

Робота присвячена розробці нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів, де як інновації використовується криогенне «шокове» заморожування і низькотемпературне подрібнення. Нова технологія дозволяє вилучити приховані в рослинній сировині форми БАР і біополімерів (білків) та більш повно використати біологічний потенціал сировини

Ключові слова: криодеструкція, наноструктуроване пюре, заморожування, біологічно активні речовини, білок, низькотемпературне подрібнення

Работа посвящена разработке нанотехнологии мелкодисперсного замороженного пюре из грибов шампиньонов, где в качестве инновации используется криогенное «шоковое» замораживание и низкотемпературное измельчение. Новая технология позволяет извлечь скрытые в растительном сырье формы БАВ и биополимеров (белков) и более полно использовать биологический потенциал сырья

Ключевые слова: криодеструкция, наноструктурированное пюре, замораживание, биологически активные вещества, белок, низкотемпературное измельчение

УДК 635.8.001.73
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56145

РОЗРОБКА НАНОТЕХНОЛОГІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ЗАМОРОЖЕНОГО ПЮРЕ ІЗ ГРИБІВ ШАМПІНЬОНІВ (AGARICUS BISPORUS)

Р. Ю. Павлюк

Доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України*

E-mail: ktrprom@mail.ru

В. В. Погарська

Доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України*

E-mail: ktrprom@mail.ru

Т. С. Маціпура

Асистент*

Н. П. Максимова

Доцент*

*Кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока Харківський державний університет харчування і торгівлі вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

1. Вступ

Робота присвячена розробці нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів (*Agaricus Bisporus*), виявленню закономірностей та механізму впливу заморожування та низькотемпературного подрібнення і процесів криомеханодеструкції та механоактивації на трансформацію зв'язаних амінокислот білка у вільну форму, які значно краще засвоюються організмом людини, збереження біологічно активних речовин (БАР) під час отримання дрібнодисперсного пюре з грибів шампінйонів та створення продуктів харчування підвищеної біологічної цінності з їх використанням. Як інновацію в роботі використано криогенне «шокове» заморожування із застосуванням рідкого та газоподібного азоту й низькотемпературне подрібнення. Нова технологія дозволяє вилучити приховані в рослинній сировині форми БАР і біополімерів (білків) та більш повно використати біологічний потенціал сировини.

Проблема, яка сьогодні спостерігається в усіх країнах світу, – незбалансованість раціонів харчування, дефіцит у них повноцінного білка, мінеральних речовин, вітамінів та інших БАР, надмірне споживання цукру, солі, холестерину, насичених жирних кислот, призводить до актуальності розробки нанотехнології

дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів та виготовлення оздоровчих продуктів із його використанням [1–3]. Сьогодні цій проблемі приділяється велика увага в працях як вітчизняних, так і закордонних учених.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Гриби та продукти їх переробки, які багаті на комплекс біологічно активних речовин та містять значну кількість білка, можна розглядати як сировину для оздоровчого харчування з високою харчовою та біологічною цінністю, вираженою терапевтичною дією, імуномодуючими та протипухлинними властивостями [4–6]. Вони користуються постійним попитом у споживачів усіх країн світу [7]. Розроблені біотехнологічні методи вирощування грибів у регульованих умовах дозволили налагодити на Україні масове виробництво грибів у промислових масштабах незалежно від світлового дня та кліматичних умов [8]. Аналіз літературних джерел виявив, що наявність у складі базидіоміцетів комплексу незамінних амінокислот, низькомолекулярних фенольних сполук, полісахаридів, хітин-глюканового комплексу, фізіологічно активних сполук забезпечує високі харчові, сорбційні, онкостатичні,

антисклеротичні та антиоксидантні властивості, які здатні підвищувати імунітет до вірусних захворювань, резистентність організму та знижувати шкідливий вплив променевої фізіотерапії [9–11]. Розповсюджене застосування грибів з багатовіковою історією, в наш час має виражену тенденцію до зростання масштабів їх використання в харчовій та фармацевтичній промисловості, і це характерно для багатьох країн світу [11].

