

## КОРЕГУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІЛКОВО-ЖИРОВОЇ СУМІШІ ШЛЯХОМ РОЗШИРЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ

Бочкарев С. В., Варанкіна О. О., Бєлих І. А., Самойленко С. І., Звягінцева О. В.

### 1. Вступ

В теперішній час розробка білково-жирових сумішей з заданими характеристиками (склад, структура, органолептичні показники) ведеться відповідно до принципів харчової комбінаторики [1]. Роботи зі збагачення харчових сумішей есенціальними речовинами з метою поліпшення їх якості, що проводяться в багатьох країнах світу, передбачають збалансованість жирнокислотного складу ліпідів, амінокислотного складу білків, а також збагачення мінерними нутрієнтами [2–4]. Однак всі ці роботи включають, як правило, використання сировини тваринного походження – м'яса, м'ясопродуктів, казеїну, сироваткових білків та ін. Треба відзначити, що тваринні білки біологічно більш цінні порівняно з рослинними, проте їхня вартість набагато вища.

У виробництві харчових продуктів широке застосування починають знаходити рослинні білкові суміші. Їх використання обумовлене їхніми технологічними властивостями, під якими мають на увазі поведінку білків в харчових системах: здатність поглинати і утримувати воду, жир, утворювати емульсії, піну, гелі, грати роль зв'язуючих агентів і т. ін. [5]. Ці напівфабрикати можуть покращувати технологічні показники якості, замінювати дефіцитну, дорогу тваринну сировину і збагачувати незамінними нутрієнтами продукти харчування.

Для споживачів доцільним є харчування продуктами на основі традиційної рослинної сировини. Практичне харчування людини обумовлене оптимальними нормами і реальними можливостями. Сучасні продукти харчування повинні найкращим чином відповідати природним процесам засвоєння харчових речовин людиною, сформованими в ході історії. В результаті досліджень [6, 7] розроблено білково-жирову суміш підвищеної харчової цінності, збагачену незамінними амінокислотами і поліненасиченими жирними кислотами  $\omega$ -3 групи відповідно до фізіологічних потреб спортсменів, працівників важкої фізичної праці, військовослужбовців. Дана білково-жирова суміш містить наступні компоненти: підсушене подрібнене насіння соняшнику, кунжуту і льону в обґрунтованих співвідношеннях. Слід акцентувати увагу на тому, що в процесі подрібнення обраного олійного насіння та сумішей на його основі на млині ударного безперервного типу виявлено труднощі щодо тонкого помелу насіння. Крім того, ускладнюється його видалення з камери подрібнювача з причини високої в'язкості отриманої маси. Таким чином, вивчення та обґрунтування способів зменшення в'язкості та підвищення текучості маси білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності з олійного насіння є актуальним. Розроблене технологічне рішення має важливе теоретичне і прикладне значення для підвищення ефективності переробки олійної сировини.

## **2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит**

*Об'єктом даного дослідження є технологічні характеристики білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності в залежності від додавання рослинної олії як компоненту. Для виявлення такої залежності проводився технологічний аудит, метою якого було визначення зміни ефективної в'язкості та ступеню розшарування білково-жирової суміші від кількості рослинної олії, що додається.*

В процесі подрібнення обраного олійного насіння та сумішей на його основі на ножовому вертикальному подрібнювачі моделі Glasser (частота обертів близько 7000...10 000 об./хв.) виявлено труднощі щодо власне помелу насіння, а також його видалення з камери подрібнювача з причини високої в'язкості маси. Тому основним напрямком удосконалення технології виробництва білково-жирової суміші є визначення раціональних умов щодо зменшення в'язкості та підвищення текучості маси, що, в свою чергу, спрощуватиме процес дозування та пакування продукту. Це дозволить підвищити його технологічні характеристики.

