

*Досліджено вплив подрібнення на якість порошку обніжжя бджолиного за технологічними та фізико-хімічними показниками. Встановлено вплив механічної обробки на дисперсність продукту. Показано, що подрібнення може мати значний вплив на фітохімічні та технологічні характеристики порошку. Обґрунтовано вибір типу подрібнювача та, використовуючи метод математичного моделювання, оптимізовано технічні параметри для отримання високоякісного продукту*

*Ключові слова: флавоноїди обніжжя бджолиного, дисперсність порошку, технологічні властивості порошку обніжжя, фітохімічна активність*

*Исследовано влияние измельчения на технологические и физико-химические показатели обножки пчелиной. Установлено влияние механической обработки на дисперсность продукта. Показано, что измельчение может иметь значительное влияние на фитохимические и технологические характеристики порошка. Обоснован выбор типа измельчителя и, используя метод математического моделирования, оптимизированы технические параметры получения высококачественного продукта*

*Ключевые слова: флавоноиды обножки пчелиной, дисперсность порошка, технологические свойства порошка обножка, фитохимическая активность*

# ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОДРІБНЕННЯ БДЖОЛИНОГО ОБНІЖЖЯ

**С. В. Мерзлов**

Доктор сільськогосподарських наук, професор\*

E-mail: merzlov.sergiy.ua@gmail.com

**Н. М. Ломова**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: snezhkoolha@gmail.com

**С. А. Наріжний**

Кандидат технічних наук, асистент\*

E-mail: sam\_nsa@bigmir.net

**О. О. Сніжко**

Кандидат технічних наук, асистент

Кафедра технології м'ясних, рибних та морепродуктів

Національний університет біоресурсів і

природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

E-mail: snezhkoolha@gmail.com

**В. Я. Ворошук**

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра обладнання харчових технологій

Тернопільський національний технічний

університет ім. Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна, 46001

E-mail: voroschuk@gmail.com

\*Кафедра харчових технологій і

технологій переробки продукції тваринництва

Білоцерківський національний аграрний університет

пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117

## 1. Вступ

Значна кількість результатів обстежень [1] свідчать про масові порушення в раціоні харчування сучасної людини. Серед них надмірне споживання модифікованих тваринних жирів, нестача повноцінних білків, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, дефіцит вітамінів групи В, А і С, мінеральних речовин тощо.

Вирішити зазначені проблеми можливо шляхом розроблення технологій харчових продуктів, рецептурними компонентами яких є натуральні збагачувачі, що містять значну кількість нативних есенціальних нутрієнтів.

Сьогодні для збагачення молочних продуктів все частіше використовують апіпродукти (Pat. BG 111284, Pat. UA 37155 U), [2–4]. Серед останніх особливо цінним є обніжжя бджолине (ОБ) [5–7]. Існують дані про те, що квітковий пилок за складом, а отже і за можливостями впливу на людський організм, перевершує всі відомі і широко рекламовані препарати [8]. Особли-

вістю пилку квіткового є те, що його не рекомендовано використовувати у їжу в не обробленому стані. Відмічено припущення, що пилок буде краще засвоюватися, якщо його подрібнити [9].

Доступної інформації про методи і способи підготовки квіткового пилку для застосування його у складі кисломолочного напою знайдено не було. А отже, це питання залишається відкритим і потребує наукового обґрунтування та експериментального дослідження.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У харчовій індустрії існує багато технологій, які, з різною метою, передбачають зменшення розміру твердих компонентів. Наприклад, для прискорення екстракції або збільшення активної поверхні твердого компоненту. Подрібнення може скоротити термічну обробку під час приготування їжі, зокрема – бланшування, смаження тощо [10].

