізу на трансформацію зв'язаних і вільних амінокислот під час отримання наноструктурованого пюре із гороху;

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

- розробити нанотехнологію отримання наноструктурованого пюре з використанням глибокої переробки гороху разом із паротермічною обробкою та дрібнодисперсним подрібненням, яке супроводжується процесами механолізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. У Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ) на кафедрі технологій переробки плодів, овочів і молока запропоновано та розроблено технологію отримання наноструктурованого пюре 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 програмним забезпеченням, відеокамерою та калібрувальною шкалою в мікрометровому та нанометровому діапазоні.

Дослідження проведено в ХДУХТ на кафедрі технологій переробки плодів, овочів і молока в науково-дослідній лабораторії «Інноваційні кріота нанотехнології рослинних добавок та оздоровчих продуктів».

Наведені в цій статті наукові результати є продовженням праці 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 [6].

Головним під час розробки нанотехнологій поре 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 наноконформах 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).

Вивчено хімічний склад висушеного гороху, який реалізується в торговельній мережі м. Харкова, як сировину для отримання із нього дрібнодисперсних добавок у формі поре. Показано, що горох відрізняється високим вмістом повноцінного білка (від 23,8 до 25,0%), з високим вмістом незамінних амінокислот, таких як лізин, триптофан, треонін, фенілаланін і тирозин, валін, ізолейцин, лейцин (табл. 1, 2). Так, вміст триптофану в білку гороху міститься в 5 разів більше, ніж у ідеальному білку (згідно з величиною амінокислотного скору порівняно зі шкалою ФАО/ВОЗ) (табл. 2), амінокислот лізину та фенілаланіну в 3,4 разу більше, треоніну та валіну, ізолейцину, лейцину в 2,3...2,6 разу більше. Лімітуючою амінокислотою є метіонін (її амінокислотний скор складає 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 – 3,2...3,8%. Виявлено також, що масова частка загального цукру складає від 3,0...3,5%, вона представлена моноцукрами, здебільшого фруктозою (1,2...1,3%) та глюкозою – 1,0...1,4%. Показано, що кількість золи складає 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).

Таблиця 1

Особливості хімічного складу висушеного гороху, який реалізується в торгівлі, – сировини для дрібнодисперсних добавок із нього у вигляді пюре та порошків

Найменування показників	Зразки гороху		
	№ 1	№ 2	№ 3
Білок, %	24,5	25,0	23,8
Жир, %	1,5	2,0	1,8
Крохмаль, %	46,5	45,0	44,8
Загальний цукор, %	3,0	3,5	3,2
Пектин, %	3,5	3,2	3,8
Целюлоза, %	10,1	8,9	9,2
Глюкоза, %	1,0	1,2	1,4
Фруктоза, %	1,21	1,30	1,25
Зола, %	2,8	3,0	2,9
Мінеральні речовини, мг в 100 г:			
К	890	910	873
Na	35	40	42
Ca	118	125	130
P	330	350	365
Mg	108	115	125
Кремній	83	95	101
Вітаміни, мг в 100 г:			
Е	9,1	10,5	11,2
Рібофлавін	0,15	0,30	0,25
Тіамін	0,80	1,0	1,2
Холін	165	200	210
Волога	14	13	14,5

Установлено, що паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення висушеного гороху під час отримання із нього дрібнодисперсного пюре супроводжується процесами механодеструкції та неферментативного біокаталізу та призводить до руйнування білка та наноконкомплексів і наноасоціатів білка з іншими біополімерами, зокрема гетерополісахаридами та їх часткового механолізу на 48..52% до окремих α -амінокислот (табл. 3). Розкрито механізм механодеструкції білка та його наноконкомплексів і наноасоціатів з іншими біополімерами, який пов'язаний із механокрекінгом.

