

УДК 664.8.036:664.8.037:613.292

**НОВЕ СЛОВО ПРО ВПЛИВ ПАРОТЕРМІЧНОЇ
ТА КРІООБРОБКИ І МЕХАНОЛІЗУ НА БІОПОЛІМЕРИ
ТА БАР ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ ПІД ЧАС ОТРИМАННЯ
ОЗДОРОВЧИХ НАНОПРОДУКТІВ**

**В.В. Погарська, Р.Ю. Павлюк, Ю.П. Какадій,
О.С. Погарський, Т.А. Стуконоженко, О.С. Тельонков**

Вивчено вплив процесів паротермічної кріообробки та механолізу під час дрібнодисперсного подрібнення на біополімери та біологічно активні речовини (БАР) плодів і овочів під час отримання оздоровчих нанопродуктів. Установлено, що під впливом зазначених процесів відбувається активація

© Погарська В.В., Павлюк Р.Ю., Какадій Ю.П., Погарський О.С.,
Стуконоженко Т.А., Тельонков О.С., 2018

пектинових речовин, більш повне вилучення із сировини (у 4,5–7,3 разу) із прихованої форми і трансформація в розчинну форму. Розкрито механізм цих процесів, розроблено рекомендації зі створення оздоровчих нанопродуктів.

Ключові слова: неферментативний каталіз, механоліз, паротермічна обробка, криообробка, наноконплеси гетерополисахаридів, пектинові речовини.

НОВОЕ СЛОВО О ВЛИЯНИИ ПАРОТЕРМИЧЕСКОЙ И КРИООБРАБОТКИ И МЕХАНОЛИЗА НА БИОПОЛИМЕРЫ И БАВ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ НАНОПРОДУКТОВ

**В.В. Погарская, Р.Ю. Павлюк, Ю.П. Какадий,
А.С. Погарский, Т.А. Стуконоженко, А.Е. Теленков**

Изучено влияние процессов паротермической криообработки и механолиза на биополимеры и биологически активные вещества (БАН) плодов и овощей при получении оздоровительных нанопродуктов. Установлено, что при воздействии указанных процессов происходит активация пектиновых веществ, их более полное извлечение (в 4,5–7,3 раза) из скрытой формы и трансформация в растворимую форму. Раскрыт механизм данных процессов, разработаны рекомендации по созданию оздоровительных нанопродуктов.

Ключевые слова: неферментативный катализ, механолиз, паротермическая обработка, криообработка, наноконплесы гетерополисахаридов, пектиновые вещества.

A NEW WORD ABOUT THE EFFECT OF STEAM-THERMAL AND CRYOGENIC TREATMENT AND MECHANOLISYS ON BIOPOLIMERS AND BAR FRUITS AND VEGETABLES DURING THE OBTAINING OF HEALTHFUL NANOPRODUCTS

**V. Pogarska, R. Pavlyuk, I. Kakadii, A. Pogarskyi,
T. Stukonozhenko, A. Telenkov**

We studied the impact of processes of steam-thermal cryo-treatment and mechanolysis during finely dispersed grinding on biopolymers and BAS of fruits and vegetables during obtaining health promoting nanoproducs. It was established and scientifically substantiated that during integrated influence of steam-thermal or cryo- treatment and finely dispersed grinding on fruits and vegetables, activation of non-soluble nanocomplexes of heteropolysaccharides (in particular, pectic substances) with other biopolymers occurs. Activation occurs due to the processes of thermo-, cryo- and mechanodestruction. This leads to a release of mass fraction of pectic substances from the hidden, bound form into the free condition and its

increase by 4.5–4.8 times and by 3.6–3.9 times during cryo- (or steam-thermal) treatment and finely dispersed grinding, respectively, in comparison with the original raw materials. Simultaneously, non-enzymatic catalysis of 70% of non-soluble pectic substances to individual monomers, that is, a transformation into the soluble, easily assimilated form occurs.

The impact of integrated processes of cryo- (or steam-thermal) treatment and finely dispersed grinding on content of BAS was studied. It was found that in comparison with fresh raw material, mass fraction of BAS in finely dispersed frozen and thermally processed puree from the studied raw materials (black currants, apricots, lemons, apples, spinach, pumpkin) increased. An increase is by 1.5–4.0 times and by 1.5–3.0 times, respectively.

The quality of the obtained new kinds of finely dispersed puree surpasses the known analogues in content of BAS and technological characteristics. New kinds of puree are in the nanodimensional, easily assimilated form.

With application of new types of finely dispersed additives, a wide range of products for healthy eating with a record content of natural BAS was developed. New kinds of nanobeverages, nanosorbents, dairy-vegetable cocktails, fillings for confectionery and extruded products, cottage cheese desserts, bakery products, snacks, such as falafels, creams, etc., were developed. New additives were recommended for using at large and small food enterprises, institutions of restaurant business, trade, and for individual nutritional needs.