Важливим джерелом повноцінного білка, який не поступається за поживністю тваринному, є гриби шампінйони [12]. Однак відомо, що під час переробки та споживання грибів є труднощі, пов'язані з тим, що білки знаходяться в зв'язаній формі з хітином, глюканами та мінеральними солями, які перешкоджають гідролізу білка соляною кислотою і травним соком до окремих амінокислот, тобто погано засвоюються організмом людини [13, 14].

Робота щодо переробки грибів ведеться не лише за кордоном, але і в країнах ближнього зарубіжжя [15, 16]. Проте, на жаль, у науковій літературі практично немає систематизованих даних щодо технологічних прийомів переробки грибів, які дозволять зруйнувати білок і перетворити його на легкозасвоювану форму.

Відомо, що сьогодні одним із перспективних напрямів розвитку науки, техніки й технологій у міжнародній практиці є застосування перспективних методів подрібнення, що призводять до процесів механодеструкції, у тому числі кріодеструкції та механоактивації, які особливо проявляються за умови збільшення ступеня дисперсності подрібнених матеріалів, у результаті чого продукт набуває нових властивостей і нанорозмірної легкозасвоюваної форми [17].

Під час розробки нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів (*Agaricus Bisporus*) запропоновано використовувати як інновації під час переробки різної рослинної сировини дрібнодисперсне подрібнення в комплексі з кріогенним заморожуванням і без нього, яке дозволило отримати дрібнодисперсні добавки у формі нанопюре, заморожених паст або пюре, нанопорошків високої якості та з властивостями, які неможливо отримати з використанням традиційних методів переробки.

У харчовій промисловості процеси, що відбуваються під час переробки різної рослинної та тваринної сировини практично не вивчені, за винятком науково-дослідних робіт, які ведуться на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційних кріо- і нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів» кафедри технологій переробки плодів, овочів і молока Харківського державного університету харчування та торгівлі.

Літературних даних щодо впливу кріогенного та дрібнодисперсного подрібнення на вміст БАР та біополімери (білок) під час отримання дрібнодисперсного пюре з грибів шампінйонів немає. Сьогодні дрібнодисперсне (або тонкодисперсне) подрібнення (а це всього декілька мікрометрів та нанометрів) широко застосовується в хімічній, текстильній, металургійній, авіаційній, будівельній, фармакологічній та інших промисловостях [18–20]. Переважна більшість існуючих технологій консервування та переробки рослинної сировини та грибів присвячені вивченню впливу високих температур (стерилізації, пастеризації, теплового сушіння та ін.) [21].

3. Мета і задачі досліджень

Метою роботи є розробка нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре з шампінйонів у наноструктурованій легкозасвоюваній формі з використанням інновації заморожування та кріогенного подрібнення, що дозволяють зберегти БАР вихідної сировини та надати кінцевому продукту нових споживчих властивостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- розробити нанотехнологію отримання дрібнодисперсного пюре з грибів шампінйонів із максимальним збереженням БАР у легкозасвоюваній формі;
- дослідити вплив кріогенного подрібнення на трансформацію зв'язаних амінокислот у вільні в замороженому дрібнодисперсному пюре з грибів шампінйонів;
- вивчити амінокислотний склад та величини амінокислотного скору білка грибів шампінйонів порівняно зі шкалою ФАО/ВООЗ;
- дати порівняльну характеристику ІЧ-спектрів шампінйонів та дрібнодисперсного наноструктурованого пюре з них.

