

Я. О. Свіщова¹, канд. хім. наук, доцент, І. В. Галясний², канд. техн. наук,
А. М. Діхтярь¹, канд. техн. наук, доцент,
Мюшфік Панах огли Бакіров¹, канд. техн. наук, В. Є. Новікова¹, канд. пед. наук, доцент,
М. С. Пономарьова¹, канд. екон. наук, доцент, О. С. Аштаєв³, викладач

ОПТИМІЗАЦІЯ ОКИСНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ЕМУЛЬСІЙНИХ ЖИРОВИХ СИСТЕМ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ Ω -3 ПНЖК ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

¹Державний біотехнологічний університет, Харків

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків

³Відокремлений структурний підрозділ «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету», Харків

Ключові слова: комплексний антиоксидант, емульсійна система, поліненасичені жирні кислоти, стабільність до окиснення, термін зберігання.

Вступ

Поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), зокрема ω -3, є есенціальними та визначають функціональні властивості жирових систем [1, 2]. Для реалізації їх біологічного потенціалу необхідне оптимальне співвідношення ω -3/ ω -6, яке важко досягти, використовуючи індивідуальні олії [1, 3]. Комбінування олій лінолевої (соняшникова, кукурудзяна) та ліноленової (ляна, рижієва, конопляна) груп дозволяє формувати багаті ω -3 ПНЖК системи [4].

Однак висока схильність ω -3 ПНЖК до окиснення загрожує стабільності та безпеці продуктів, призводячи до утворення токсичних сполук [5]. Перспективним шляхом протекції є застосування натуральних антиоксидантів (флавоноїдів, катехінів, фенольних кислот), що одночасно підвищують біологічну цінність [6]. Таким чином, розробка стабілізованих антиоксидантами емульсійних систем із заданим жирнокислотним складом є актуальною для розширення асортименту функціональних харчових продуктів.

Дослідження існуючих рішень проблеми

Аналіз сучасних досліджень свідчить про активний пошук методів стабілізації емульсійних систем, збагачених ω -3 ПНЖК, з використанням природних антиоксидантів. Дослідження [7] показало, що введення β -каротину (0,012 %) у емульсійні системи на основі конопляної олії збільшує період індукції окиснення в 1,58–2,08 рази, а оптимальна стабілізація досягається при використанні лецитину (0,8–1,0 %) та ксантанової камеді (0,0–0,1 %). Для подолання обмежень щодо мікробіологічної стійкості в роботі [8] запропоновано використання сухого екстракту кори берести, який проявляє виражену антиоксидантну та антимікробну дію в жирових системах на основі риб'ячого жиру. Однак залишається проблема низької розчинності цього екстракту у водно-олійних середовищах. Альтернативним рішенням є застосування комплексних антиоксидантів на основі ефірних олій. Так, у дослідженні [9] композиція з ефірних олій коріандру, базилику та чебрецю збільшила період індукції окиснення в 3,75 рази, зберігаючи високий вміст α -ліноленової кислоти (10,6 %).

Важливим напрямком досліджень є синергія між різними типами антиоксидантів. У роботі [10] обґрунтовано склад жирової системи (льняна, кукурудзяна, кунжутна олії у співвідношенні 1:2:1), стабілізованої токоферолами, сезамолом та сезамоліном. Однак дослідження [11] виявило неадитивний ефект сумішей бета-каротину та хлорофілу А, де хлорофіл А може проявляти прооксидантні властивості. Сучасні підходи включають використання біотехнологічно переетерифікованих жирів [12] та нетрадиційних олій, таких як олія з насіння гуави [13], що підвищує загальний вміст фенолів та каротиноїдів, а отже, й окисну стабільність. Дослідження [14] також демонструє потенціал комбінації сироваткового протеїну та екстракту м'яти для покращення фізичної, окисної та мікробіологічної стійкості систем з авокадо.

Особливу увагу привертають комплексні антиоксиданти. У роботі [15] доведено ефективність комбінації трет-бутилгідрокінону, аскорбінової кислоти та ефірної олії кропу для стабілізації концентратів ω -3 ПНЖК.

Проведений аналіз підтверджує актуальність розробки нових емульсійних систем, збагачених ω -3 ПНЖК, та ефективність використання комплексних природних антиоксидантів для підвищення їх окисної стабільності. Перспективним є поєднання токоферолів з ефірними оліями (часнику, лавру), що може забезпечити одночасний антиоксидантний, антимікробний ефект та покращення органолептичних властивостей.