Keywords: non-enzymatic catalysis, mechanolysis, steam-thermal treatment, cryotreatment, nanocomplexes, heteropolysaccharides, pectic substances.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Актуальність розробки технології оздоровчих продуктів із пребіотичними властивостями та високим вмістом БАР обумовлена необхідністю вирішення глобальної проблеми імунодефіциту населення [1]. Причинами зниження імунітету населення в більшості країн світу є погіршення екологічної ситуації у світі, незбалансованість вітамінів та 50% дефіцит в раціонах харчування основних видів харчових продуктів (молока, м'яса, риби, фруктів та ягід). Крім того, 50% дефіцит БАР, що сприяють зміцненню імунітету: вітамінів, каротину, мінеральних речовин, білків та пребіотиків – неперетравлюваних компонентів їжі (зокрема, пектинових речовин, целюлози, інуліну та ін.) [2; 3]. Тому в провідних країнах світу знайшли широке застосування функціональні оздоровчі продукти, які сприяють зміцненню здоров'я [4]. Перспективною сировиною для отримання оздоровчих продуктів є традиційні фрукти, ягоди, овочі, що відрізняються високим вмістом пектинових речовин, целюлози та біофлавоноїдів [5]. Пектинові речовини та целюлоза є пребіотиками, що сприяють розвитку здорової мікрофлори кишечника. Крім того, мають детоксикуючі властивості, допомагають очищенню організму людини від шлаків та різних видів токсичних речовин, що містяться в харчових продуктах [6]. Наявність у складі

фруктів, ягід, овочів біофлавоноїдів (кверцетину, рутину, урсолової кислоти та ін.), що мають імуномодулюючі, антиоксидантні, протипухлинні, детоксуючі властивості, також сприяють отриманню продуктів оздоровчої дії, що зміцнюють імунітет.

Отже, актуальним є застосування способів глибокої переробки пектиновмісної рослинної сировини в пюре, що дозволяють трансформувати важкорозчинні речовини та БАР у легкозасвоювану форму. Також актуальною є розробка технології оздоровчих продуктів з пребіотичними властивостями та високим вмістом БАР [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Труднощі під час переробки і споживання свіжих фруктів, ягід та овочів пов'язані з тим, що значна частина молекул пектинових речовин, біофлавоноїдів, вітамінів, каротиноїдів тощо знаходиться в неактивній зв'язаній у наноконформаціях з іншими біополімерами і БАР формі, тому вони майже не засвоюються організмом людини [7]. У зв'язку з цим їх важко перевести в розчинну форму під час переробки сировини та під час споживання. Відомо, що свіжі фрукти, ягоди й овочі організмом людини засвоюються всього на 30–40% [8].

Дослідження спрямоване на вирішення проблеми дефіциту в Україні натуральних рослинних пектиновмісних гідроколіїдних добавок із високими желуючими властивостями, що водночас є носіями пребіотиків, вітамінів та інших біологічно активних речовин і знаходяться в легкозасвоюваній формі [9]. Потреба в останніх під час виробництва харчової продукції в Україні становить близько 1 млн т на рік [10]. На сьогодні в Україні відсутнє вітчизняне виробництво пектину та високоякісних натуральних добавок у формі порошків, пюре та паст із плодоовочевої пектиновмісної сировини, які одночасно є пребіотиками і носіями БАР [2; 3]. Такі добавки необхідні для створення продуктів оздоровчого харчування. Аналіз наукових літературних даних за останні 10 років показав, що сьогодні в міжнародній практиці існують два основних способи інтенсифікації пектинових речовин під час глибокої переробки пектиновмісних плодів та овочів [11; 12]. Першим і найбільш розповсюдженим є обробка сировини пектолїтичними та цитолїтичними ферментними препаратами [4]. Другим та більш перспективним способом є криогенна обробка сировини з використанням рідкого та газоподібного азоту [13]. У періодичній літературі наведено дані щодо впливу різних видів попередньої обробки пектиновмісної сировини на поживні речовини та пектинові речовини [14]. На прикладі одного з видів пектиновмісної сировини (томатів) запропоновано спосіб збільшення молекулярної маси пектину та часткового переходу його в розчинну форму. Спосіб заснований на використанні інтенсивної гомогенізації

високого тиску [15]. Але даних щодо впливу криогенних низьких температур під час заморожування та подрібнення на якість сировини, БАР, біополімери в науковій літературі мало, вони мають суперечливий характер. Ця галузь технології мало вивчена [7].

Відсутні також систематизовані дані щодо впливу інших способів попередньої обробки на зміни пектинових та біологічно активних речовин, на перехід пектинових речовин у розчинну форму. Є окремі розрізнені дані впливу теплової, інфрачервоної, НВЧ-обробки на окремі види пектиновмісної сировини [14]. Для одного виду пектиновмісної овочевої сировини (томатів) встановлено, що використання інтенсивної гомогенізації високого тиску приводить до зменшення молекулярної маси пектинових речовин та часткового переходу їх у розчинну форму [15]. Але цей спосіб попередньої обробки не знайшов застосування в технології отримання пектиновмісних добавок.

Слід зазначити, що традиційні методи переробки рослинної сировини призводять до значних втраг вітамінів, інших БАР, біополімерів та неповного використання біологічного потенціалу сировини [7]. У зв'язку з цим сьогодні в міжнародній практиці актуальною є розробка високих технологій, зокрема нанотехнологій, які можуть зробити процес обробки харчової сировини ефективнішим і максимально зберегти й вилучити цінні цільові компоненти – БАР і поживні речовини. Актуальним є також запровадження ресурсозбережних процесів, розробка безвідходних технологій та менш енергоємних процесів.

У цій роботі під час отримання дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід і овочів як інновацію запропоновано використовувати комплексний вплив на пектиновмісну сировину двох процесів, а саме: паротермічної обробки (або криогенного заморожування) та неферментативного каталізу – механолізу наноасоціатів та наноконкомплексів високомолекулярних біополімерів (гетерополісахаридів, білків та ін.). Отримані дрібнодисперсні добавки із плодоовочевої сировини (у формі поро) з якісно новими, порівняно з вихідною сировиною, споживчими властивостями, які не можливо отримати, використовуючи традиційні методи. На основі добавок розроблено широкий асортимент натуральних продуктів для оздоровчого харчування (начинки для кондитерських виробів, нанонапоїв, наносорбетів та ін.).