## **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження – обґрунтування розширення компонентного складу білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності за рахунок рослинної олії на основі моделювання та раціоналізації її технологічних характеристик.*

Для досягнення поставленої мети треба вирішити наступні задачі:

1. Дослідити залежність ефективної в'язкості та ступеню розшарування білково-жирової суміші від вмісту в ній рафінованої рослинної олії.
2. Визначити компонентний склад білково-жирової суміші з прийнятними технологічними характеристиками.

## **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Серед основних напрямків вирішення проблеми підвищення технологічних характеристик білково-жирових сумішей, виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені [8, 9], в яких розглядається спосіб отримання білково-жирових сумішей способом сухого змішування. Даний спосіб перемішування не веде до утворення «мертвих зон» і розігріву продукту. В роботі [10] наведено переваги і недоліки сухого змішування компонентів білково-жирових сумішей на барабанних змішувачах. Показано, що перевагами вказаного обладнання по відношенню до інших пристроїв є простота конструкції і надійність в експлуатації, можливість змішування матеріалів без руйнування часточок, широкий діапазон робочого об'єму, мінімум негативного впливу відцентрової сили. Проте фізико-хімічні показники сировини розробленої білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності для харчування спортсменів [6, 7] роблять даний метод отримання продукту недоцільним з огляду на високий вміст в олійному насінні жирів. При тонкому помелі олійної сировини утворюється пастоподібна маса високої в'язкості, що не може класифікуватися як суха суміш.

Роботи [11, 12] присвячені розгляду отримання білково-жирових комплексів шляхом емульгування компонентів і їх подальшого застосування. Авторами роботи показано, що підготовлені емульсії білково-жирових добавок стабільні протягом тривалого часу і мають різну консистенцію в залежності від інтенси-

вності збивання і діаметру жирових кульок, що утворилися. Тому ефект їх застосування може істотно відрізнятись в різних білково-жирових сумішах спеціального призначення [13]. З аналізу цих робіт залишається питання емульгування сумішей, в яких спостерігаються інтенсивні процеси гідролізу ліпідної фази в присутності води. Наприклад, розроблена білково-жирова суміш підвищеної харчової цінності [6, 7] містить в своєму складі природні поверхнево активні речовини (фосфоліпіди). Але процес емульгування в продукті не відбувається і є недоцільним, тому вміст води нормується в діапазоні від 4,5 до 6,5 %.

Представляє інтерес варіант вирішення проблеми, викладений в роботах [14, 15], що передбачає інкапсуляцію ліпідних компонентів білково-жирових сумішей. При цьому утворюються частинки розміром від кількох мікрон до декількох міліметрів. Зокрема мікрокапсуляція дозволяє відокремити матеріал, що капсулюється, від навколишнього середовища до тих пір, поки не відбудеться його вивільнення. Властивості матеріалу стінок капсул можуть бути підібрані таким чином, щоб захистити вміст капсул і забезпечити вивільнення речовин при певних умовах. Крім того, інкапсуляція дозволяє досягти істотного гальмування процесів окисного псування ліпідної складової в продукті [16, 17]. Але описані технологічні рішення є ресурсовитратними та дорогими, зокрема для складних багатокомпонентних сумішей, в яких окрім білкової та ліпідної складових також присутні харчові волокна, вітаміни та мінеральні речовини.

Таким чином, результати аналізу ресурсів світової наукової періодики дозволяють зробити висновок про те, що єдиної думки щодо можливості підвищення технологічних характеристик білково-жирових сумішей не існує. Вибір найбільш прийняттого технічного рішення для кожного окремого об'єкта може базуватися на результатах, отриманих на модельних системах, що досліджуються.

## **5. Методи дослідження**

Для проведення досліджень використано наступні матеріали:

- насіння льону згідно з ДСТУ 4967:2008;
- насіння кунжуту згідно з ДСТУ 7012:2009;
- насіння соняшнику згідно ДСТУ 7011:2009;
- олія соняшнику згідно з ДСТУ 4492:2005.