Мета та основні задачі дослідження

Метою дослідження є розробка складу комплексного антиоксиданту для емульсійної системи (дресінгу), збагаченого ω -3 ПНЖК. Отримані результати роботи дадуть можливість підвищити стабільність та харчову цінність дресінгу протягом зберігання, знизивши рівень окиснення ω -3 ПНЖК, що сприятиме збереженню його якісних показників та органолептичних властивостей.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі:

– дослідити динаміку окиснення олійної основи емульсійної системи (дресінгу) на базі нерафінованих олій холодного пресування з різним співвідношенням ω -3: ω -6 ПНЖК;

– обґрунтувати склад комплексного антиоксиданту для стабілізації від окисної деструкції зразків емульсійної системи (дресінгу), збагачених ω -3 ПНЖК.

Матеріали та методи досліджень

Під час досліджень використано такі матеріали:

– олія гарбузова нерафінована (виробництво Україна), згідно з CAS 8016-49-7;
– олія з насіння рижю нерафінована (виробництво Україна), згідно з CAS 8001-20-5;

– екстракт токоферолів (виробництво Україна), згідно з CAS 1406-66-2;

– часникова ефірна олія (виробництво Україна), згідно з CAS 8000-78-0;

– лаврова ефірна олія (виробництво Україна), згідно з CAS 8007-48-5.

Пероксидне число олій та їх сумішей визначено згідно ДСТУ ISO 3960. Жирнокислотний склад зразків олій визначено згідно ДСТУ ISO 5508.

Приготування дресінгу проводиться за кімнатної температури. Зразки дресінгу готувалися з різними пропорціями нерафінованих олій гарбузу та насіння рижю для отримання заданих співвідношень ω -3 : ω -6 ПНЖК. Для отримання 100,0 г готового продукту в підготовленій воді (80 мл) послідовно розчиняють лимонну кислоту (0,5 г), цукор (2,0 г), сіль (0,5 г), бензоат натрію (0,1 г), ксантанову камідь (0,3 г). Потім поступово при ретельному перемішуванні додається гірчиця діжонська (1,7 г) і суміш олій

(15,0 г), система піддається гомогенізації (1000 об./хв.) протягом 4–6 хвилин. Зразки дресінгу з різними співвідношеннями ω -3 : ω -6 ПНЖК зберігалися в темному місці при температурі 20 °С протягом 12 тижнів. Періодично здійснювався відбір проб, в яких визначали величину пероксидного числа. Період індукції зразків олійної складової зразків дресінгів визначено графічно після аналізу динаміки підвищення пероксидного числа. Періоди індукції окиснення зразків дресінгу, стабілізованих антиоксидантами, проведено прискореним методом, принцип якого базується на експозиції зразків дресінгу, через об'єм яких барботується повітря, за постійної підвищеної температури (80±1 °С).

Статистичні моделі залежностей визначено шляхом апроксимації результатів експериментів за допомогою побудови лінії тренду. Для обробки даних щодо залежності періоду індукції окиснення ліпідної складової емульсійної системи від часу та температури зберігання застосовано математичні методи з використанням програмного пакету Stat Soft Statistica v 6.0 (США).

Результати дослідження

Гарбузова олія та олія з насіння рижю мають різні профілі ПНЖК, зокрема ω -3 та ω -6 груп. Оскільки індивідуальні рослинні олії не забезпечують рекомендоване співвідношення ПНЖК, актуальним є отримання жирових систем із заданим співвідношення ω -3 і ω -6 для реалізації їх біологічної дії. Тому прийняте рішення дослідити окисну стабільність модельних зразків емульсійної системи з різним співвідношенням олій і, відповідно ПНЖК. Обрані співвідношення є раціональними з технологічної точки зору через спрощений розрахунок дозування. Зразки олійної основи дресінгу з різним співвідношенням складових наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Співвідношення ω -3 та ω -6 ПНЖК олійної основи дресінгу з різним співвідношенням складових

№ зразку	Співвідношення гарбузової олії та олії з насіння рижю	Співвідношення ω -3: ω -6 ПНЖК
1	1:0	1:518,00
2	3:1	1:5,46
3	1:1	1:2,21
4	1:3	1:1,12
5	0:1	1:0,57

Динаміку зміни пероксидного числа зразків дресінгу означеного складу (табл. 1) під час зберігання протягом 12 місяців наведено на рис. 1.

