

INTENSIFICATION OF SUNFLOWER OIL ENZYMATIC DEGUMMING BY ULTRASOUND TREATMENT**T. Nosenko, D. Zhupanova***National University of Food Technologies***Key words:***Ultrasonic treatment
Enzymatic degumming,
phospholipids
Sunflower oil***Article history:**

Received 04.10.2023

Received in revised form
18.10.2023

Accepted 01.11.2023

Corresponding author:

T. Nosenko

E-mail:

tamara_nosenko@ukr.net

ABSTRACT

Enzymatic degumming of vegetable oils is increasingly used to remove phospholipids from vegetable oils. One of the problems of its use is long-term treatment with phospholipase. Ultrasound treatment is the method of mass exchange, physicochemical and biochemical processes intensification.

The objective of this work was to study the ultrasound effect on the efficiency of enzymatic degumming and the physicochemical parameters of sunflower oil.

Enzymatic preparations of Novozyme (Denmark) Lecitase® Ultra and new preparations with phospholipase activity, in particular, Quara® Boost (phosphoinositol phospholipase C and phospholipase C) and Quara Low P (phospholipase A1) were used for enzymatic degumming of sunflower oil. Ultrasound treatment was carried out in an ultrasound device MEDITON (Ukraine) with a frequency of 22 kHz for 5, 8, and 11 minutes. The content of phosphorus-containing compounds in the oil, acid number, and peroxide number were determined by standard methods. The antioxidant activity of the oil was determined by the quenching rate of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals.

It was established that under the influence of ultrasound, the yield of oil after enzymatic degumming increased from 0.2 to 0.7% compared to control samples (without ultrasound). At the same time, the duration of degumming was reduced from 60 minutes (in the control) to 8–11 min under using ultrasonic treatment. The phospholipids content in the oil was halved compared to the control due to ultrasound treatment and was 0.03–0.04%. A slight increase in the acid value and a higher content of peroxides in the degummed oil using ultrasonic treatment was established. The antioxidant capacity of such oil samples also decreased. Under the effect of the Quara Low P, the oil oxidative stability was the highest.

Thus, the use of ultrasound treatment for enzymatic degumming of sunflower oil significantly accelerates this process. The maximum yield of degummed oil was obtained using the Quara Boost and 11-minute ultrasound treatment. The residual content of phospholipids in degummed oil samples did not differ significantly.

Citation: Т. Т. Носенко, Д. О. Жупанова (2023). Інтенсифікація ферментативного дегумінгу соняшникової олії ультразвуковою обробкою. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 133–142.
DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-13

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ДЕГУМІНГУ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЮ ОБРОБКОЮ

Т. Т. Носенко, Д. О. Жупанова

Національний університет харчових технологій

Ензимне дегумування рослинних олій усе більш широко використовується для вилучення фосфоліпідів з рослинних олій. Одна з проблем його застосування — тривала обробка фосфоліпазними препаратами. Одним із методів інтенсифікації масообмінних, фізико-хімічних і біохімічних процесів є ультразвукова обробка.

У статті досліджено вплив ультразвуку на ефективність ензимного дегумування соняшникової олії та її впливу на фізико-хімічні показники олії. Для ензимного дегумування соняшникової олії були використані ферментні препарати компанії Novozyme (Данія) Lecitase® Ultra та нові препарати із фосфоліпазною активністю, зокрема Quara® Boost (фосфоінозитол фосфоліпаза С та фосфоліпаза С) та Quara Low P (фосфоліпаза А1). Ультразвукову обробку здійснювали в ультразвуковому апараті МЕДІТОН (Україна) із частотою 22 кГц протягом 5, 8 та 11 хвилин. Вміст фосфоровмісних сполук в олії, кислотне число та пероксидне число визначали стандартними методами. Антиоксидантну активність олії визначали за швидкістю гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH).

Встановлено, що під дією ультразвуку вихід олії після ензимного дегумінгу підвищувався від 0,2 до 0,7% порівняно з контрольними зразками (без використання ультразвуку). При цьому тривалість дегумування скоротилась від 60 хв (у контролі) до 8—11 хв при використанні ультразвукової обробки. Вміст фосфоліпідів в олії зменшувався вдвічі порівняно з контролем унаслідок ультразвукової обробки і становив 0,03—0,04%. Встановлено незначне підвищення значення кислотного числа та більш високий вміст пероксидів у дегумованій олії з використанням ультразвукової обробки. Антиоксидантна здатність таких зразків олії також зменшувалась. За використання препарату Quara Low P окисна стабільність олії була найвищою.