Термін «подрібнення» є загальноживаним і означає зменшення розміру твердої речовини шляхом механічної дії завдяки таким операціям, як роздавлювання, різання, перетирання тощо. Механізм процесу подрібнення полягає у деформації частинки твердого матеріалу, до моменту розламування або роздавлювання. Руйнування твердих матеріалів завдяки тріщинам та дефектам в структурі досягається за рахунок застосування декількох типів сили. Компресійні сили використовуються для грубого дроблення твердих матеріалів. Грубий помел передбачає зменшення розміру приблизно до 3 мм. Ударні сили можуть мати універсальне призначення і тому застосовуються для грубого, середнього і тонкого помелу різних харчових матеріалів. Сила тертя застосовується, переважно, для тонкого подрібнення твердих крихких харчових матеріалів, щоб отримати порошок з частинок розміром у мікрометрах [10, 11]. Молоткові і шнекові (різальні) подрібнювачі здатні забезпечити ступінь подрібнення в межах 2–5 мм [12]. Планетарні та шарові млинки здатні подрібнювати твердий матеріал до 10–30 мкм [13].

Результати оптимізації параметрів планетарного подрібнювача свідчать, що на якість порошку впливають такі параметри як швидкість обертання робочого органу, об'єм порції подрібнюваного матеріалу [14]. Встановлено, що підвищення швидкості скорочує час подрібнення, а наближення об'єму порції до граничних відміток призводить до погіршення результатів [14]. Подовження терміну обробки, має позитивний вплив на якість готового продукту, проте, цей процес не безмежний і на певному етапі втрачає зростання ефективності [15].

Гранулометричний склад твердих матеріалів характеризується наявністю частинок різних розмірів, а ступінь дисперсності показує наявність частинок певного розміру у наважці порошку. Однорідність порошку (за крупністю частинок) характеризується співвідношенням окремих частинок. Від ступеня дисперсності і однорідності залежать фізико-механічні, технологічні показники якості порошку, густина, сипучість, насипна маса тощо [16].

Отже, речовини у порошкоподібному стані мають ряд переваг перед неподрібненими. Зокрема, збільшення активної поверхні частинок сировини, що сприяє прискоренню процесу перетравлення і біодоступності поживних речовин, зручність під час зберігання та застосування тощо [17, 18]. Тому дослідження цього процесу, зокрема його ефективності, мають важливе значення. Проте оптимізація технології подрібнення ОБ в періодичних наукових виданнях не висвітлені.

### 3. Ціль та задачі дослідження

Мета досліджень – оптимізувати технологію подрібнення бджолиного обніжжя для отримання порошку високої якості за технологічними та фізико-хімічними показниками.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести морфологічні дослідження подрібненого ОБ;
- дослідити вплив дисперсності на фітохімічні та технологічні властивості порошку ОБ;

- обґрунтувати вибір типу подрібнювача для диспергування ОБ;
- оптимізувати технічні параметри подрібнення ОБ методом математичного моделювання.

### 4. Матеріали та методи дослідження впливу подрібнення на якість бджолиного обніжжя

#### 4.1. Матеріали, що досліджувалися для оптимізації технології подрібнення бджолиного обніжжя

Використовували зразки поліфлорного ОБ, що було зібрано у Прикарпатті. Вологість ОБ була не вище 10 %, розмір крупок –  $3 \pm 1$  мм, колір – жовтий, відтінки зеленого та коричневого, запах – квітково-медовий, смак – солодкуватий.

Підготовка зразків передбачала здійснення ряду заходів, спрямованих на підвищення зручності використання у дослідженнях зразків матеріалу природного походження [19].

У роботі використано стандартні біохімічні, фізичні, органолептичні мікроскопічні методи, метод математичного моделювання та інші методи оцінювання показників якості порошку обніжжя бджолиного [19].

#### 5. Результати досліджень якості подрібненого обніжжя бджолиного за технологічними та фізико-хімічними показниками

Результати дослідження впливу механічної обробки на якість диспергування (рис. 1) показали, що ОБ можливо подрібнити до розмірів, що варіювали від 120 до 8 мкм. Це може мати значний вплив на фітохімічну активність та якість обробленого продукту за рядом показників.