4. Експериментальні дані та їх обробка

У Харківському державному університеті харчування та торгівлі (м. Харків, Україна) розроблено інноваційну кріогенну технологію отримання дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів, яка має принципово нові споживчі властивості, а саме, відрізняються високим вмістом біологічно активних речовин у вільному стані (у 1,5...2,5 разів більше, ніж у свіжій сировині), тобто дозволяють вилучити скриті форми БАР у рослинній сировині та більш повно використати її біологічний потенціал. Від традиційної вона відрізняється використанням кріогенної «шокової» заморозки та високої швидкості заморожування до більш низьких температур, ніж прийнятих у міжнародній практиці. Нова технологія дозволяє отримати пюреподібні добавки у вигляді дрібнодисперсного замороженого пюре із грибів шампінйонів із рекордним вмістом низькомолекулярних та інших БАР, а також більш повне вивільнення білків із складних наноконкомплексів «білки–полісахариди–хітин–мінеральні речовини», тобто із зв'язаного стану з іншими біополімерами в рослинній клітині у вільний стан, чим і пояснюється погане засвоєння організмом людини складових білків шампінйонів.

Механізм збільшення вилучення низькомолекулярних БАР із клітин та переходу їх із зв'язаного з біополімерами стану у вільний пов'язаний з тим, що у разі заморожування та низькотемпературного подрібнення виникає кріодеструкція та механокрекінг, які призводять до руйнування водневих зв'язків та індукційної взаємодії між указаними речовинами та збільшення кількості БАР у вільному стані.

Технологія замороженого дрібнодисперсного пюре з грибів включає такі головні операції як швидке заморожування в середовищі газоподібного азоту та низькотемпературне подрібнення. Заморожування грибів проводили на кріогенному заморожувачі. Установка призначена для заморожування як продуктів із твердою оболонкою, так і рідких, які знаходяться

в спеціальній тарі. Установка оснащена програмним комп'ютерним забезпеченням, що дозволяє в автоматичному режимі знімати показники з датчиків та виводити в графічному вигляді на монітор. Подрібнення здійснювали на низькотемпературному подрібнювачі за температури -10 °С.

У розроблених добавках у формі замороженого дрібнодисперсного пюре з грибів шампінйонів визначено вміст білку та амінокислотний склад за вільними та зв'язаними амінокислотами (табл. 1). Установлено, що під час заморожування та низькотемпературного подрібнення грибів відбувається руйнування білокхітинових комплексів – руйнування білку до окремих вільних амінокислот на 65–70 %, вивільнення білку з нанокомплексів (на 65...73 % вище, ніж у вихідній сировині).

Показано, що загальна кількість білка в свіжих грибах шампінйонах складає 13,3 г у 100 г, з яких 10,14 г у 100 г масова частка амінокислот у зв'язаному стані та 3,16 г у 100 г масова частка амінокислот у вільному стані, а в наноструктурованому дрібнодисперсному пюре з грибів шампінйонів загальна кількість білка складає 27,12 г у 100 г, з яких 15,96 г у 100 г масова частка амінокислот у зв'язаному стані та 11,16 г у 100 г масова частка амінокислот у вільному стані – це пояснюється тим, що в ході криогенного подрібнення руйнуються протеїн-хітинові комплекси, із яких додатково ви-

вільняється 65,0...73,0 % зв'язаних амінокислот. Так, наприклад, у вихідних грибах масова частка зв'язаних амінокислот становить 10,14 г у 100 г, а після криогенного подрібнення – 15,96 г у 100 г. Також виявлено, що кількість окремих амінокислот збільшувалась у 1,3...3,2 разу відносно вихідних грибів. Механізм цього процесу пов'язаний, на наш погляд, із тим, що білкові речовини в сировині (шампінйонах) перебувають у важкорозчинних і важкозасвоюваних організмом людини нанокомплексах із хітином і полісахаридами, а також солями (найчастіше солями кремнію, кальцію, магнію та ін.). Криогенне подрібнення руйнує ці нанокомплекси, вивільняє білок із них і сприяє механодеструкції та механолізу білка до окремих амінокислот. Встановлено, що під час криогенного подрібнення відбувається дезагрегація й деструкція важкорозчинних білокхітинмінеральних комплексів, механічне руйнування білків до вільних амінокислот (на 65,0...70,0 %).