Білково-жирова суміш являє собою суміш підсушеного подрібненого насіння льону –  $60,00 \pm 3,00$  % мас., кунжуту –  $25,00 \pm 1,25$  % мас. і соняшнику –  $15,00 \pm 0,75$  % мас. від маси суміші насіння. Модельні зразки білково-жирової суміші з різною концентрацією соняшникової олії отримано за допомогою подрібнення на млині ударного безперервного типу.

Ефективна в'язкість модельних зразків білково-жирової суміші з обраною концентрацією рослинної олії визначалася на ротаційному віскозіметрі «Rheotest 2» (Німеччина). Даний прилад призначений для вимірювання реологічних властивостей неньютонівських рідин, наприклад, розчинів загусників (камеді, пектини) в системі коаксиальних (співвісних) циліндрів. Перед визначенням зразки суспензій білково-жирової суміші з обраною концентрацією рослинної олії витримувалися 2 години при температурі 20 °С.

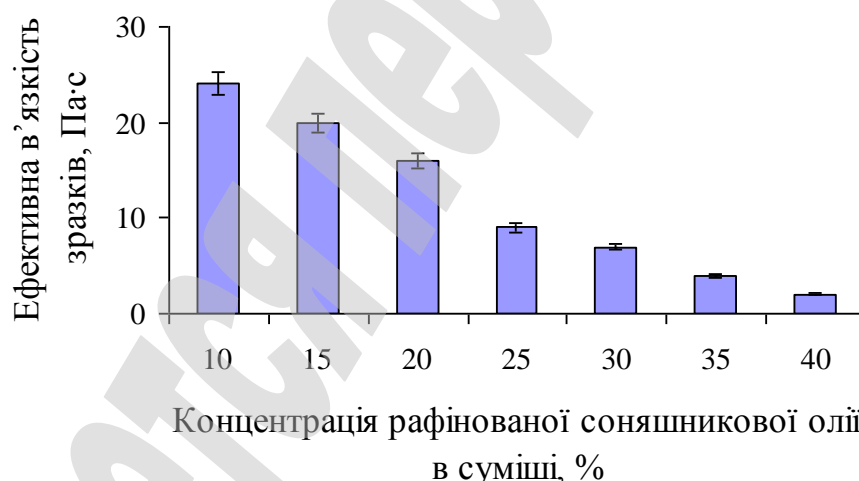
Ступінь розшарування білково-жирової суміші з рафінованою рослинною олією визначено центрифугуванням на центрифугі «800-D» (Китай) протягом 5 хвилин зі швидкістю обертання 1500 об./хв.

Для планування експерименту і обробки даних застосовано математичні методи з використанням програмних пакетів *Microsoft Office Excel 2003 (USA)* та *Stat Soft Statistica v 6.0 (USA)*. Дослідження проводили у трикратному повторенні. При заданій ступені ймовірності  $P=95\%$ , відносна похибка не перевищувала:

- при визначенні ефективної в'язкості модельних зразків білково-жирової суміші з соняшниковою олією – 3 %;
- при визначенні ступеню розшарування модельних зразків білково-жирової суміші з соняшниковою олією – 2 %.

## 6. Результати дослідження

Дослідження ефективної в'язкості та ступеню розшарування модельних зразків білково-жирової суміші з рафінованою соняшниковою олією проведено за кімнатної температури. У якості фактору прийнято концентрацію рафінованої соняшникової олії в суміші, функцією відгуку є ефективна в'язкість зразків. Результати досліджень наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Залежність ефективної в'язкості модельних зразків білково-жирової суміші з соняшниковою олією від масової частки олії

Рівняння регресії для розрахунку функції відгуку має вид:

$$V_e(c_{\text{ол.}}) = 0,2976 \cdot c_{\text{ол.}}^2 - 6,2024 \cdot c_{\text{ол.}} + 30,571 \quad (\text{в інтервалі } c_{\text{ол.}} = 10 \dots 40 \%), \quad (1)$$

де  $V_e$  – ефективна в'язкість білково-жирової суміші, Па·с;