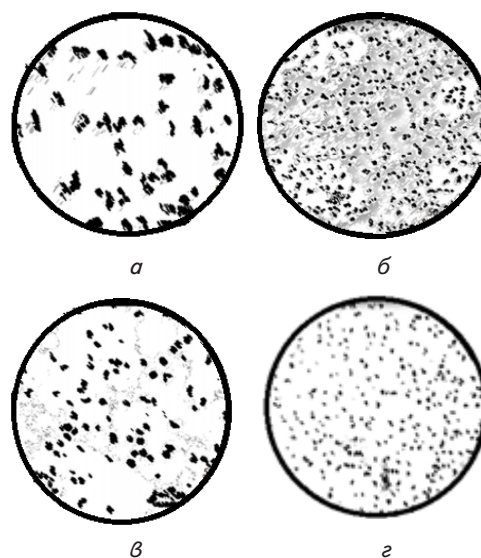


Рис. 1. Морфологічні особливості порошку обніжжя з частинками різного розміру: а –  $115 \pm 5$  мкм; б –  $20 \pm 2$  мкм; в –  $15 \pm 2$  мкм; з –  $10 \pm 2$  мкм

Флавоноїди це група фітохімічних речовин, яка цікавить науковців у галузі харчової хімії, дієтології, біотехнології. Флавоноїди слугували індикатором фітохімічної активності зразків ОБ різної дисперсності (рис. 2).

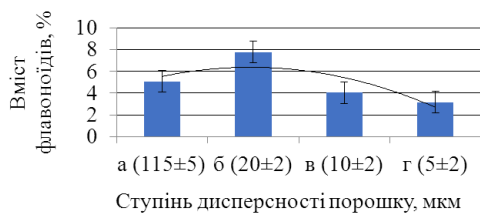


Рис. 2. Вплив подрібнення на вміст флавоноїдів у порошок обніжжя бджолиного

Вміст флавоноїдів в ОБ групи б (20±2) збільшився, порівняно з групою а (115±5) на 53%. Проте, з підвищенням ступеня дисперсності, вміст флавоноїдів у групах в (10±2) та г (5±2) помітно зменшився. Результат проведених досліджень демонструють, що диспергування природних харчових добавок сприяє вивільненню корисних біоречовин. Проте, надтонке подрібнення зменшує вміст флавоноїдів у обробленому продукті, можливо, у зв'язку з підвищенням температури під час механічної обробки.

Дисперсність порошку впливає на його технологічні властивості (рис. 3, а). Насипна маса має тенденцію росту зі збільшенням дисперсності від 115 до 3 мкм, відтак, 1 см<sup>3</sup> порошку дисперсністю 115±5 мкм важив на 10% менше, ніж порошок дисперсністю 15±2 мкм і на 13% менше – ніж порошок дисперсністю 5±2 мкм. Такий ефект позитивної кореляції може стати корисним для технології формування порошку ОБ у гранули чи інші форми випуску.

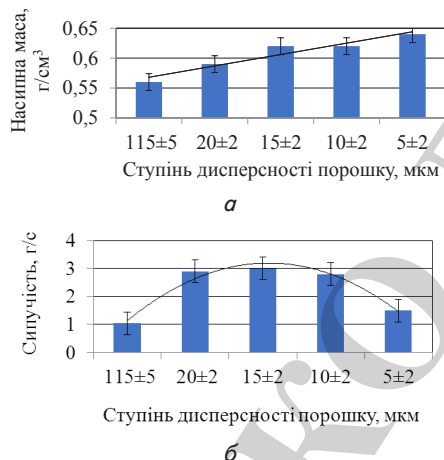


Рис. 3. Вплив дисперсності порошку обніжжя бджолиного на його: а – насипну масу; б – сипучість

Сипучість порошку ОБ дисперсністю 15±2 мкм, вища на 65%, ніж порошку дисперсністю 115±2 мкм (рис. 3, б), що забезпечить однорідніше розподілення матеріалу під час змішування його з іншими компонентами. Проте, збільшення дисперсії до 5±2 мкм стає причиною негативного ефекту і на 50%, знижує швидкість висипання порошку, порівняно з найкращим результатом. Тому оптимальним ступенем подрібнення для ОБ є розмір 15±5 мкм.