Найбільш стабільним до окиснення є зразок 1, який містить виключно гарбузову олію з високим вмістом ω -6 ПНЖК (51,8 %). Протягом 12 тижнів зберігання його пероксидне число збільшилося лише до 3,90 ммоль $\frac{1}{2}$ O/кг, що свідчить про відносно низький рівень окиснення. Найменш стабільним виявився зразок 5, який містив лише олію з насіння рижю з високим вмістом ω -3 ПНЖК (31,5 %). Пероксидне число даного зразка різко зросло до 13,90 ммоль $\frac{1}{2}$ O/кг вже через 4 тижні зберігання, що свідчить про інтенсивне окиснення. Крім того, зразки з вищим вмістом ω -3 ПНЖК (№ 2, 3, 4, 5) показали значно вищу швидкість окиснення протягом зазначеного періоду зберігання. Зокрема, зразки 3 та 4 виявилися нестабільними після 4 тижнів зберігання, коли пероксидне число збільшилося до 12,10 та 7,80 відповідно. Зразок 2, що містить гарбузову олію та

олію з насіння рижію у співвідношенні 3 : 1, показав помірну стабільність до окисного псування з пероксидним числом 13,70 через 12 тижнів зберігання.

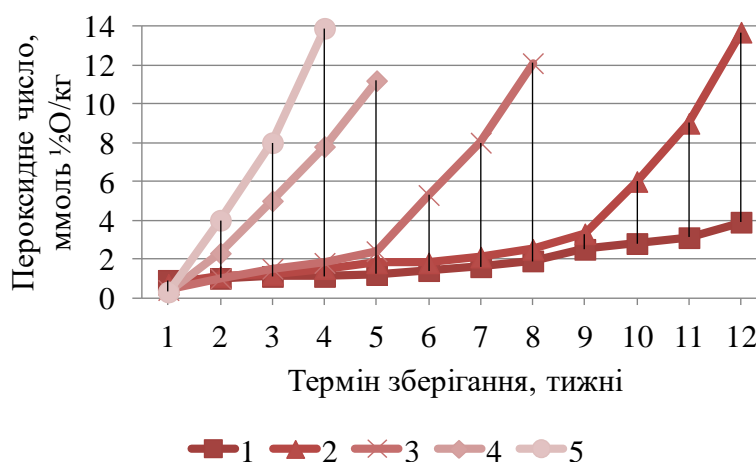


Рисунок 1 – Динаміка зміни пероксидного зразків емульсійної системи під час зберігання

Для розробки емульсійних систем (дресінгів), збагачених ω -3 ПНЖК, варто звернути увагу на використання комплексних антиоксидантів, які можуть захистити ці ПНЖК від окиснення. Зразки 3 і 2 (співвідношення ω -3 : ω -6 ПНЖК 1 : 2,21...5,46) показали помірну стабільність (період індукції окиснення 5 і 9 тижнів відповідно) і може бути доцільним їхнє використання як олійну основу дресінгу за умови додаткової стабілізації антиоксидантами.

Отримані результати демонструють, що співвідношення ПНЖК ω -3 та ω -6 в жировій складовій емульсійної системи суттєво впливає на її окисну стабільність. Олія з високим вмістом ω -6 ПНЖК виявилася більш стійкими до окиснення, менш стійкою виявилася олія з високим вмістом ω -3 ПНЖК. Купажовані олії демонстрували проміжну окисну стабільність. Співвідношення ω -3 та ω -6 в таких сумішах суттєво впливало на швидкість окиснення. Це може бути пов'язано з кількома факторами. Насамперед молекули ω -6 ПНЖК мають більш лінійну структуру, що робить їх менш схильними до утворення вільних радикалів та подальшого окиснення. Крім того, гарбузова олія містить значну кількість природних антиоксидантів (токофероли, каротиноїди) [9], які ефективно захищають ненасичені жирні кислоти від окиснення. Зниження окисної стабільності у зразках з високим вмістом ω -3 ПНЖК може бути зумовлено підвищеною схильністю цих кислот до окиснення, в той час як більш висока стабільність зразків з ω -6 ПНЖК та купажованих олій може бути пов'язана зі сприятливішою структурою молекул ω -6 ПНЖК та присутністю антиоксидантів у гарбузовій олії.