Метою статті є вивчення впливу процесів паротермічної, криообробки та механолізу на активацію, вилучення біополімерів важкорозчинних пектинових речовин та БАР із прихованої, зв'язаної в наноконкомплексах з іншими біополімерами в вільну форму під час отримання оздоровчих нанопродуктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– науково обґрунтувати параметри активації, вилучення пектинових речовин із прихованої, зв’язаної форми у розчинну під час отримання заморожених та термооброблених дрібнодисперсних пюре із плодів та овочів із використанням процесів неферментативного каталізу;

– визначити та вивчити біологічно активний комплекс основних БАР та пектинових речовин свіжих плодів та овочів (зокрема, чорної смородини, абрикос, яблук, лимонів із цедрою, гарбуза, шпинату);

– провести порівняння якості дрібнодисперсних пюре (термооброблених та заморожених) зі свіжою плодовоовочевою сировиною та пюре-аналогами за вмістом основних БАР (низькомолекулярних фенольних сполук, поліфенолів, β -каротину, L-аскорбінової кислоти), пребіотичних речовин (розчинного пектину, целюлози) та білків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проведено в Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ, Україна) на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційних кріо- та нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів» кафедри технологій переробки плодів, овочів і молока. Роботу виконано з використанням для кріогенного заморожування сучасного оригінального обладнання, яке є на кафедрі ХДУХТ, – програмного кріогенного «шокового» заморожувача, в якому як холодоагент та інертне середовище використовували рідкий азот. При цьому температура в морозильній камері була нижчою за -60 °С. Плоди та овочі заморожували з різними високими швидкостями до різних температур в продукті. Для подрібнення використовували низькотемпературний подрібнювач («SIRMAN», Італія).

Детальніше матеріали, методи дослідження та методики визначення показників дослідних зразків наведено в праці [16].

Головним під час розробки дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід, овочів було максимально вилучити із сировини та трансформувати важкорозчинні пектинові речовини та БАР у розчинну форму. Труднощі полягають у тому, що зазначені речовини знаходяться в наноконформах з іншими полісахаридами, білками та ін.

Виявлено та науково обґрунтовано, що в разі комплексного впливу на рослину сировину паротермічної або кріообробки та дрібнодисперсного подрібнення відбувається активація важкорозчинних наноконформів гетерополісахаридів, зокрема пектинових речовин, з іншими біополімерами внаслідок термо-, кріо- та механо-деструкції. Це призводить до їх вивільнення та трансформації із прихованих, зв’язаних форм у вільний стан у 4,5–4,8 разу більше, ніж у вихідній сировині, під час кріообробки та в 3,6–3,9 разу більше в разі термообробки та дрібнодисперсного подрібнення (табл. 1). Виявлено також, що під час кріогенного заморожування плодів та овочів також

відбувається криодеструкція наноконплексів біополімерів і вивільнення загального пектину в 1,5–2,0 рази більше, ніж у вихідній сировині (табл. 1). Установлено, що в разі паротермічної обробки плодів і овочів у пароконвекційній печі протягом 10 хвилин відбувається більш повне вилучення загального пектину в 1,4–2,0 рази більше, ніж у вихідній сировині (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив криозаморожування, паротермічної обробки та неферментативного каталізу на трансформацію важкорозчинних пектинових речовин у розчинну форму

Сировина	Загальна кількість пектинових речовин		Протопектин		Розчинний пектин		Органічні кислоти	
	%	% до вихідного	%	% до вихідного	%	% до вихідного	%	% до вихідного
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Свіжі яблука (сорт Семеренко)	1,5	100,0	0,7	100,0	0,8	100,0	0,8	100,0
Заморожені яблука	2,5	166,6	1,1	157,2	1,4	175,0	1,1	137,5
Заморожене дрібнодисперсне поре з яблук	7,2	480,0	2,1	300,0	5,1	637,5	1,4	175,2
Термооброблені яблука	2,3	153,3	1,0	144,0	1,3	162,5	1,2	150,0
Термооброблене дрібнодисперсне поре з яблук	5,9	393,3	1,2	171,4	4,8	600,0	1,3	162,5
Гарбуз свіжий	1,0	100,0	0,3	100,0	0,7	100,0	0,6	100,0
Заморожений гарбуз	1,8	150,0	0,7	166,6	1,1	150,0	0,8	120,0
Нанопоре заморожене з гарбуза	4,5	450,0	0,6	200,0	5,2	650,0	1,0	166,6
Термооброблений гарбуз	2,0	200,0	0,6	200,0	1,4	200,0	0,7	112,0
Термооброблене дрібнодисперсне поре з гарбуза	4,4	440,0	0,7	220,0	3,1	430,0	0,9	153,0