Найбільш важливими параметрами, що впливають на кінцеві характеристики порошку є тип подрібнювача, швидкість робочого органу, час подрібнення, ступінь заповнення ємкості [20].

З метою обґрунтування вибору типу подрібнювача проведено ряд експериментальних досліджень в осно-

ві, яких лежить оцінювання однорідності та дисперсності подрібненого матеріалу (табл. 2).

Таблиця 2

Якісні характеристики порошку, отриманого за допомогою різних подрібнювачів, n=5, p<0,05

№ досліду	Тип подрібнювача	Характеристика порошку обніжжя бджолиного	
		однорідність, %	дисперсність, мкм
1	Ріжучий	98±2,0	60±3
2	Млинок-ступка	97±1,0	12±3
3	Кульковий	99±0,5	15±1
4	Ударний	97±2,5	42±3

Встановлено, що обробка ОБ різними типами подрібнювачів забезпечує отримання порошку з різними якісними характеристиками. На ріжучому подрібнювачі вдалося отримати однорідний порошок (98±2,0%), який був недостатньо дрібним – 60±3 мкм. Порошок, виготовлений за допомогою ударного подрібнювача, за показниками якості був подібний до попереднього зразка. Найкращої якості обробленого матеріалу, за встановленими характеристиками, було досягнуто під час використання млинка-ступки та кулькового подрібнювачів, принцип роботи яких полягає у дії сили тертя та удару.

Контроль витрат електроенергії трьох типів подрібнювачів свідчать про доцільність застосування млинка-ступки для подрібнення ОБ. Оскільки, на відміну від використання вискоефективного кулькового подрібнювача, застосування млинка-ступки є енергозаощадливим [21, 22].

Однорідність – одна з важливих якісних характеристик порошоків, яка залежить від декількох факторів, серед яких першочергове значення мають число обертів млинка (X<sub>1</sub>), тривалість подрібнення (X<sub>2</sub>) та маса наважки ОБ (X<sub>3</sub>). Оптимізація технічних параметрів подрібнення ОБ проводилася з урахуванням впливу перерахованих факторів на відсоток частинок розміром ≤20 мкм у подрібненому ОБ. Число рівнів факторів залежало від наших очікувань щодо порядку поліноміальної моделі, яка підходила для апроксимації невідомої реальної поверхні і дорівнювало трьом рівням. В якості нульового рівня досліджуваних факторів обрали: X<sub>10</sub>=4 хв.; X<sub>20</sub>=100 г; X<sub>30</sub>=75 об./хв. Інтервали варіювання для кожного фактора відповідно дорівнюють: λ<sub>1</sub>=2 хв.; λ<sub>2</sub>=50 г; λ<sub>3</sub>=5 об./хв. Тоді верхній та нижній рівні факторів складуть:

$$X_1^+ = 4 + 2 = 6,$$

$$X_1^- = 4 - 2 = 2,$$

$$X_2^+ = 100 + 50 = 150,$$

$$X_2^- = 100 - 50 = 50,$$

$$X_3^+ = 75 + 5 = 80,$$

$$X_3^- = 75 - 5 = 70,$$

або у кодованих одиницях:

$$x_1^+ = (X_1^+ - X_{10}) / I_1 = (6 - 4) / 2 = +1,$$

$$x_1^- = (X_1^- - X_{10}) / I_1 = (2 - 4) / 2 = -1,$$

$$x_2^+ = (X_2^+ - X_{20}) / I_2 = (150 - 100) / 50 = +1,$$

$$x_2^- = (X_2^- - X_{20}) / I_2 = (50 - 100) / 50 = -1,$$

$$x_3^+ = (80 - 75) / 5 = +1,$$

$$x_2^- = (75 - 80) / 5 = -1.$$

Кількість варіантів дослідів, необхідну для визначення впливу на процес подрібнення комплексу факторів  $X_1, X_2, X_3$  визначаємо шляхом піднесення  $2^3$ :

$$N = 2^3 = 8.$$

Результати досліджень ( $y_i$ ) та середні значення однорідності отриманого порошку ( $\bar{y}$ ) кожного з восьми варіантів технічних параметрів у трьох дослідках представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати реалізації повно факторного експерименту,  $n=3, \rho=0,05$