Для обґрунтування складу комплексного антиоксиданту для стабілізації від окиснення олійної основи емульсійної системи було обрано три основні компоненти: екстракт токоферолів; часникова та лаврова ефірні олії. Вибір даних складових базується на їхніх антиоксидантних властивостях, а також на потенційній здатності неадитивно впливати на гальмування окисної деструкції.

Досліджено здатність комплексного антиоксиданту гальмувати окисну деструкцію олійної основи емульсійної системи в залежності від співвідношення компонентів. Стабілізації від окисного псування підлягали модельні зразки № 2 і №3 (склад описано в табл. 1). Період індукції прискореного окиснення вказаних зразків без додавання ан-

тиоксиданту становить 6,5 і 2,2 годин відповідно. Вміст комплексного антиоксиданту, що додавався, становив 0,2 %. Апроксимаційні рівняння, що описують залежності пероксидного числа періоду індукції прискореного окиснення олійної основи зразків дресінгу № 2 і № 3 від співвідношення складових у комплексному антиоксиданті представлені за допомогою рівнянь (2) та (3) відповідно:

$$IP_2(c_t, c_g, c_l) = 13,5386 \cdot c_t + 8,6171 \cdot c_g + 9,9636 \cdot c_l + 7,3125 \cdot c_t \cdot c_g + 12,3268 \cdot c_t \cdot c_l + 11,7 \cdot c_g \cdot c_l; \quad (2)$$

$$IP_3(c_t, c_g, c_l) = 4,5823 \cdot c_t + 2,9166 \cdot c_g + 3,3723 \cdot c_l + 2,475 \cdot c_t \cdot c_g + 4,1721 \cdot c_t \cdot c_l + 3,96 \cdot c_g \cdot c_l; \quad (3)$$

де $IP_2(c_t, c_g, c_l)$ – період індукції прискореного окиснення зразка № 2, $IP_3(c_t, c_g, c_l)$ – період індукції прискореного окиснення зразка № 3, c_t – вміст екстракту токоферолів, c_g – вміст часникової ефірної олії, c_l – вміст лаврової ефірної олії.

Графічні залежності періоду індукції прискореного окиснення олійної основи дресінгу модельних зразків з різним вмістом ω -3 ПНЖК наведена на рис. 2.

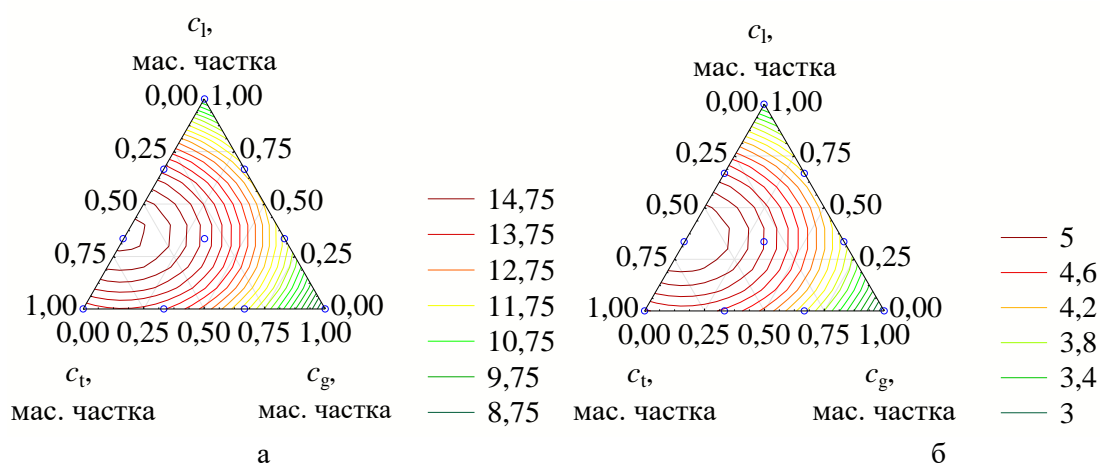


Рисунок 2 – Залежність періоду індукції прискореного окиснення модельних зразків олійної основи дресінгу від співвідношення складових комплексного антиоксиданту (c_t – вміст екстракту токоферолів; c_g – вміст часникової ефірної олії; c_l – вміст лаврової ефірної олії): а – зразок № 2; б – зразок № 3