Таблиця 2

Масова частка незамінних амінокислот та величини амінокислотного скору порівняно зі шкалою ФАО/ВОЗ у білку висушеного гороху

Амінокислота	Масова частка амінокислот		
	за шкалою ФАО/ВОЗ, мг у 1 г білку	у білку висушеного гороху, мг у 1 г	Амінокислотний скор, %
Вміст білка, %		24,21	
Незамінні амінокислоти			
Триптофан	10	50,0	500,0
Лізин	55	185,0	336,4
Треонін	40	91,0	227,5
Валін	50	121,0	242,0
Метіонін	35	26,0	74,3
Ізолейцин	40	105,0	262,5
Лейцин	70	184,0	262,9
Фенілаланін + тирозин	60	118,0+74,0=192,0	320,0

Показано, що у вихідній сировині – висушеному гороху 10% білку знаходиться у вільному стані у вигляді вільних амінокислот і 90% у зв'язаному стані (відповідно 1,1 г та 10,9 г) у вигляді зв'язаних амінокислот (табл. 3).

Крім того, показано, що кількість вільних амінокислот у нанопюре із гороху збільшується в 3,5...7,5 рази порівняно з вихідним висушеним горохом (табл. 3). Це пов'язано з тим, що значна частина білка трансформувалась у розчинну форму у вільні α -амінокислоти, які легко засвоюються живими організмами. Тобто вперше 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.

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

Таблиця 3

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

№ з/п	Назва амінокислот	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	Лізин	0,86	0,43	50,0	2,0	0,07	0,48	675,6	6,8
2	Триптофан	0,23	0,20	44,4	2,2	0,03	0,15	600,0	6,0
3	Метіонін	0,12	0,06	45,9	2,2	0,01	0,08	749,0	7,5
4	Треонін	0,43	0,22	49,8	2,1	0,03	0,25	950,0	5,7
5	Аспарагінова кислота	1,14	0,62	54,0	1,8	0,13	0,65	515,1	5,2
6	Глутамінова кислота	2,00	1,01	50,2	1,9	0,22	0,22	550,5	5,4
7	Серін	0,52	0,26	50,0	2,0	0,56	0,32	564,0	5,6
8	Пролін	0,44	0,45	50,6	2,1	0,10	0,32	338,2	3,5
9	Цистин	0,33	0,16	49,2	2,0	0,03	0,19	762,1	7,6
10	Гліцин	0,39	0,20	49,8	2,1	0,04	0,22	861,2	8,7
11	Аланін	0,52	0,24	47,2	2,2	0,06	0,33	592,1	5,8
12	Валін	0,58	0,29	50,0	2,0	0,025	0,34	1250,0	2,5
13	Ізолейцин	0,48	0,29	50,5	1,9	0,05	0,28	570,0	5,7
14	Лейцин	0,86	0,45	52,6	1,9	0,06	0,47	720,0	7,2
15	Тирозин	0,17	0,18	100,0	1,0	0,19	0,22	107,9	1,1
16	Фенілаланін	0,55	0,28	51,9	1,9	0,04	0,31	760,0	7,6
17	Гістидин	0,30	0,15	50,0	2,0	0,07	0,42	431,3	4,3
18	Аргінін	1,06	0,80	75,0	1,3	0,02	0,15	600,0	6,0
	Σ	10,90	5,88	53,9	2,0	1,1	0,32	570,0	5,9

Виявлено також, що паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення висушеного гороху під час отримання із нього дрібнодисперсного пюре за рахунок неферментативного біокаталізу –

механолізу призводить до руйнування важкорозчинних біополімерів та їх наноконкомплексів, гетерополісахаридів, зокрема целюлози, крохмалю (на 30...75%) та протопектина на 50% (рис. 1). Показано, що паралельно відбувається збільшення глюкози в нанопорі з гороху (від 1,0 г в 100 г до 10,0 г в 100 г), тобто в 10 раз порівняно з вихідною сировиною.