№	Значення відгуку, %				Дисперсія ( $S^2$ )*	
	фактичні			розрахункові		
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}$		
1	88	92	87	89	90	7
2	90	94	89	91	90	7
3	88	93	89	90	92	7
4	92	96	91	93	92	7
5	90	93	89	90	91	4
6	90	94	89	91	92	7
7	95	100	96	97	97	7
8	98	100	99	99	99	1

Примітка: \* – сума дисперсії у кожному рядку дорівнює 47

Використовуючи середні фактичні значення, розраховуємо коефіцієнти регресії за формулами (2), (3):

В результаті обчислень отримали ряд коефіцієнтів:  $b_0=92,5; b_1=1,0; b_2=2,25; b_3=1,75; b_{12}=0,25; b_{13}=-0,25; b_{23}=1,5$ .

Рівняння регресії (1), при цьому, набувало такого вигляду:

$$y = 92,5 + 1x_1 + 2,25x_2 + 1,75x_3 + 0,25x_1x_2 - 0,25x_1x_3 + 1,5x_2x_3.$$

Проте,  $b_{12}, b_{13}$  – не значимі, оскільки менші значення коефіцієнту Стьюдента, що дорівнює 1 для числа ступенів свободи  $f = (m-1)N = (3-1)8 = 16$  і рівня значимості  $0,05t = 2,12$ .

Для оцінки значимості коефіцієнтів регресії проводили статистичний аналіз і визначили дисперсію (табл. 3). Адекватність рівняння перевіряли за розрахунковим критерієм Фішера, що дорівнює 2,18. Табличне значення критерію Фішера дорівнює 2,9. Воно більше, ніж розрахункове, значить рівняння адекватне даному процесу.

Взаємодія варійованих факторів візуально представлена поверхнями відгуку залежності однорідності

порошку від терміну та інтенсивності обробки і від маси наважки біоматеріалу (рис. 4, 5)

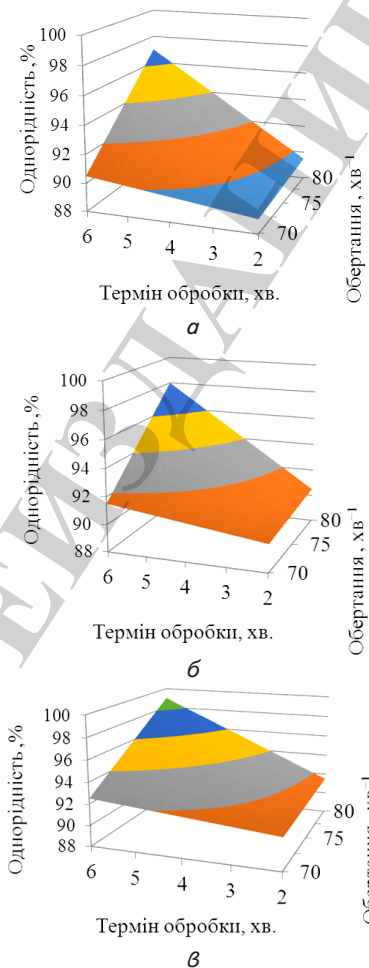


Рис. 4. Залежність однорідності порошку обніжжя джолоино від інтенсивності і тривалості обробки, якщо: а – наважка 50 г; б – наважка 110 г; в – наважка 150 г

Аналіз взаємодії факторів свідчить, що будь-яке значення  $X_1$  за нижнього рівня  $X_2$  не може забезпечити однорідність вище 90 %, оскільки не менше 8 % матеріалу – порошок дисперсністю  $>20$  мкм. Математичні моделі (рис. 4, а-в) показують, що на якість обробленого продукту більший вплив має тривалість процесу подрібнення, ніж інтенсивність роботи подрібнювача. З рештою, найкращий ефект досягається за умов, коли обидва фактори  $X_1$  і  $X_2$  набувають найвищого свого рівня. Зокрема, число обертів робочого органу подрібнювача –  $\geq 80$  об./хв., а термін обробки –  $\geq 6$  хв. До того ж, ефект підсилюється від сумісної дії таких факторів, як швидкості обертання та тривалості подрібнення.