Аналізуючи результати дослідження, можна визначити, що при використанні в якості антиоксиданта окремого екстракту токоферолів період індукції для зразка № 2 становить 13,65 год., а для зразка № 3 – 4,62 год. У разі використання як антиоксиданту лише окремих ефірних олій індукційний період суттєво зменшується: для зразка № 2 – відповідно 9,1 год. та 10,4 год. (часникова та лаврова ефірні олії), а для зразка № 3 – відповідно 3,08 год. та 3,0 год. Змішані комбінації антиоксидантів демонструють досить цікаві результати з точки зору гальмування окисного псування ліпідів. Наприклад, при співвідношенні в комплексному антиоксиданті 66 % екстракту токоферолів та 33 % часникової ефірної олії період індукції для зразка № 2 становить 13,3 год., а для зразка № 3 – 4,5 год. Аналогічно, при співвідношенні в комплексному антиоксиданті 66 % екстракту токоферолів і 33 % часникової ефірної олії період індукції для зразка № 2 збільшується до 15,0 год., а для зразка № 3 – до 5,0 год. Найбільший період індукції для

модельних зразків спостерігається в модельній системі, де до складу комплексного антиоксиданту входять всі три компоненти. Це опосередковано свідчить про неадитивний ефект від комбінування обраних складових комплексного антиоксиданта.

Доведено (рис. 2, залежності (1) і (2)), що додавання в жирову основу емульсійної системи ефірних олій у поєднанні з токоферолами забезпечує підвищення антиоксидантної активності останньої, що проявляється в значно тривалішому гальмуванню окисної деструкції ліпідів. Такий результат вказує на важливість комплексного підходу до підбору антиоксидантів для стабілізації емульсійних систем, збагачених ω -3 ПНЖК, і може бути використаний при розробці нових рецептур з компонентами, лабільними до вільнорадикального окиснення. Обґрунтовано раціональне співвідношення складових у комплексному антиоксиданті, яке становить: екстракт токоферолів: часникова ефірна олія: лаврова ефірна олія 1:1:1 відповідно. За означеного співвідношення період індукції прискореного окиснення для зразка № 2 становить 16,25 год. та зразка № 3 – 5,50 год. Отримані результати (рис. 2, залежності (1) і (2)) свідчать про перспективність використання комплексного антиоксиданту на основі екстракту токоферолів, часникової та лаврової ефірних олій для стабілізації жирових систем, у тому числі емульсійних, збагачених ω -3 ПНЖК. Даний підхід може бути використаний для розробки нових, більш стабільних харчових продуктів з високим вмістом ПНЖК. Отримані результати дослідження можуть бути пояснені синергічною дією компонентів комплексного антиоксиданту, який включає екстракт токоферолів, часникову та лаврову ефірні олії. Токофероли ефективно переривають ланцюгові реакції окислення, тоді як ефірні олії підсилюють цей ефект завдяки своїм антиоксидантним властивостям. Раціонально підібране співвідношення компонентів забезпечує максимальну стабільність емульсійної системи, що збагачена ω -3 ПНЖК, і значно подовжує період індукції окислення. Це підкреслює важливість комплексного підходу до стабілізації таких систем.

Висновки

1. Проаналізовано динаміку окиснення олійної основи емульсійної системи (дресінгу), розробленої на базі нерафінованих олій холодного пресування з різним співвідношенням ω -3 : ω -6 ПНЖК. Отримані результати дозволили визначити оптимальні співвідношення ω -3: ω -6 ПНЖК, які забезпечують максимальну окисну стабільність дресінгу без втрати його харчової цінності.

2. Обґрунтовано склад комплексного антиоксиданту для стабілізації дресінгу, збагаченого ω -3 ПНЖК. Для ефективного гальмування процесів окисного псування модельних зразків емульсійної системи з ω -3 ПНЖК, доцільно використовувати суміш екстракту токоферолів, часникову та лаврову ефірні олії у співвідношенні 1:1:1 відповідно. Розроблений комплексний антиоксидант продемонстрував підвищення стабільності до окиснення системи, що виражається у подовженні періоду індукції прискореного окиснення. Конкретно для зразків дресінгу з співвідношенням ω -3: ω -6 ПНЖК 1:5,46 та 1:2,21 період індукції окиснення зріс від 6,5 і 2,2 годин до 16,25 та 5,50 годин відповідно.