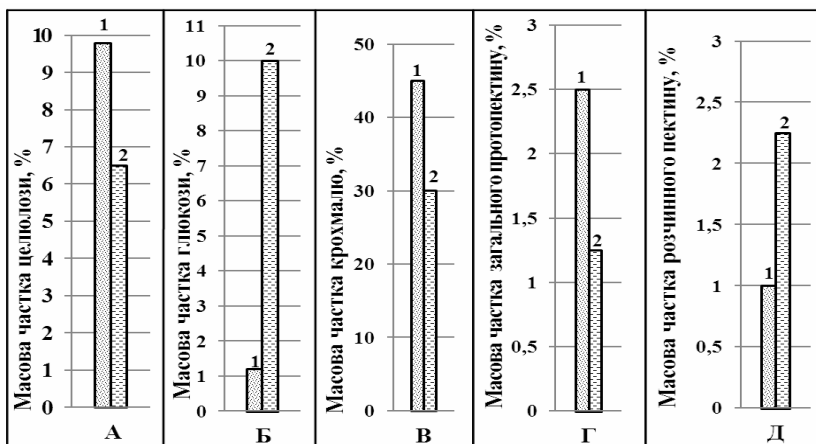


Рис. 1. Вплив паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення на гетерополісахариди (целюлозу – А, крохмаль – В, протопектин – Г, моносахариди – Б, розчинний пектин – Д) під час отримання наноструктурованого пюре з гороху

На основі отриманих експериментальних даних була розроблена нанотехнологія переробки гороху висушеного в дрібнодисперсне пюре, яка від традиційних відрізняється тим, що заснована на процесах глибокої переробки сировини та включає паротермічну обробку та дрібнодисперсне подрібнення (рис. 2).

Науково обґрунтовані технологічні режими, розроблені апаратурно-технологічна схема технології та нормативна документація на дрібнодисперсне горохове пюре.

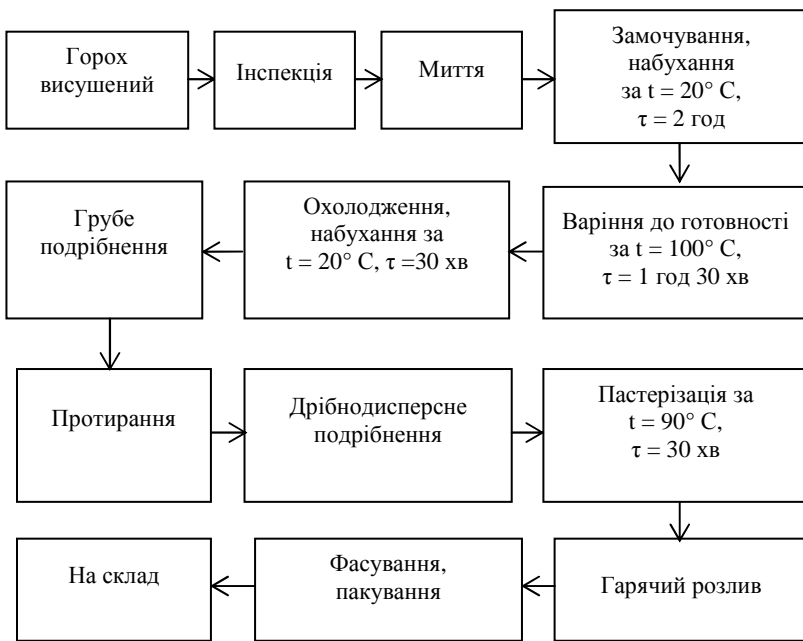


Рис. 2. Технологічна схема отримання наноструктурованого пюре з пребіотичними властивостями з гороху з використанням паротермічної обробки та неферментативного біокаталізу

Нова технологія дає можливість отримати добавки з гороху у вигляді дрібнодисперсного пюре з розміром частинок у десятки разів менше, ніж за традиційних методів подрібнення. Їх якість за вмістом 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 вітчизняні та закордонні аналоги.