Результати свідчать – однорідність порошку залежить від тривалості подрібнення більше, ніж від маси матеріалу. Проте найвищої якості можна досягнути максимально завантаживши чашу (150 г) і увімкнувши подрібнювач на 6 хв. за швидкості не менше 80 об./хв.

Тож, оптимальні технічні параметри процесу подрібнення обніжжя на млинку-ступці наступні: частота обертання робочого органу подрібнювача 70–80 об/хв ( $xv^{-1}$ ), тривалість оброблення – 6 хвилин, маса наважки 150 г.

## 6. Обговорення результатів оптимізації технології подрібнення бджолиного обніжжя

За результатами оптимізації технічних параметрів подрібнення ОБ встановлено, що на якість готового продукту за технологічними характеристиками найбільший вплив здійснює тривалість обробки. Маса завантаженого матеріалу спричиняє менший ефект, найменше на якість порошку впливає швидкість обертання робочого органу подрібнювача. Подібних досліджень, які б стосувалися подрібнення ОБ, знайдено не було у періодичних наукових виданнях. Проте, знайдено дослідження про оптимізацію параметрів подрібнення неорганічного матеріалу, де зазначено, що для отримання порошку високого ступеня помелу важливим є інтенсивність роботи подрібнювача. Відмічено, що наближення об'єму порції до граничних відміток призводить до погіршення ефекту [14]. На рис. 6 показано, що швидкість обертання робочого органу незначно відображається на якості готового продукту і продемонстровано відсутність негативного впливу максимального навантаження ступки. Протиріччя між отриманими результатами могли бути пов'язані з різною природою оброблюваного матеріалу, а також з відмінностями у кількості параметрів повнофакторного експерименту.

За результатами біохімічних досліджень встановлено доцільність обробки ОБ для підвищення у ньому рівня флавоноїдів. Отримані дані відповідають іншим результатам [23], де відмічено зменшення рівня флавоноїдів у тонкодисперсному порошку біоматеріалу природного походження, що має відображення і на рис. 3. Доведено, що більшість флавоноїдів виробляються в рослинах за стресових умов, саме тому різноманітні фактори, такі як ультрафіолет, хімічні речовини, висока температура і, зокрема, подрібнення сприяють збільшенню цих речовин [24]. Зниження рівня флаво-

ноїдів у зразках з високою дисперсністю, ймовірно за все, спровоковане підвищенням температури оброблюваного матеріалу, адже всі фітохімічні речовини надчутливі до високих температур.

Слід зазначити, що високий ступінь подрібнення може призвести ще й до таких негативних явищ як агломерація та погіршення технологічних характеристик порошку (рис. 3), які нівелюють позитивний ефект, зменшують активну поверхню та знижують біодоступність есенціальних нутрієнтів обробленого продукту. Схожі результати отримали інші автори [25].

## 7. Висновки

1. За результатами морфологічних досліджень встановлено, що, застосовуючи сучасні типи подрібнювачів, можна подрібнити бджолине обніжжя до розміру частинок від 120–8 мкм.

2. Дослідження показали, що ступінь дисперсності порошку впливає на фітохімічну активність обніжжя, оскільки вміст флавоноїдів у обніжжі збільшується у випадку подрібнення до розмірів частинок  $15 \pm 5$  мкм. У порошку дисперсністю  $\leq 10$  мкм флавоноїдів стає менше. Спираючись на результати дослідження технологічних властивостей порошку обніжжя, рекомендовано подрібнювати обніжжя бджолине до розміру частинок  $15 \pm 5$  мкм.