Відомо, що розмір молекули мономера протеїнів-амінокислот становить близько одного нанометра. Аналіз даних (табл. 1) показав, що крім механоактивація за рахунок кріомеханодеструкції приводить до значних змін структури білкової глобули й білокхітинових комплексів, втрати природної первинної структури та їх формування в окремі вільні амінокислоти, збільшує розчинність у воді й забезпечує високу засвоюваність живими організмами.

Таблиця 1

Вплив криогенного подрібнення на деструкцію білокхітинового комплексу шампінйонів і механолізу білка до вільних амінокислот під час отримання наноструктурованого дрібнодисперсного пюре

Амінокислота	Загальна кількість амінокислот у вихідних грибах, г у 100 г до СР	Амінокислоти білків грибів шампінйонів (у зв'язаному стані)				Амінокислоти білків грибів шампінйонів (у вільному стані)			Трансформація амінокислот білків (у зв'язаному стані) у вільну форму, % до вихідної сировини
		у свіжих грибах, г у 100 г до СР	наноструктуроване дрібнодисперсне пюре із грибів, г у 100 г до СР	додаткове вивільнення з зв'язаних амінокислот білків після криогенного подрібнення, % до вихідної сировини	збільшення вільних амінокислот до вихідної сировини, разів	у свіжих грибах, г у 100 г до СР	наноструктуроване дрібнодисперсне пюре із грибів, г у 100 г до СР	збільшення (до вихідної сировини) амінокислот у вільному стані після криогенного подрібнення, разів	
Аспарагінова к-та	1,36	1,14	1,61	140	1,4	0,22	0,76	3,5	47,2
Треонін	0,54	0,48	0,54	112	1,1	0,06	0,36	6,0	66,7
Серин	0,57	0,52	0,73	140	1,4	0,05	0,45	9,0	61,6
Глутамінова к-та	1,9	1,34	1,86	138	1,4	0,56	1,86	3,3	100,0
Пролін	0,75	0,42	0,58	138	1,4	0,33	0,68	2,1	117,2
Гліцин	0,61	0,57	0,74	130	1,3	0,04	0,25	6,3	33,8
Аланін	0,57	0,52	0,70	135	1,4	0,05	0,55	11,0	78,6
Цистеїн	0,12	0,06	0,08	133	1,3	0,06	0,09	1,5	112,5
Валін	0,59	0,54	0,68	125	1,3	0,05	0,51	10,2	75,0
Метіонін	0,39	0,32	0,96	300	3,0	0,07	0,66	9,4	68,8
Ізолейцин	0,53	0,47	0,80	170	1,7	0,06	0,86	14,3	107,5
Лейцин	0,99	0,72	1,33	185	1,9	0,27	0,87	3,2	65,4
Тирозин	0,57	0,48	0,62	129	1,3	0,09	0,24	2,7	38,7
Фенілаланін	0,46	0,42	0,71	169	1,7	0,04	0,38	9,5	53,5
Гістидин	0,76	0,33	1,04	315	3,2	0,43	0,74	1,7	71,2
Лізин	1,8	1,24	1,52	122	1,2	0,56	0,83	1,5	54,6
Аргінін	0,4	0,32	0,91	284	2,8	0,08	0,53	6,6	58,2
Триптофан	0,39	0,25	0,55	220	2,2	0,14	0,54	3,9	98,2
Сума	13,3	10,14	15,96	–	–	3,16	11,16	–	72,7
Середнє значення	–	–	–	171,4	1,7	–	–	5,9	–

Отримані дані щодо вмісту амінокислот у білку грибів шампінйонів були порівняні з гіпотетичним «ідеальним білком» (табл. 2). ФАО/ВООЗ запропонована стандартна амінокислотна шкала, з якою порівнюють склад білка досліджуваного продукту.