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Свіжі абрикоси	1,6	100,0	0,6	100,0	0,8	100,0	1,0	100,0
Заморожені абрикоси	2,4	150,0	1,0	166,6	1,2	150,0	1,2	120,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з абрикосів	7,2	450,0	1,9	316,6	5,1	637,6	1,5	150,0
Термооброблені абрикоси	2,3	144,0	1,0	166,6	1,1	140,2	1,3	130,6
Термооброблене дрібнодисперсне пюре з абрикосів	5,8	362,5	1,6	266,6	4,1	512,5	1,4	140,0
Свіжа чорна смородина	1,6	100,0	0,6	100,0	0,8	100,0	6,2	100,0
Заморожена чорна смородина	3,0	187,5	1,0	166,0	1,6	200,0	7,0	112,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з чорної смородини	7,4	462,5	1,6	266,6	4,9	612,5	9,6	154,8
Термооброблена чорна смородина	2,9	184,3	0,9	153,1	1,5	187,5	7,2	116,4
Термооброблене дрібнодисперсне пюре з чорної смородини	6,9	435,2	1,5	257,9	4,2	525,0	8,8	143,7
Свіжий шпинат	1,3	100,0	0,5	100,0	0,7	100,0	0,6	100,0
Заморожений шпинат	2,1	161,5	0,9	180,0	1,3	185,7	0,8	133,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре зі шпинату	5,9	454,5	1,0	200,0	5,1	728,5	1,0	166,6
Свіжі лимони з цедрою	1,8	100,0	0,9	100,0	0,9	100,0	10,5	100,0
Заморожені плоди лимонів з цедрою разом	3,6	200,0	1,4	155,5	1,8	200,0	12,5	119,0
Заморожене дрібнодисперсне пюре з лимонів з цедрою	7,8	433,3	2,0	222,0	5,2	577,7	15,6	148,5

Крім того, виявлено, що під час термообробки та криогенного дрібнодисперсного подрібнення відбувається руйнування пектинових речовин до окремих мономерів. Так, у разі дрібнодисперсного подрібнення паротермічно оброблених фруктів і ягід масова частка розчинного пектину збільшується в 5,1–6,0 разів порівнянно з вихідною сировиною, а в разі криогенної обробки та дрібно-

дисперсного подрібнення в 6,1–7,3 разу (рис. 1). Це свідчить про те, що важкорозчинний протопектин руйнується і трансформується в розчинну форму. Показано, що значна частина пектинових речовин у нанопюре перебуває в розчинній формі (до 70%), що сприяє збільшенню желуючих властивостей отриманих пюре з фруктів, ягід та овочів (табл. 1, рис. 1). Аналогічні закономірності спостерігаються під час такої самої обробки всіх плодів та овочів, які наведено в роботі (табл. 1, рис. 1).

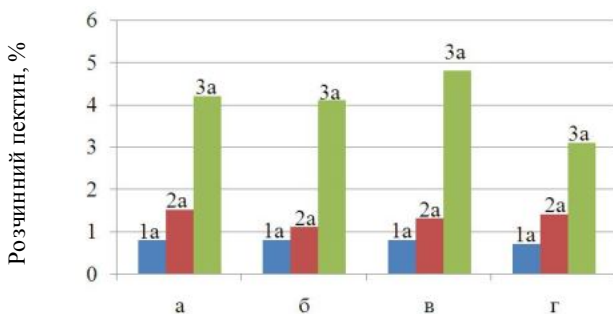
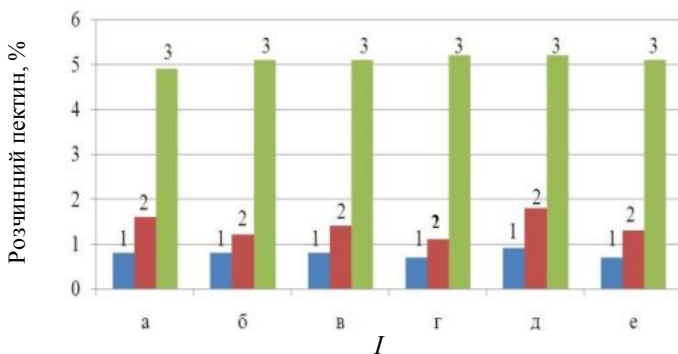


Рис. 1. Вплив заморожування (I) (або паротермічної обробки (II)) та механолізу під час дрібнодисперсного подрібнення плодів та овочів на вилучення та руйнування нерозчинних пектинових речовин до окремих мономерів у розчинну форму, де: а – чорна смородина; б – абрикоси; в – гарбуз; г – яблука; д – лимони; д – шпинат; 1 – свіжі плоди або овочі; 2 – заморожені; 3 – заморожені та дрібнодисперсно подрібнені; 1а – свіжі плоди та овочі; 2а – паротермооброблені; 3а – паротермооброблені та дрібнодисперсно подрібнені; а – чорна смородина; б – абрикоси; в – яблука; г – гарбуз

Таким чином, показано, що під час заморожування та дрібнодисперсного подрібнення рослинної сировини відбувається більш повне вилучення та трансформація важкорозчинних пектинових речовин із зв'язаного стану з макромолекулами інших полісахаридів, білків та мінеральних речовин у вільну активну форму. Збільшення порівняно зі свіжою сировиною відбувається в 4,5–4,8 разу. Крім того, встановлено аналогічне збільшення під час паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення, порівняно з вихідною сировиною в 3,6–3,9 разу. Паралельно відбувається неферментативний каталіз важкорозчинних пектинових речовин до окремих мономерів, тобто вони трансформуються в розчинну легкозасвоювану форму. Аналогічні закономірності отримані й під час заморожування та низькотемпературного подрібнення всіх об'єктів дослідження.

Механізм цього процесу пов'язаний із термо-, механо- та криодеструкцією, які призводять до руйнування складних наноконструкцій і трансформації вивільнених із прихованої форми пектинових речовин у розчинну легкозасвоювану форму (рис. 2).