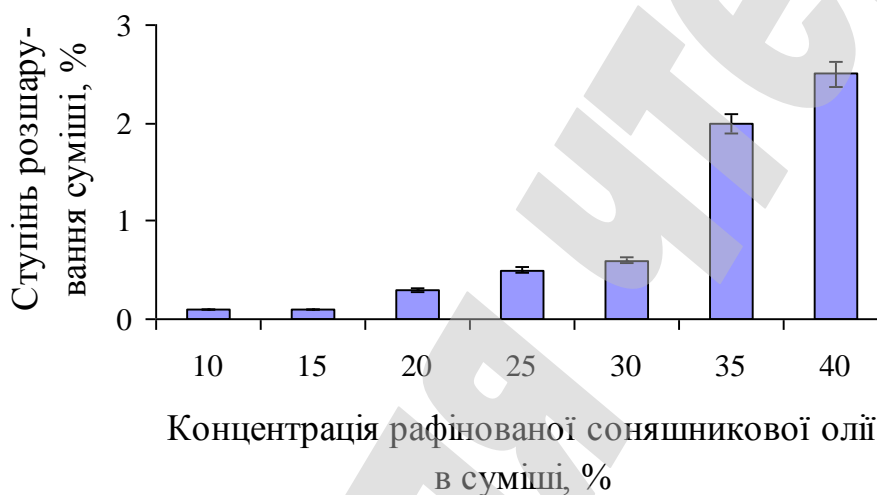
$c_{\text{ол.}}$  – масова частка соняшникової олії в білково-жировій суміші, %.

Як видно з діаграми на рис. 1, при збільшенні концентрації олії в білково-жировій суміші з 10 до 40 % відбувається зниження ефективної в'язкості від 24 до 2 Па·с.

Дослідження ступеню розшарування модельних зразків білково-жирової суміші з рафінованою соняшниковою олією у рецептурі проведено за кімнатної

температури. У якості фактору прийнято концентрацію соняшникової олії, що вносилося у модельні зразки білково-жирової суміші, функцією відгуку є стійкість зразків суміші. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Як видно з діаграми на рис. 2, при збільшенні концентрації олії в білково-жировій суміші з 10 до 40 % відбувається збільшення ступеню розшарування суміші від 0,1 до 2,5 %. Збільшення ступеню розшарування отриманої маси до 1,00...2,5 % є неприпустимим з точки зору споживчих властивостей продукту.



**Рис. 2.** Залежність ступеню розшарування модельних зразків білково-жирової суміші з соняшниковою олією від масової частки олії

Рівняння регресії для розрахунку функції відгуку має вид:

$$DS(c_{\text{ол.}}) = 0,0988 \cdot c_{\text{ол.}}^2 - 0,3869 \cdot c_{\text{ол.}} + 0,4429 \quad (\text{в інтервалі } c_{\text{ол.}} = 10 \dots 40 \%), \quad (2)$$

де  $DS$  – ступінь розшарування білково-жирової суміші, %;

$c_{\text{ол.}}$  – масова частка соняшникової олії в білково-жировій суміші, %.

Наведені рівняння регресії (1), (2) отримано шляхом апроксимації даних. Адекватність регресійних моделей перевірено за допомогою критерію Фішера. Значення коефіцієнту детермінації нелінійної регресії  $R^2 > 0,98$  і  $R^2 > 0,95$  відповідно. Приведені рівняння регресійних моделей описують реальний процес адекватно в інтервалі концентрацій рафінованої олії в білково-жировій суміші від 10 до 40 %. Аналіз отриманих даних показав, що соняшникова олія, що додавалася для зменшення в'язкості та підвищення текучості маси, спрощувала процес дозування та пакування продукту. Ефективна концентрація олії склала  $15,00 \pm 0,75$  % до маси готового продукту як така, що поліпшує технологічні характеристики і не погіршує споживчі властивості продукту. Відповідно вміст насіння льону склав  $51,00 \pm 2,50$  %, насіння кунжуту –  $21,25 \pm 1,00$  %, насіння соняшнику –  $12,75 \pm 0,60$  %. Ефективна в'язкість отриманої білково-жирової суміші склала  $16,0 \pm 1,5$  Па·с, а ступінь розшарування продукту –  $0,20 \pm 0,01$  %.