3. Обґрунтовано застосування млинка-ступки у технології подрібнення обніжжя бджолиного як найбільш ефективного подрібнювача за результатами оцінки однорідності та дисперсності готового продукту.

4. Застосовуючи план ПФЕ<sup>3</sup>, оптимізовано технологічні параметри подрібнення обніжжя млином-ступкою: швидкість робочого органу 70–80 об/хв. ( $\text{хв}^{-1}$ ), тривалість оброблення – 6 хвилин, масу наважки – 150 г.

## Література

1. Beal, T. Global trends in dietary micronutrient supplies and estimated prevalence of inadequate intakes [Text] / T. Beal, E. Massiot, J. E. Arsenault, M. R. Smith, R. J. Hijmans // PLOS ONE. – 2017. – Vol. 12, Issue 4. – P. e0175554. doi: 10.1371/journal.pone.0175554
2. Rashid, A. Studies on Quality Parameters of Set Yoghurt Prepared By the Addition of Honey [Text] / A. Rashid, Er. S. N. Thakur // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2012. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1–10.
3. Yerlikaya, O. Effect of bee pollen supplement on antimicrobial, chemical, rheological, sensorial properties and probiotic viability of fermented milk beverages [Text] / O. Yerlikaya // Mljekarstvo. – 2014. – P. 268–279. doi: 10.15567/mljekarstvo.2014.0406
4. Шлейкин, А. Г. Влияние сахарного сиропа, мёда и злаков на реологические свойства йогурта [Текст] / А. Г. Шлейкин, Н. В. Баракова, М. Н. Петрова, Н. П. Данилов, А. Е. Аргымбаева // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2015. – № 2. – С. 24–34.
5. Snezhko, O. Enhancing food safety of pollen by means of irradiation [Text] / O. Snezhko, N. Lomova, S. Narizhnyy, Z. S. Mingaleeva // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Vol. 4, Issue 1. – P. 32–39.
6. Ломова, Н. Н. Влияние меда, маточного молочка и пыльцы на биотехнологические процессы, происходящие в кисломолочных напитках [Текст] / О. О. Снежко, Н. Н. Ломова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 12 (68). – С. 62–65. doi: 10.15587/1729-4061.2014.23359
7. Ломова, Н. М. Біомаса Streptococcus thermophilus та Bifidobacterium longum у молочному середовищі з обніжжям бджолиним [Текст] / Н. Н. Ломова, О. О. Сніжко, С. А. Наріжний // Biotechnologia Acta. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 71–75. doi: 10.15407/biotech8.01.071
8. Соломка, В. А. Цветочная пыльца и здоровье [Электронный ресурс] / В. А. Соломка, Е. В. Тындык // Режим доступа: <http://dopomoha.kiev.ua/firms/med-pilca.htm>
9. Rimpler, M. Von Bienen gesammelte Blütenpollen: Eigenschaften und Verwendung [Text] / M. Rimpler // Ärztezeitschrift für Naturheilverfahren. – 2003. – Vol. 44, Issue 3. – P. 158–165.
10. Barbosa-Cánovas, G. V. Food Powders [Text] / G. V. Barbosa-Cánovas, E. Ortega-Rivas, P. Juliano, H. Yan. – NY: Springer, 2005. – 372 p.