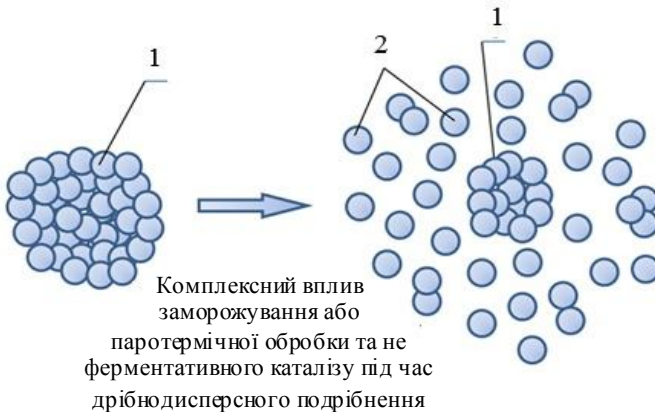


Рис. 2. Схема механізму комплексного впливу заморожування (або паротермічної обробки) та механолізу в разі дрібнодисперсному подрібненні під час переробки плодів та овочів на молекулу біополімеру важкорозчинного гетерополісахариду пектину з відокремленням мономерів галактуранової кислоти і трансформацією в легкозасвоювану форму, де: 1 – біополімер пектину; 2 – галактуранова кислота

При цьому відбувається неферментативний каталіз – механоліз, механокрекінг (руйнування) водневих та іонних зв'язків у наноконформах та самих біополімерах. Водночас відбувається також трансформація (руйнування) протопектину до окремих мономерів – галактуронової кислоти. Про це свідчить і значне збільшення вмісту органічних кислот (на 30–40%) під час термообробки або заморожування відносно вихідної сировини та на 50–70% у разі отримання нанопоре (замороженого або термообробленого).

Механізм зазначених процесів був підтверджений у наслідок порівняння ІЧ-спектрів замороженого дрібнодисперсного пюре з плодової сировини (яблук та абрикосів) і свіжої вихідної сировини. Показано, що в межах частот від 3200 см^{-1} до 3650 см^{-1} відбувається зменшення інтенсивності спектрів. Ця область частот характерна для валентних коливань функціональних груп ОН, що беруть участь в утворенні внутрішньомолекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків. Такі зв'язки входять до складу вільної та зв'язаної вологи, комплексів біополімер – БАР (пектинових речовин), біополімерів (зокрема, фенольних сполук, дубильних речовин, цукрів та ін.). Отримані результати спектроскопічних досліджень свідчать про руйнування міжмолекулярних і внутрішньомолекулярних водневих зв'язків, деструкцію наноконформ біополімерів (зокрема, пектинових речовин) із іншими біополімерами та низькомолекулярними БАР, крім того, про дезагрегацію та механоліз біополімерів або асоціатів і наноконформ до окремих мономерів.

До завдань дослідження входило також вивчення біологічно активного комплексу основних БАР і пребіотичних речовин (пектину, целюлози, білка) свіжих плодів, овочів, які використовували в роботі. За критерії обрано такі БАР: низькомолекулярні та високомолекулярні фенольні сполуки, β -каротин, L-аскорбінова кислота, пектинові речовини, целюлоза, білок.

Аналіз отриманих експериментальних даних вмісту БАР у плодах та овочах вказує про те, що в них у найбільшій кількості містяться низькомолекулярні фенольні сполуки, представлені оксикоричними кислотами та розраховуються за хлорженовою кислотою в кількості від 280 мг до 680 мг в 100 г залежно від виду сировини (табл. 2). Дослідні зразки містять також значну кількість флавонолових глікозидів (зокрема, рутин) – від 55 мг до 160 мг в 100 г, поліфенольних дубильних речовин – від 185 мг до 540 мг в 100 г (залежно від виду плодів).

Показано також, що в жовтогарячих плодах (абрикоси, гарбуз) масова частка β -каротину змінювалась від 9,2 мг до 9,6 мг в 100 г. Найменший вміст L-аскорбінової кислоти в абрикосах – 45 мг в 100 г, найбільший у ягодах чорної смородини – 265 мг в 100 г. У всіх плодах

містяться пребіотичні речовини, зокрема пектинові, в кількості від 1,4% до 6,5% залежно від виду сировини, та целюлоза – від 1,1% до 1,9%. Кількість білка у фруктах, ягодах та овочах коливалась від 1,2% до 2,5%. Зазначений комплекс БАР, що міститься у фруктах, ягодах, овочах, які досліджувалися в роботі, сприяє зміцненню кровоносних судин серця і мозку, імунної системи завдяки антиоксидантній, детоксифікуючій, антибактеріальній та протипухлинній дії на організм людини.

Проведено порівняння якості за вмістом БАР нових дрібнодисперсних добавок у формі пюре із фруктів, ягід, овочів, вихідної сировини та аналогів. Показано, що нові добавки відзначаються високим вмістом БАР (низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, β -каротину, L-аскорбінової кислоти, розчинних пектинових речовин). Установлено, що в дрібнодисперсному замороженому та термообробленому пюре з досліджуваної сировини масова частка БАР була більшою відповідно в 1,5–4,0 рази та 1,5–3,0 рази, ніж у свіжій сировині (табл. 2).