Література

1. Serra J., Mura J., Fagoaga C., Castellano G. Oxidative stability of margarine is improved by adding natural antioxidants from herbs and spices. Preprints. 2023. Art. 2023051445.

2. Wu Z., Tan B., Liu Y., Dunn J. et al. Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from peppermint, native spearmint and Scotch spearmint. *Molecules*. 2019. Vol. 24, No. 15. Art. 2825.
3. Kunitsia E., Popov M., Gontar T., Stankevych S. Determination of the influence of hemp oil-based emulsion systems composition on the oxidation products content during storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 3, No. 6. P. 6–13.
4. Belinska A., Bliznjuk O., Shcherbak O., Masalitina N. Improvement of fatty systems biotechnological interesterification with immobilized enzyme preparation usage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6, No. 6. P. 6–13.
5. Osaili T. M., Hasan F., Al-Nabulsi A. A., Olaimat A. N. A worldwide review of illness outbreaks involving mixed salads and dressings and factors influencing product safety and shelf life. *Food Microbiology*. 2023. Vol. 112. Art. 104238.
6. Demydova A., Aksonova O., Yevlash V., Tkachenko O. Antioxidant activity of plant extracts of Ukrainian origin and their effect on the oxidative stability of sunflower oil. *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 16, No. 3. P. 55–64.
7. Kalyna V., Stankevych S., Zabrodina I., Shubina L. Development of the composition of an oxidation-stable dressing with high nutritional value. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, No. 11. P. 29–37.
8. Lakshmayya N. S. V., Mishra A. K., Mohanta Y. K. Essential oils-based nano-emulsion system for food safety and preservation: current status and future prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023. Vol. 53. Art. 102897.
9. Kunitsia E., Kalyna V., Haliasnyi I., Siedykh K. Development of a flavored oil composition based on hemp oil with increased resistance to oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, No. 11. P. 26–33.
10. Mooliani H., Nouri M. Optimization of oxidative, physical stability and microbial characteristics of salad dressing emulsions based on avocado and whey protein combined with mint (*Mentha spicata* L.) extract. *Food Measure*. 2021. Vol. 15. P. 5713–5724.
11. Petik P., Stankevych S., Zabrodina I., Zhulinska O. Determination of fat-soluble dyes influence on the oxidation induction period of their oil solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 3, No. 6. P. 13–21.
12. Felix-Sagaste K. G., Garcia-Carrasco M., Picos-Corrales L. A. Plant-animal extracts and biocompatible polymers forming oil-in-water emulsions: formulations for food and pharmaceutical industries. *Hybrid Advances*. 2023. Vol. 3. Art. 100072.
13. Joshi T., Kapoor S., Rana S. Valorization of guava seed oil as a functional ingredient in salad dressing: implications on quality characteristics, rheological behaviour, morphology, oxidative stability and shelf life. *Food Measure*. 2024. Article in press.
14. Belinska A., Bliznjuk O., Masalitina N., Bielykh I. Development of biotechnologically transesterified three-component fat systems stable to oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, No. 6. P. 21–28.
15. Mikołajczak N., Tańska M., Ogrodowska D. Phenolic compounds in plant oils: a review of composition, analytical methods, and effect on oxidative stability. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 113. P. 110–138.

Bibliography (transliterated)