11. Dziki, D. The size reduction theories of solid foods [Text] / D. Dziki, B. Gladyszewska, R. Rozylo, R. Polak, S. Rudy, A. Krzykowski // TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2012. – Vol. 12, Issue 2. – P. 41–45.
12. Barnwal, P. Influence of pin and hammer mill on grinding characteristics, thermal and antioxidant properties of coriander powder [Text] / P. Barnwal, K. K. Singh, A. Sharma, A. K. Choudhary, S. N. Saxena // Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 52, Issue 12. – P. 7783–7794. doi: 10.1007/s13197-015-1975-0
13. Chauruka, S. R. Effect of mill type on the size reduction and phase transformation of gamma alumina [Text] / S. R. Chauruka, A. Hassanpour, R. Brydson, K. J. Roberts, M. Ghadiri, H. Stitt // Chemical Engineering Science. – 2015. – Vol. 134. – P. 774–783. doi: 10.1016/j.ces.2015.06.004
14. Zhang, F. L. Parameters optimization in the planetary ball milling of nanostructured tungsten carbide/cobalt powder [Text] / F. L. Zhang, M. Zhu, C. Y. Wang // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2008. – Vol. 26, Issue 4. – P. 329–333. doi: 10.1016/j.ijrmhm.2007.08.005
15. Gour, S. Manufacturing Nano-Sized Powders Using Salt- and Sugar-Assisted Milling [Text] / S. Gour. – Philadelphia: Drexel University, 2010. – 133 p.
16. Murthy, T. P. K. Grinding Studies of Mango Ginger: Mathematical Modelling of Particle Size Distribution and Energy Consumption [Text] / T. P. K. Murthy, B. Manohar // American Journal of Food Science and Technology. – 2013. – Vol.1, Issue 4. – P. 70–76.
17. Chen, Q. M. Effect of Superfine Grinding on Physicochemical Properties, antioxidant Activity and Phenolic Content of Red Rice (*Oryza sativa* L.) [Text] / Q. M. Chen, M. R. Fu, F. L. Yue, Y. Y. Cheng // Food and Nutrition Sciences. – 2015. – Vol. 06, Issue 14. – P. 1277–1284. doi: 10.4236/fns.2015.614133
18. Bauer, J. F. Pharmaceutical Solids: Size, Shape, and Surface Area [Text] / J. F. Bauer // Journal of Validation Technology. – 2009. – P. 37–44. – Available at: [http://www.ivtnetwork.com/sites/default/files/PharmSolids\\_01.pdf](http://www.ivtnetwork.com/sites/default/files/PharmSolids_01.pdf)
19. Merzlov, S. Investigation of the process of bee pollen comminution [Text] / S. Merzlov, N. Lomova, S. Narizhniy, O. Snizhko, V. Voroshchuk // EUREKA: Life Sciences. – 2017. – Issue 5. – P. 39–44. doi: 10.21303/2504-5695.2017.00426
20. Biyik, S. The Effect of Milling Speed on Particle Size and Morphology of Cu25W Composite Powder [Text] / S. Biyik, M. Aydin // Acta Physica Polonica A. – 2015. – Vol. 127, Issue 4. – P. 1255–1260. doi: 10.12693/aphyspola.127.1255
21. Sahoo, A. Correlations for the grindability of the ball mill as a measure of its performance [Text] / A. Sahoo, G. K. Roy // Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. – 2008. – Vol. 3, Issue 2. – P. 230–235. doi: 10.1002/apj.133
22. Ломова, Н. М. Первинна підготовка апіпродуктів у біотехнології йогурту «Медовий» [Текст] / Н. М. Ломова, С. А. Наріжний, О. О. Сніжко // Наукові доповіді НУБіП України. – 2016. – № 7 (64). – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7717/7413>
23. Chen, Y. Physicochemical properties and adsorption of cholesterol by okra (*Abelmoschus esculentus*) powder [Text] / Y. Chen, B.-C. Zhang, Y.-H. Sun, J.-G. Zhang, H.-J. Sun, Z.-J. Wei // Food Funct. – 2015. – Vol. 6, Issue 12. – P. 3728–3736. doi: 10.1039/c5fo00600g
24. Zaiter, A. Effect of particle size on antioxidant activity and catechin content of green tea powders [Text] / A. Zaiter, L. Becker, M.-C. Karam, A. Dicko // Journal of Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 53, Issue 4. – P. 2025–2032. doi: 10.1007/s13197-016-2201-4
25. Otte, A. Assessment of Milling-Induced Disorder of Two Pharmaceutical Compounds [Text] / A. Otte, M. T. Carvajal // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2011. – Vol. 100, Issue 5. – P. 1973–1804. doi: 10.1002/jps.22415