Розрахунок амінокислотного скуру показав, що білок грибів шампінйонів за амінокислотним складом наближається до «ідеального білка», але є лімітованим за такими амінокислотами як валін та ізолейцин. За такими амінокислотами як триптофан, лізин, лейцин та сумарною кількістю метіоніну і цистину, фенілаланіну і тирозину білок грибів перевищує «ідеальний білок» в 1,5–3 рази (табл. 2).

Таблиця 2

Амінокислотний склад грибів шампінйонів та величини амінокислотного скуру у порівнянні зі шкалою ФАО/ВООЗ

Амінокислота	Шкала ФАО/ВООЗ, мг в 1 г білка	Вміст АК мг в 100 г (білка 13,3%) до СР	Вміст АК, мг в 1 г білка	Скур, %
Незамінні амінокислоти				
Триптофан	10	390,0	29,4	294,0
Лізин	55	1800,0	135,3	246,0
Треонін	40	540,0	40,6	101,5
Валін	50	590,0	44,4	88,8
Метіонін+ +цистін	35	510,0	38,3	109,4
Ізолейцин	40	530,0	39,8	99,5
Лейцин	70	990,0	74,4	106,3
Фенілаланін+тирозин	60	1030	77,4	129,0
Всього незамінних амінокислот	–	6380,0	479,6	–

Отримані результати були підтвержені методом ІЧ-спектроскопічного аналізу (рис. 1).

Показано, що в дрібнодисперсному наноструктурованому пюре з грибів шампінйонів в області частот $\nu=3500\text{...}2600\text{ см}^{-1}$ характерних для валентних коливань ОН-груп спостерігається зменшення інтенсивності спектрів, яке відбувається в результаті механоактивації (МА) і механодеструкції (МД) при низькотемпературному подрібненні. Це свідчить про руйнування міжмолекулярних і внутрішньомолекулярних водневих зв'язків та підтверджує, що частина БАР із зв'язаного стану переходить у вільну.

Показано також, що в області частот $\nu=1450\text{...}1350\text{ см}^{-1}$ характерних для валентних коливань C-N_3 -груп, а також в області $\nu=1760\text{...}1100\text{ см}^{-1}$ та $\nu=2900\text{...}2000\text{ см}^{-1}$ характерних для валентних коливань -C=O- груп та -NH_2 груп відповідно, збільшується інтенсивність поглинання спектрів, що свідчить про збільшення масової частки α -амінокислот, які знаходяться у вільному стані, ароматичних речовин, ефірів після заморожування та низькотемпературного подрібнення, які були отримані хімічними та спектроскопічними методами дослідження.

На основі отриманих наукових результатів розроблена нанотехнологія дрібнодисперсного замороженого пюре із грибів шампінйонів, де в якості інновації використано криогенне «шокове» заморожування і

низькотемпературне подрібнення, яке дозволило вилучити приховані в рослинній сировині форми БАР і біополімерів та провести руйнування (механоліз) білку до окремих амінокислот, більш повно використати біологічний потенціал сировини.

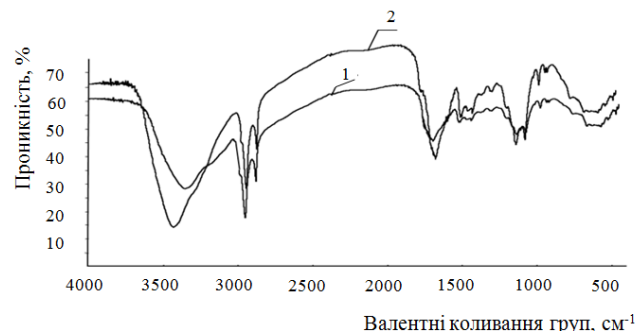


Рис. 1. Порівняльна характеристика ІЧ-спектрів шампінйонів (вихідні гриби) (1) та дрібнодисперсного наноструктурованого пюре (2) із них

5. Обґрунтування результатів дослідження трансформації зв'язаних амінокислот у вільні під час розробки нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре з грибів шампінйонів (*Agaricus Bisporus*)