1. Serra J., Mura J., Fagoaga C., Castellano G. Oxidative stability of margarine is improved by adding natural antioxidants from herbs and spices. Preprints. 2023. Art. 2023051445.
2. Wu Z., Tan B., Liu Y., Dunn J. et al. Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from peppermint, native spearmint and Scotch spearmint. *Molecules*. 2019. Vol. 24, No. 15. Art. 2825.
3. Kunitsia E., Popov M., Gontar T., Stankevych S. Determination of the influence of hemp oil-based emulsion systems composition on the oxidation products content during storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 3, No. 6. P. 6–13.
4. Belinska A., Bliznjuk O., Shcherbak O., Masalitina N. Improvement of fatty systems biotechnological interesterification with immobilized enzyme preparation usage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6, No. 6. P. 6–13.
5. Osaili T. M., Hasan F., Al-Nabulsi A. A., Olaimat A. N. A worldwide review of illness outbreaks involving mixed salads and dressings and factors influencing product safety and shelf life. *Food Microbiology*. 2023. Vol. 112. Art. 104238.
6. Demydova A., Aksonova O., Yevlash V., Tkachenko O. Antioxidant activity of plant extracts of Ukrainian origin and their effect on the oxidative stability of sunflower oil. *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 16, No. 3. P. 55–64.
7. Kalyna V., Stankevych S., Zabrodina I., Shubina L. Development of the composition of an oxidation-stable dressing with high nutritional value. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1, No. 11. P. 29–37.
8. Lakshmayya N. S. V., Mishra A. K., Mohanta Y. K. Essential oils-based nano-emulsion system for food safety and preservation: current status and future prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023. Vol. 53. Art. 102897.
9. Kunitsia E., Kalyna V., Haliasnyi I., Siedykh K. Development of a flavored oil composition based on hemp oil with increased resistance to oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, No. 11. P. 26–33.
10. Mooliani H., Nouri M. Optimization of oxidative, physical stability and microbial characteristics of salad dressing emulsions based on avocado and whey protein combined with mint (*Mentha spicata* L.) extract. *Food Measure*. 2021. Vol. 15. P. 5713–5724.
11. Petik P., Stankevych S., Zabrodina I., Zhulinska O. Determination of fat-soluble dyes influence on the oxidation induction period of their oil solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 3, No. 6. P. 13–21.
12. Felix-Sagaste K. G., Garcia-Carrasco M., Picos-Corrales L. A. Plant-animal extracts and biocompatible polymers forming oil-in-water emulsions: formulations for food and pharmaceutical industries. *Hybrid Advances*. 2023. Vol. 3. Art. 100072.
13. Joshi T., Kapoor S., Rana S. Valorization of guava seed oil as a functional ingredient in salad dressing: implications on quality characteristics, rheological behaviour, morphology, oxidative stability and shelf life. *Food Measure*. 2024. Article in press.
14. Belinska A., Bliznjuk O., Masalitina N., Bielykh I. Development of biotechnologically transesterified three-component fat systems stable to oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, No. 6. P. 21–28.
15. Mikołajczak N., Tańska M., Ogrodowska D. Phenolic compounds in plant oils: a

review of composition, analytical methods, and effect on oxidative stability. Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 113. P. 110–138.

УДК 664.3:664.34:664.5.037.5

Я. О. Свіщова, канд. хім. наук, доцент, І. В. Галясний, канд. техн. наук,
А. М. Діхтярь, канд. техн. наук, доцент,
Мюшфік Панах огли Бакіров, канд. техн. наук, В. Є. Новікова, канд. пед. наук, доцент,
М. С. Пономарьова, канд. екон. наук, доцент, О. С. Аштаєв, викладач

ОПТИМІЗАЦІЯ ОКИСНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ЕМУЛЬСІЙНИХ ЖИРОВИХ СИСТЕМ З ВИСОКИМ ВМІСТОМ Ω -3 ПНЖК ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто перспективний шлях розробки комплексного природного антиоксиданту для підвищення окисної стабільності емульсійних жирових систем, збагачених ω -3 поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК) для продуктів функціонального харчування. Метою роботи була оптимізація складу та дослідження ефективності антиоксидантного комплексу на основі екстракту токоферолів, часникової та лаврової ефірних олій у співвідношенні 1:1:1 для стабілізації модельної емульсійної системи (дресінгу) на основі купажу гарбузової та рижикової олій.

Об'єктами дослідження були показники якості та стійкості емульсійної системи: співвідношення ω -3/ ω -6 ПНЖК, кислотне число (титруєма кислотність), пероксидне число (вміст первинних продуктів окиснення) та період індукції прискореного окиснення ліпідної фази. Досліджено дві рецептури з різним жирнокислотним складом: співвідношення ω -3: ω -6 ПНЖК становило 1:5,46 та 1:2,21. Встановлено, що протягом 30 діб зберігання в умовах, що моделюють реальні, у зразках, стабілізованих запропонованим комплексом, відбувається уповільнене накопичення продуктів окиснення та гідролізу. Кислотне число зросло мінімально – з 0,73 % до 0,75 %. Пероксидне число для зразка №2 збільшилось з 0,7 до 1,9 ммоль $\frac{1}{2}$ O₂/кг, а для зразка №3 – з 0,4 до 1,2 ммоль $\frac{1}{2}$ O₂/кг. Особливістю результатів є демонстрація синергетичної дії компонентів комплексу, що забезпечує значне уповільнення окисних процесів у лабільній жировій системі.