Висновки. У результаті проведених досліджень:

- показано, що висушений горох (як сировина) для отримання білкових добавок відрізняється високим вмістом білку (23,8...25%) та важкорозчинних полісахаридів, крохмалю (44,8...46,5%), целюлози (8,9...10,1%), пектинових речовин (3,2...3,8%);

- встановлено, що за умов використання глибокої переробки рослинної сировини (зокрема гороху висушеного), яка заснована на комплексній дії на сировину паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення під час отримання наноструктурованого пюре відбуваються процеси механодеструкції, механохімії, які супроводжуються

неферментативним біокаталізом – механолізом (руйнуванням) важкорозчинних наноконплексів 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 у скритій формі) до їх мономерів (на 35...55%). Розкрито механізм механодеструкції білка та його наноконплексів, який пов'язаний з механокрекінгом;

– виявлено, що паротермічна обробка та дрібнодисперсне подрібнення гороху під час отримання із нього дрібнодисперсного поре призводить до руйнування полісахаридів за рахунок неферментативного каталізу, зокрема целюлози і крохмалю на 30–35%, протопектину на 50% до окремих мономерів. Показано, що паралельно відбувається збільшення глюкози в нанопоре з 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 поре з гороху висушеного, яка відрізняється глибокою переробкою сировини та заснована на використанні комплексної дії паротермічної обробки сировини та дрібнодисперсного подрібнення. Поре знаходиться в нанорозмірній легкозасвоюваній формі за рахунок механодеструкції клітин, тканин та важкорозчинних наноконплексів біополімерів та асоціатів до окремих мономерів. Їх якість перевищує вітчизняні й закордонні аналоги.

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*, 92, 57 p.

2. Капрельянц Л. В. Пребиотики: химия, технология, применение : монография / Л. В. Капрельянц. – К. : ЭНТЕРПринт, 2015. – 252 с.

Капрельянц, 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, 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*, 2, pp. 133-144.

5. Roberfroid, M. (2000), Fructo-oligosaccharide malabsorption: benefit for gastrointestinal functions, *Curr Opinion Gastroenterology*, 16, pp. 173-177.

6. Крїо- и механохимия в пищевых технологиях : монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк, Л. А. Радченко, О. А. Юрьева, Н. Ф. Максимова ; Харьк. гос. ун-т питания и торговли ; Харьк. торг.-эконом. ин-т, Киевск. нац. торг.-эконом. ун-т. – 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), *Cryo- and Mechanochemistry in the food technology* [Kryo- y mekhanokhimiya v pyshchevykh tekhnolohiyakh], Fakt, Kh., 255 p. (Series «The new in food technologies and innovations in healthful nutrition»).

7. Galland, L. (2014), "Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications", *Reference Module in Biomedical Sciences, from Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*, pp. 366-371.

8. Tur, J.A., Bibiloni, M.M. (2015), "Functional Foods", *Reference Module in Food Science, from Encyclopedia of Food and Health*, 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 (*Nelumbo nucifera*) root", *International Journal of Refrigeration*, pp. 59-65.

10. James, S.J., James, C. (2014), "Chilling and Freezing", *Food Safety Management*, 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*, 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*, 37, pp. 747-756.

14. Boldyrev, V.V. (2004), "Mechanochemical modification and synthesis of drugs", *Journal of Materials Science*, 39, pp. 5117-5120.

Павлюк Раїса Юрївна, 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 та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: ktrpom@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: ktrpom@mail.ru.

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, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: ktrpom@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 та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: ktrpom@ukr.net.

Pogarskaya Viktoriya Vadimovna, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: ktrpom@ukr.net.

Pogarska Viktoriya, doctor of technical sciences, professor, the State Prize laureate of Ukraine, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk,

Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: ktppom@ukr.net.

Котюк Тетяна Валеріївна, асист., 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, ассист., 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.

Kotuyk Tatyana, assistant, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: ktppom@ukr.net.

Погарський Олексій Сергійович, асист., 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.

Погарский Алексей Сергеевич, ассист., 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.

Pogarskiy Aleksey, assistant, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: ktppom@ukr.net.

Лосева Світлана Михайлівна, доц., 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.

Лосева Светлана Михайловна, доц., 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.

Loseva Svitlana, assistant professor, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: ktppom@ukr.net.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.

Отримано 15.03.2016. ХДУХТ, Харків.