Перевага цієї роботи полягає в тому, що авторами показано, що в грибах 70% рослинного білка (від вихідної сировини) знаходиться у зв'язаному в наноконформах із хітином, полісахаридами, мінералами стані, які перебувають у прихованій формі та не визначаються за допомогою традиційних хімічних методів дослідження, і про це ніхто не знав і не ставив питання, щоб їх витягти у вільний стан і далі використовувати для харчових цілей. Крім того, унікальність досліджень полягає в тому, що авторам вдалося 70% білка зруйнувати до окремих вільних амінокислот, які легко можуть засвоюватися організмом людини. Ці відомості дадуть можливість науковій спільноті по-новому розглядати проблеми глибокої переробки рослинної сировини та більш повно використовувати її біологічний потенціал для вирішення проблеми в «здоровому» харчуванні на всій Землі. Корисність розробленої авторами нанотехнології полягає в тому, що її можна застосовувати під час глибокої переробки будь-якої рослинної сировини. Проте, слід зазначити, що для кожної рослинної сировини залежно від її хімічного складу, морфологічної будови та інших факторів є своє «ноу-хау» під час розробки технології заморожування та низькотемпературного подрібнення.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Розроблено нанотехнологію отримання дрібнодисперсного пюре з грибів шампінйонів, яка від традиційної відрізняється використанням «шокового» заморожування з застосуванням рідкого та газоподібного азоту до кінцевої температури заморожування

–35...–40 °С (традиційно продукти заморозують до температури –18 °С) та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення, яке супроводжується процесами механодеструкції та механоактивації, що дозволяє вивільнити БАР та перевести їх частину із зв'язаного стану з біополімерами у вільний стан, тим самим більш повно використати біологічний потенціал сировини.

2. Досліджено вплив криогенного подрібнення на трансформацію зв'язаних амінокислот у вільні в замороженому дрібнодисперсному пюре з грибів шампінйонів. Установлено, що під час низькотемпературного подрібнення грибів шампінйонів відбувається вивільнення білка з комплексів (на 65...73 % вище, ніж у

вихідній сировині) та руйнування білку до окремих вільних амінокислот на 65–70 %.

3. Проведено порівняння скору білка грибів шампінйонів порівняно зі шкалою ФАО/ВООЗ. Показано, що білок грибів шампінйонів наближається до «ідеального білка», але є лімітованим за такими амінокислотами як валін та ізолейцин.

4. Проведено порівняння якості ІЧ-спектрів грибів шампінйонів та дрібнодисперсного наноструктурованого пюре із них. Підтверджено, що у криподрібненому пюре з грибів відбувається руйнування внутрішньомолекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків, як у комплексах біополімерів – БАР, так і в самих біополімерах.