Таким чином, якість дрібнодисперсних пюре перевершує якість вихідної сировини і суттєво краща за якість пюре-аналогів. Порівняно зі свіжою (вихідною) сировиною пюре-аналогів, отримані з використанням традиційних методів теплової обробки сировини та подрібнення, відрізняються від нових пюре суттєвими втратами БАР (на 20–80%).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика БАР (L-аскорбінової кислоти, β -каротину, фенольних сполук) та пребіотичних речовин (пектину, целюлози) у свіжих плодах та овочах і заморожених наноструктурованих пюре з них

Продукт	Масова частка, мг в 100 г					Масова частка, г в 100 г			
	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	флавонолових глікозидів (за рутинном)	поліфенолів – дубильних речовин	β -каротину	L-аскорбінової кислоти	білка	Заг. кількості пектинових речовин	целюлози	загального цукру
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Яблука свіжі	520,1 ±27,0	156,3 ±12,3	354,0 ±8,2	0,1 ±0,05	56,3 ±2,6	1,9 ±0,2	1,5 ±0,1	1,7 ±0,1	7,6 ±0,1

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нанопоре заморожене з яблука	870,2 ±17,3	264,2 ±17,3	643,0 ±12,3	0,2 ±0,05	108,2 ±10,3	2,4 ±0,3	7,2 ±1,0	1,5 ±0,1	9,8 ±0,2
Нанопоре паротермічно оброблене з яблука	620,2 ±10,2	80,3 ±5,4	470,3 ±5,4	0,2 ±0,05	94,2 ±1,2	2,3 ±0,1	5,9 ±0,6	1,5 ±0,1	9,7 ±0,2
Гарбу з свіжий	180,3 ±11,6	56,6 ±2,3	210,2 ±4,8	9,6 ±0,5	18,2 ±0,1	1,6 ±0,1	1,0 ±0,3	1,4 ±0,6	7,5 ±0,5
Нанопоре заморожене з гарбуза	332,1 ±15,2	108,0 ±4,4	390,1 ±6,7	40,2 ±2,5	39,4 ±0,5	2,2 ±0,1	4,5 ±0,5	1,0 ±0,4	8,9 ±0,7
Нанопоре з гарбуза термооброблене	280,5 ±10,4	84,2 ±4,8	325,4 ±7,3	30,2 ±2,8	29,6 ±1,3	1,7 ±0,1	3,6 ±0,4	1,0 ±0,3	8,9 ±0,4
Абрикоси свіжі	250,2 ±7,7	55,6 ±2,5	185,4 ±12,0	9,2 ±1,6	45,1 ±3,6	1,5 ±0,1	1,4 ±0,1	1,1 ±0,1	7,5 ±0,5
Нанопоре заморожене з абрикосів	420,6 ±10,5	101,2 ±5,4	302,6 ±12,6	30,2 ±2,6	125,2 ±10,2	1,8 ±0,1	7,2 ±0,2	1,0 ±0,1	8,9 ±0,6
Нанопоре паротермічно оброблене з абрикосів	300,4 ±14,1	70,2 ±3,8	250,3 ±4,2	25,8 ±2,9	57,6 ±2,6	1,8 ±0,2	5,8 ±0,5	1,0 ±0,2	8,8 ±0,5
Чорна смородина свіжа	680,3 ±17,4	145,5± 12,4	542,0 ±20,4	4,5 ±0,5	265,0 ±20,4	1,2 ±0,1	1,6±0,1 ±0,3	2,5 ±0,3	8,0 ±0,5
Нанопоре заморожене з чорної смородини	990, ±25,4	250,8 ±13,3	984,2 ±24,3	13,5 ±0,8	610,4 ±25,3	1,5 ±0,2	7,4 ±0,5	2,3 ±0,2	10,2 ±0,8
Шпинат свіжий	280,6 ±6,4	95,2 ±5,6	350,0 ±3,4	6,2 ±0,1	50,4 ±4,0	2,5 ±0,1	0,7 ±0,05	1,9 ±0,1	6,8 ±0,5
Нанопоре заморожене зі шпинату	536,2 ±18,2	180,1 ±4,5	590,2 ±5,2	20,8 ±0,2	142,5 ±5,5	3,4 ±0,1	5,1 ±0,4	1,3 ±0,1	7,9 ±0,7
Лимони свіжі	340,1 ±10,5	70,6 ±5,2	290,1 ±4,8	0,2 ±0,05	68,2 ±3,4	2,5 ±0,1	1,8 ±0,2	2,6 ±0,2	10,5 ±1,0
Нанопоре заморожене з лимонів з цедрою	740 ±12,5	150,0 ±4,8	480,0 ±10,5	0,4 ±0,05	132,4 ±5,2	3,0 ±0,1	7,8 ±1,0	2,1 ±0,1	12,5 ±1,8

На основі експериментальних досліджень розроблено нанотехнологію заморожених дрібнодисперсних добавок із фруктів, ягід, овочів. Від традиційних нова технологія відрізняється застосуванням високої швидкості та більш низької кінцевої температури заморожування продукту (–32...–35 С) за рахунок використання рідкого або газоподібного азоту. Крім того, вона характеризується застосуванням дрібнодисперсного подрібнення до часточок, розміри яких значно менші за традиційні. Нові види добавок зберігаються за температури –18 °С протягом 12 місяців без втрати вітамінів та інших БАР. Експериментально визначені та обґрунтовані раціональні параметри технології (для кожного із зазначених видів сировини окремо), розроблені технологічні схеми, підбране обладнання, розроблений проект НД (ТУ), проведена апробація у виробничих умовах.

У роботі вивчено вплив процесів паротермічної або криогенної обробки пектиновмісної рослинної сировини та неферментативного каталізу – механолізу під час дрібнодисперсного подрібнення на біополімери та біологічно активні речовини. Показано, що комплексний вплив на рослинну сировину зазначених процесів приводить до активації важкорозчинних наноконкомплексів пектинових речовин з іншими біополімерами внаслідок процесів термо-, крио- та механо-деструкції.

Отримані результати були використані для розробки технології оздоровчих нанопродуктів (зокрема, пюре). Нова технологія дозволяє під час переробки пектиновмісної рослинної сировини більш повно вилучити та трансформувати в легкозасвоювану форму важкорозчинні речовини (пектин, целюлозу, інулін та ін.), що мають пребіотичні властивості.