Таким чином, обґрунтовано та експериментально підтверджено необхідність застосування рослинної олії для отримання білково-жирової суміші з оптимальними технологічними характеристиками, зокрема в'язкістю, та стійкістю до розшарування у відповідності до вимог виробництва.

## **7. SWOT-аналіз результатів дослідження**

*Strengths.* Серед сильних сторін даного дослідження необхідно відмітити отримані результати щодо обґрунтування раціонального вмісту соняшникової олії в білково-жировій суміші підвищеної харчової цінності для покращення її технологічних характеристик. За результатами аналізу сучасної наукової літератури на сьогоднішній день такі результати відсутні. Використання отриманих даних дозволяє вирішити задачу вибору способу тонкого помолу білково-жирової суміші з отриманням маси прийнятної в'язкості та підвищеної текучості. Варто відзначити економічну привабливість обраного способу отримання білково-жирової суміші для харчових виробництв. Використання такої суміші в технологіях харчової, зокрема кондитерській, промисловості, відкриває широкі можливості для розширення асортименту продукції спеціалізованого призначення на основі олійного насіння для спортсменів, працівників важкої фізичної праці, військовослужбовців, адже на даний час такий вид майже відсутній.

*Weaknesses.* Слабкою стороною даної розробки можна вважати вибір для білково-жирової суміші такого компоненту, як рафінована соняшникова олія. Дану складову суміші можна замінити на рослинну олію, що має вищі показники біологічної цінності за такими показниками як вміст поліненасичених жирних кислот  $\omega$ -3 групи та антиоксидантів. Крім того, отримані залежності технологічних характеристик білково-жирової суміші від вмісту олії вимагають стандартизації ряду фізико-хімічних показників олійної сировини.

*Opportunities.* На перспективу було б доцільним проведення досліджень показників біологічної активності та стабільності до окислювального псування білково-жирової суміші з іншими рафінованими оліями, які представлені на українському ринку.

*Threats.* Складнощі у впровадженні отриманих результатів дослідження можуть бути пов'язані з таким фактором, як менеджмент підприємств харчової промисловості. Вкладення додаткових коштів, навіть незначних, в придбання необхідного обладнання та відсутність відчутного результату впливає на позицію осіб, які приймають рішення. Цей ризик має під собою всі підстави, так як отримані математичні моделі процесу, як було сказано вище, вимагають стандартизації ряду показників олійної сировини.

Таким чином, SWOT-аналіз результатів дослідження дозволяє визначити основні напрямки щодо досягнення мети досліджень, а саме:

- розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо стандартизації показників олійної сировини для виробництва білково-жирової суміші підвищеної харчової цінності;
- оцінки ефективності тонкого помолу олійного насіння з додаванням рослинної олії обґрунтованої концентрації в промислових умовах;

– розробки технологічних рішень щодо виробництва білково-жирової суміші підвищеної біологічної цінності.

## 8. Висновки

1. Досліджено залежності ефективної в'язкості та ступеню розшарування білково-жирової суміші від вмісту в ній рафінованої рослинної олії. Дані залежності являють собою квадратичні функції, які прогнозують зменшення ефективної в'язкості при виробництві та збільшення ступеню розшарування білково-жирової суміші при зберіганні при збільшенні вмісту рафінованої соняшникової олії.

2. Визначено компонентний склад білково-жирової суміші з прийнятними технологічними характеристиками. Ефективна концентрація рафінованої соняшникової олії складала  $15,00 \pm 0,75$  % до маси готового продукту. Відповідно вміст насіння льону склав  $51,00 \pm 2,50$  %, насіння кунжуту –  $21,25 \pm 1,00$  %, насіння соняшнику –  $12,75 \pm 0,60$  %. Таким чином, ефективна в'язкість отриманої білково-жирової суміші склала  $16,0 \pm 1,5$  Па·с, а ступінь розшарування продукту –  $0,20 \pm 0,01$  %.