Література

1. Павлюк, Р. Ю. Розробка технології консервованих вітамінних фітодобавок і їх використання в продуктах харчування профілактичної дії [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Р. Ю. Павлюк. – Одеса: ОДАХТ, 1996. – 446 с.
2. Тутельян, В. А. Питание и здоровье [Текст] / В. А. Тутельян // Пищевая промышленность. – 2004. – № 5. – С. 6–7.
3. Павлюк, Р. Ю. Крію і механохімія в харчових технологіях [Текст]: монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, О. О. Юр'єва, В. А. Павлюк та ін. – Х.: Фінарт, 2014. – 260 с.
4. Яценко, О. В. Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення [Текст] / О. В. Яценко // Гігієна населених місць. – 2012. – № 59. – С. 234–240.
5. Chelela, B. L. Antibacterial and antifungal activities of selected wild mushrooms from Southern Highlands of Tanzania [Text] / B. L. Chelela, M. Chacha, A. Matemu // American Journal of Research Communication. – 2014. – Vol. 2, Issue 9. – P. 58–68.
6. Garcia-Lafuente, A. Mushrooms as a source of anti-inflammatory agents [Text] / A. Garcia-Lafuente, C. Moro, A. Villares, E. Guillamon, M. A. Rostagno, M. D'Arrigo, J. A. Martínez // Anti-Inflammatory and Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry. – 2010. – Vol. 9, Issue 2. – P. 125–141. doi: 10.2174/187152310791110643
7. Bernas, E. Storage and processing of edible mushrooms [Text] / E. Bernas, G. Jaworska, W. Kmiecik // Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria. – 2006. – Vol. 5, Issue 2. – P. 5–23.
8. Канцеляренко, А. М. Актуальність переробки культивованих грибів у готову харчову продукцію. Ч. 1 [Текст] / А. М. Канцеляренко, К. В. Зубченко // Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв готельного, ресторанного господарств і торгівлі: тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. – Х.: ХДУХТ, 2012. – С. 12.
9. Reis, F. S. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms [Text] / F. S. Reis, L. Barros, A. Martins, I. C. Ferreira // Food and Chemical Toxicology. – 2012. – Vol. 50, Issue 2. – P. 191–197. doi: 10.1016/j.fct.2011.10.056
10. Bernas, E. Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria [Text] / E. Bernas, G. Jaworska, Z. Lisiewska // Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria. – 2006. – Vol. 5, Issue 1. – P. 5–20.
11. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition : report of a Joint WHO/FAO/UNU. Expert Consultation (WHO technical report series № 935) [Text]. – Geneva : World Health Organization, 2007. – 266 p. – Available at : http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43411/1/WHO_TRS_935_eng.pdf
12. Braaksma, A. Protein analysis of the common mushroom *Agaricus bisporus* [Text] / A. Braaksma, D. J. Schaap // Postharvest Biology and Technology. – 1996. – Vol. 7, Issue 1-2. – P. 119–127. doi: 10.1016/0925-5214(95)00034-8
13. Павлюк, Р. Ю. Вивчення якості грибів шампінйонів при низькотемпературному подрібненні [Текст]: тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. / Р. Ю. Павлюк, Т. С. Маціпура // Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв готельного, ресторанного господарств і торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2012. – Ч. 1. – С. 151.
14. Ribeiro, B. Fatty acid composition of wild edible mushrooms species: A comparative study [Text] / B. Ribeiro, P. G. de Pinhoa, P. B. Andrade, P. Baptista, P. Valentão // Microchemical Journal. – 2009. – Vol. 93, Issue. 1. – P. 29–35. doi: 10.1016/j.microc.2009.04.005
15. Jaworska, G. Effect of production process on the amino acid content of frozen and canned *Pleurotus ostreatus* mushroom [Text] / G. Jaworska, E. Bernas, B. Mickowska // Food Chemistry. – 2011. – Vol. 125, Issue 3. – P. 936–943. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.09.084
16. Bernas, E. Comparison of amino acid content in frozen *P. Ostreatus* and *A. Bisporus* mushrooms [Text] / E. Bernas, G. Jaworska. // Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria. – 2010. – Vol. 9, Issue 3. – P. 295–303.
17. Boldyrev, V. V. Mechanochemical modification and synthesis of drugs [Text] / V. V. Boldyrev // Journal of Materials Science. – 2004. – Vol. 39, Issue 16–17. – P. 5117–5120. doi: 10.1023/b:jmsc.0000039193.69784.1d
18. Balaz, P. Mechanochemistry in technology: from minerals to nanomaterials and drugs [Text] / P. Balaz, M. Balaz, Z. Bujnakova // Chemical Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 37, Issue 5. – P. 747–756. doi: 10.1002/ceat.201300669
19. Balaz, P. Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering [Text] / P. Balaz. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – 400 p.
20. Барамбойм, Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений [Текст] / Н. К. Барамбойм. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
21. Антонова, И. А. Некоторые технологические решения сохранения БАВ в консервированной грибной продукции [Текст] / И. А. Антонова, Е. А. Юшина, Е. А. Варламова // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2014. – № 10. – С. 64–67.