Перевагами цього дослідження є те, що доведена можливість вивільнення та трансформації із прихованої зв'язаної форми у вільний стан пектинових речовин. Порівняно з вихідною (свіжою) сировиною масова частка пектинових речовин збільшується за умов криозаморожування та дрібнодисперсного подрібнення в 4,5–4,8 разу та в 3,6–3,9 разу під час паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення. Крім того, виявлено більш повне вилучення загального пектину під час криозаморожування (в 1,5–2,0 рази) та паротермічної обробки (1,4–2,0 рази), а також руйнування пектинових речовин до окремих мономерів. Встановлено збільшення масової частки розчинного пектину відповідно в 5,1–6,0 раз та в 6,1–7,3 разу під час паро- та криообробки. Виявлено механізм цих процесів. Він пояснюється частковим руйнуванням і трансформацією до 70% важкорозчинного протопектину в розчинну форму. Це сприяє збільшенню желюючих властивостей нових пюре з фруктів, ягід та овочів порівняно з аналогами. Крім того, отримані пюре відзначаються великим вмістом БАР оздоровчої дії, що також мають барвні й ароматичні властивості.

Розроблено рекомендації з використання наноструктурованих дрібнодисперсних пюре із фруктів, ягід, овочів у складі продукції для оздоровчого харчування з рекордним вмістом натуральних БАР. Розроблено широкий асортимент нанопаїв, наносорбетів, молочно-рослинних коктейлів, начинок для кондитерських та екструдованих виробів, сиркових десертів, хлібобулочних виробів, закусок – фалафелів, кремів. Нові види продуктів призначені для використання на великих та малих харчових підприємствах, у закладах ресторанного бізнесу і торгівлі та для індивідуального харчування.

Із застосуванням отриманих нанопюре із плодоовочевої сировини розроблено продукти для оздоровчого харчування, зокрема начинки для кондитерських виробів «ПанКейк» та екструдованих продуктів, які в рамках двох госпдоговірних тем упроваджені у виробництво (Кондитерська фірма «Лісова казка», м. Харків). Розроблено також вітамінізовані оздоровчі сокові нанопаї та наносорбети, які були вироблені у виробничих умовах (НВФ «КРІАС» та НВФ «ХПК»). Апробація нової продукції у виробничих умовах підтверджує доцільність виготовлення заморожених плодоовочевих нанодобавок та оздоровчих продуктів).

Перспективним напрямом продовження досліджень є розробка на основі отриманих дрібнодисперсних пюре нових видів добавок у формі порошків із різних видів рослинної сировини; визначення впливу різних видів сушіння на збереження БАР, пектинових речовин, фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні процеси під час отримання порошків залежно від виду вихідної сировини. На основі отриманих порошків – збагачувачів натуральними БАР, барвників, ароматизаторів, структуроутворювачів можна розробити широкий асортимент продуктів спеціального призначення, включаючи продукти для зони ООС, полярників, космонавтів, підводників, тиристів та ін.

Висновки. Установлено та науково обґрунтовано, що в разі комплексного впливу на плоди й овочі паротермічної (або крио-) обробки та дрібнодисперсного подрібнення відбувається активація важкорозчинних наноконкомплексів гетерополісахаридів (зокрема, пектинових речовин) з іншими біополімерами. Активація відбувається внаслідок процесів термо-, крио- та механодеструкції. Це приводить до вивільнення та трансформації із прихованих, зв'язаних форм у вільний стан та збільшення порівняно з вихідною сировиною масової частки пектинових речовин під час крио- (або паротермічної) обробки та дрібнодисперсного подрібнення в 4,5–4,8 та в 3,6–3,9 разу відповідно. Водночас відбувається неферментативний каталіз 70% важкорозчинних пектинових речовин до окремих мономерів, тобто трансформація в розчинну легкозасвоювану форму.

Установлено, що в плодах (чорної смородини, абрикосів, лимонів, яблук) та овочах (шпинаті, гарбузі) міститься значна кількість БАР, яка залежно від виду вихідної сировини в 100 г становить: низькомолекулярних фенольних сполук (зокрема, оксикоричних кислот) – 280–680 мг, флавонолових глікозидів (зокрема, рутину) – 55–160 мг, поліфенолів – 185–540 мг. Показано також, що всі плоди та овочі містять L-аскорбінової кислоти залежно від від 45 до 265 мг в 100 г виду сировини, каротинмісні плоди містять β -каротин у кількості від 9,2 мг до 9,8 мг в 100 г. Це становить майже дві добові норми організму людини в β -каротині. Показано також, що у всіх плодах та

овочах містяться пребіотичні речовини (пектин, целюлоза, білок). Наявні в плодах і овочах БАР та пребіотичні речовини надають їм лікувально-профілактичних властивостей.

Установлено збільшення порівняно зі свіжою сировиною масової частки БАР у дрібнодисперсних заморожених та термооброблених пюре з досліджуваної сировини (чорної смородини, абрикосів, лимонів, яблук, шпинату, гарбуза). Збільшення становить відповідно в 1,5–4,0 та 1,5–3,0 рази. Якість отриманих нових видів дрібнодисперсних пюре перевершує відомі аналоги за вмістом БАР та технологічними характеристиками. Нові види пюре мають нанорозмірну, легкозасвоювану форму.

Із застосуванням нових видів дрібнодисперсних добавок розроблено широкий асортимент продуктів для оздоровчого харчування з рекордним вмістом натуральних БАР. Розроблено нові види нанонапоїв, наносорбетів, молочно-рослинних коктейлів, начинок для кондитерських та екструдованих виробів, сиркових десертів, хлібобулочних виробів, закусок – фалафелів, кремів та ін. Нові добавки рекомендовані для використання на великих та малих харчових підприємствах, у закладах ресторанного бізнесу, торгівлі, в індивідуальному харчуванні.