## Література

1. Syrokhman I. V., Zavhorodnia V. M. *Tovaroznavstvo kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia*. Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury, 2009. 544 p.
2. Skoryukin A. P., Nechaev A. P., Kochetkova A. A. Kupazhrovannye rastitel'nye masla so sbalansirovannym zhirkislotnym sostavom dlya zdorovogo pitaniya // *Maslozhrovaya promyshlennost'*. 2002. Issue 2. P. 26–27.
3. Technological, physico-chemical and sensory properties of raw and cooked meat batter incorporated with various levels of cold milled flaxseed powder / Yogesh K. et. al. // *Journal of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 52, Issue 3. P. 1610–1617. doi: <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1185-6>
4. Prinzo Z. W., de Benoist B. Meeting the challenges of micronutrient deficiencies in emergency-affected populations // *Proceedings of the Nutrition Society*. 2002. Vol. 61, Issue 2. P. 251–257. doi: <http://doi.org/10.1079/pns2002151>
5. Kolpakova V. V., Volkova A. E., Nechaev A. P. Emul'giruyushhie, penoobrazuyushhie svoystva belkovoy muki iz pshenichnykh otrubey // *Izvestiya VUZov. Pishhevaya tekhnologiya*. 1995. Issue 1-2. P. 34–37.
6. Development of the protein-fatty base of the sugar confectionery for nutrition of the sportsmen / Bochkarev S. et. al. // *Technology Audit And Production Reserves*. 2016. Vol. 5, Issue 3 (31). P. 58–64. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81142>
7. Research of the oilseeds ratio on the oxidative stability of the protein-fat base for sportsmen / Bochkarev S. et. al. // *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 2, Issue 3 (34). P. 8–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.96665>
8. Omarov R. S., Antipova L. V., Konieva O. N. Biotechnological Aspects In The Development Of Functional Food Products // *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*. 2018. Vol. 9, Issue 3. P. 751–755.
9. Guidelines on food fortification with micronutrients / Lindsay A. et. al. // World Health Organization, Food and Agricultural Organization of the United Nations. France: WHO, 2006. 370 p.

10. Apostol L., Berca L., Mosoiu C. Partially Defatted Pumpkin (*Cucurbita maxima*) Seeds – a Rich Source of Nutrients for Use in Food Products // *Revista de chimie*. 2018. Vol. 69. Issue 6. P. 1398–1402.
11. Natural oil emulsions stabilized by  $\beta$ -glucan gel / Veverka M. et. al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018. Vol. 537. P. 390–398. doi: <http://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.10.043>
12. *Lipids in modern nutrition* / ed. by Horisberger M., Bracco U. Nestle nutrition. New York: Raven Press, 1987. 248 p.
13. Bioactive Compounds in Functional Meat Products / Pogorzelska-Nowicka E. et. al. // *Molecules*. 2018. Vol. 23, Issue 2. P. 307. doi: <http://doi.org/10.3390/molecules23020307>
14. Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal / Stoneham T. R. et. al. // *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13, Issue 4. P. e0194241. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0194241>
15. Physical Properties, Microstructure, Intermolecular Forces, and Oxidation Stability of Soybean Oil Oleogels Structured by Different Cellulose Ethers / Meng Z. et. al. // *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2018. Vol. 120, Issue 6. P. 1700287. doi: <http://doi.org/10.1002/ejlt.201700287>
16. Bolger Z., Brunton N. P., Monahan F. J. Impact of inclusion of flaxseed oil (pre-emulsified or encapsulated) on the physical characteristics of chicken sausages // *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 230. P. 39–48. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.026>
17. Technological, physico-chemical and sensory properties of raw and cooked meat batter incorporated with various levels of cold milled flaxseed powder / Yogesh K. et. al. // *Journal of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 52, Issue 3. P. 1610–1617. doi: <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1185-6>