Практична значимість роботи полягає у розробці ефективного рішення для стабілізації функціональних харчових продуктів з високим вмістом ω -3 ПНЖК, що сприяє збереженню їх поживної цінності та подовженню терміну придатності. Запропонований антиоксидантний комплекс має також антимікробний потенціал завдяки ефірним оліям і може надавати продукту унікальні органолептичні нотки. Результати дослідження створюють основу для моделювання нових рецептур емульсійних та окремих жирових систем підвищеної біологічної цінності.

Ключові слова: комплексний антиоксидант, емульсійна система, поліненасичені жирні кислоти, стабільність до окиснення, термін зберігання.

Ya. O. Svishchova, I. V. Haliasnyi, A. M. Dikhtyar, Mushfik Panakh ogly Bakirov,
V. Ye. Novikova, M. S. Ponomarova, O. S. Ashtaiev

OXIDATIVE STABILITY OPTIMIZATION OF EMULSION FAT SYSTEMS WITH HIGH Ω -3 PUFA CONTENT FOR FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS

A promising path for the development of a complex natural antioxidant to increase the oxidative stability of emulsion fat systems enriched with ω -3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) for functional food products was considered. The aim of the work was to optimize the composition and study the effectiveness of an antioxidant complex based on tocopherol extract, garlic and laurel essential oils in a ratio of 1:1:1 for the stabilization of a model emulsion system (dressing) based on a blend of pumpkin and safflower oils.

The objects of the study were the quality and stability indicators of the emulsion system: the ratio of ω -3/ ω -6 PUFA, acid number (titratable acidity), peroxide number (content of primary oxidation products) and the induction period of accelerated oxidation of the lipid phase. Two formulations with different fatty acid composition were studied: the ratio of ω -3: ω -6 PUFA was 1:5.46 and 1:2.21. It was found that during 30 days of storage under conditions simulating real conditions, in samples stabilized by the proposed complex, a slow accumulation of oxidation and hydrolysis products occurs. The acid number increased minimally - from 0.73% to 0.75%. The peroxide number for sample No. 2 increased from 0.7 to 1.9 mmol $\frac{1}{2}$ O₂/kg, and for sample No. 3 - from 0.4 to 1.2 mmol $\frac{1}{2}$ O₂/kg. A feature of the results is the demonstration of the synergistic action of the components of the complex, which provides a significant slowdown in oxidative processes in the labile fat system.

The practical significance of the work lies in the development of an effective solution for the stabilization of functional food products with a high content of ω -3 PUFA, which contributes to the preservation of their nutritional value and extension of the shelf life. The proposed antioxidant complex also has antimicrobial potential due to essential oils and can give the product unique organoleptic notes. The results of the study create the basis for modeling new formulations of emulsion and individual fat systems of increased biological value.

Keywords: complex antioxidant, emulsion system, polyunsaturated fatty acids, oxidation stability, shelf life.

Отримано редколегією 09.12.2025

Свіщова Яна Олександрівна (Yana Svishchova), канд. хім. наук, доцент, зав. каф. Державного біотехнологічного університету, Харків, <https://orcid.org/0000-0002-5358-8624>;

Галясний Іван Володимирович (Haliasnyi Ivan), канд. техн. наук, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, <https://orcid.org/0000-0002-4195-9694>;

Діхтярь Альона Миколаївна (Alyona Dikhtyar), канд. техн. наук, доцент, Державний біотехнологічний університет, Харків, <https://orcid.org/0000-0002-5430-147X>;

Бакіров Мюшфік Панах огли (Mushfik Panakh ogly Bakirov), канд. техн. наук, Державний біотехнологічний університет, Харків, <https://orcid.org/0000-0001-9723-9808>;

Новікова Вікторія Євгеніївна (Viktoriia Novikova), канд. пед. наук, доцент, Державний біотехнологічний університет, Харків, <https://orcid.org/0000-0003-0403-3590>;

Пономарьова Марина Сергіївна (Maryna Ponomarova), канд. екон. наук, доцент, Державний біотехнологічний університет, Харків, <https://orcid.org/0000-0001-8463-821X>;

Аштаєв Олександр Сергійович (Oleksandr Ashtaiev), викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічний університету», Харків, <https://orcid.org/0009-0009-4536-6608>.