Список джерел інформації / References

1. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини : монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Л. О. Радченко, В. А. Павлюк, Р. Д. Таубер, Н. М. Тимофєєва, О. С. Бессараб, Л. М. Біленко, О. О. Юр'єва [та ін.]. – Х. : Факт, 2017. – 380 с.

Pavlyuk, R.Yu., Pogarska, V.V., Radchenko, L.O., Pavlyuk V.A. et al. (2017), *Noviy napryatok glibokoyi pererobki harchovoyi sirovini: monografiya*, Fakt, Kharkiv, 380 p.

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

Kaprelyants, L. (2015), *Prebiotiki: himiya, tehnologiya, primenienie: monografiya*, EnterPrint, Kyiv, 252 p.

3. Gibson, G., Roberfroid, M. (2008), *Handbook of Prebiotics*, CRS Press, London, Vol. 4, pp. 22-42.

4. Pavlyuk, R. Pogarska, V., Pavlyuk, V., Balabai, K., Loseva, S. (2008), "The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form", *Eureka: Life Sciences*, Vol. 3 (3), pp. 36-43.

5. Безусов А. Т. Технологія виробництва галактуроновоїх олігосахаридів із пектинвмісної сировини / А. Т. Безусов, М. Г. Малькова // Харчова наука і технологія. – Одеса, 2010. – № 1 (10). – С. 58–61.

Bezusev, A., Malkov, M. (2010), "Tehnologiya virobnytstva galakturonovih oligosaharidiv iz pektinvmisnoyi sirovini", *Harchova nauka i tehnologiya*, Odesa, Vol. 1 (10), pp. 58-61.

6. Sousa, M., Santos, E., Sgarbeeni, V. (2011), "The importance of prebiotics in functional food and clinical practical", *Food and Nutritional Science*, pp. 133-144.

7. Крiо- и механохимия в пищевых технологиях : монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк, Л. А. Радченко, О. А. Юрьева, Н. Ф. Максимова. – Х. : Факт, 2015. – 255 с.

Pavlyuk, R., Pogarskaya, V., Pavlyuk, V., Radchenko, L., Yureva, O., Maksimova, N. (2015), *Krio- i mehanohimiya v pischeviih tehnologiyah: monografiya*, Fakt, Kharkiv, 255 p.

8. Симахина Г. А. Повышение биологической усвояемости криоматериалов как проявление механоактивации / Г. А. Симахина // Вибротехнологии. – Одесса, 1996. – № 5. – С. 75–78.

Simahina, G. (1996), "Povyishenie biologicheskoy usvoyaemosti kriomaterialov kak proyavlenie mehanoaktivatsii", *Vibrotehnologii*, Odessa, No. 3, pp. 75.

9. Голубев В. Н. Пектин: химия, технология, применение : монография / В. Н. Голубев, Н. П. Шелухина. – М. : Акад. технолог. наук, 1995. – 387 с.

Golubev, V., Sheluhina, N. (1995), *Pektin: himiya, tehnologiya, primeneniye*, Akad. tehnolog. nauk, Moscow, 387 p.

10. Pavlyuk, R., Pogarska, V., Radchenko, L., Tauber, R.D., Timofeeva, N., Kotuk, T. (2016), "The new method of processing of carotene-containing vegetables for the production of nanoproducts using combi-steamers and fine-dispersed comminution", *Eureka: Life Sciences*, Vol. 3 (4), pp. 44-49.

9. Buranaosota, J., (2010), "Partial depolymerization of pectin by a photochemical reaction", *Carbohydr. Res*, Vol. 9, pp. 1205-1210.

10. Schols, H., Ros, I. (1998), "Structural features of native and commercial extracted pectins, gums and stabilizers for the food industries", *The Royal Society of Chemistry*, Wrexham, pp. 10–15.

13. Gaukel, V. (2016), "Cooling and Freezing of Foods", *Reference Module in Food Science*, pp. 1-3.

14. Ying Xin, Min Zhang, Baoguo Xu, Benu Adhikari, Jincui Sun, "Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: a review", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 57, pp. 11-25.

15. Daniel I. Onwude, Nonhashila Hashim, Rimfiel Janius, Khalina Abdan, Guangan Chen, Ayobami O. Oladejo (2017), "Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: a review of current technologies", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 43, pp. 223-238.

Погарська Вікторія Вадимівна, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, зав. кафедри технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrppom@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. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrppom@ukr.net.

Pogarska Viktoriya, Doctor of Technical Sciences, professor, Laureate of the State Prize of Ukraine, the Chief of the Department of Processing Technologies of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Павлюк Раїса Юріївна, 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. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Павлюк Раиса 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. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@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. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Какадій Юлія Петрівна, асист., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Какадій Юлия Петровна, ассист., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Kakadii Iulia, assistant, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@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. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Погарский Алексей Сергеевич, ассист., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Pogarskii Oleksii, assistant, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktpom@ukr.net.

Стуконоженко Тегяна Анатоліївна, асист., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Стуконоженко Татяна Анатоліївна, асист., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Stukonozhenko Tetiana, assistant, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Тельонков Олександр Євгенович, асп., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Теленков Александр Евгеньевич, асп., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Telenkov Oлександр, assistant, Department of Technology Processing of Fruits, Vegetables and Milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@ukr.net.

DOI: 10.5281/zenodo.1306433