Отже, використання ультразвукової обробки для ферментативного дегумінгу соняшникової олії суттєво прискорює процес. Максимальний вихід гідратованої олії було одержано за використання препарату Quara Boost та 11 хв дії ультразвуку. Залишковий вміст фосфоліпідів у зразках гідратованої олії суттєво не відрізнявся. Перспективним способом удосконалення ензимного дегумінгу є використання нових ферментних препаратів Quara Boost та Quara Low P та одночасної ультразвукової обробки.

Ключові слова: ультразвукова обробка, ензимний дегумінг, фосфоліпіди, соняшникова олія.

Постановка проблеми У технологіях рафінування рослинних олій використовується низка фізико-хімічних процесів. Зокрема, дегумування рослинних олій,

метою якого є вилучення з олії так званих «клеючих» речовин, передусім фосфоліпідів та інших полярних сполук. Традиційно для дегумування рослинних олій використовують обробку водою (водна гідратація фосфоліпідів) та розчинами кислоти. В останньому випадку з олії вилучаються групи фосфоліпідів, які не піддаються гідратації водою.

Крім хімічного дегумування рослинних олій, була розроблена технологія ферментативного дегумування. Ферментативне дегумування рослинних олій вперше було запропоновано компанією Lurgi (Aalrust та ін., 1992). Цей метод дає змогу перетворювати негідратовані фосфоліпіди в гідратовані, збільшуючи вихід олії та зменшуючи застосування реагентів, утворення відходів, споживання енергії та загальні витрати порівняно з традиційним дегумуванням (Loren, Dayton, & Galhardo, 2014), а також забезпечує низький вміст фосфоліпідів в обробленій олії.

Для ферментативного дегумування використовують такі ферменти, як фосфоліпаза А (PLA), фосфоліпаза С (PLC) і суміші фосфоліпази С і А (PLC/PLA) (Dijkstra, 2010). Фосфоліпази типу А гідролізують фосфоліпіди з утворенням лізофосфоліпідів і вільних жирних кислот (Heinze et al., 2013). Фосфоліпаза А1 (PLA1) і фосфоліпаза А2 (PLA2) видаляють жирну кислоту з позицій 1 і 2 відповідно щодо гліцерину (Guiotto et al., 2015). Фосфоліпази типу С гідролізують фосфоліпіди в діацилгліцерин і фосфорні ефіри (Semproul et al., 2021).

На практиці широко використовують ферментний препарат Lecitase® Ultra із активністю фосфоліпази А1 — це мікробна ліпаза (E.C.3.1.1.3) з *Thermomyces lanuginosus*/*Fusarium oxysporum*. Останнім часом на ринку ензимних препаратів з'явилися нові препарати з фосфоліпазною активністю, зокрема Novozyme Quara® Boost (фосфоїнозитол фосфоліпаза С та фосфоліпаза С) та Novozyme Quara Low P (фосфоліпаза А1).

Встановлено, що дегумування ріпакової олії ферментним препаратом Lecitase® Ultra протягом 5 год при 50 °C суттєво зменшувало вміст фосфору, залишковий вміст становив менше 10 мг/кг (Yang, Wang, & Yang, 2006). Подібні результати були отримані також у (Sampaio та ін., 2015) під час ферментативної дегумування тієї самої олії за допомогою Lecitase Ultra®. Вміст фосфору в дегумованій олії становив менше 10 мг/кг при дозуванні ферменту 30 мг/кг і тривалості обробки 10—120 хв. Висока ефективність дегумування може бути досягнута вже після відносно короткої тривалості реакції.

Проте для деградації всіх фосфоліпідів і збільшення виходу олії необхідна тривалість 1—2 години. Одним із методів скорочення тривалості ензимної обробки олії під час дегумування може бути використання ультразвуку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Використання ультразвуку останнім часом набуває широкого використання у різних галузях промисловості та вважається безпечним і м'яким методом обробки (Fashandi, Ghavami, Gharachorloo, & Abbasi, 2016). Коли ультразвук поширюється через будь-яке середовище, він викликає серію стиснень і розріджень. Такі тиски чергуються і викликають утворення бульбашок у рідкому середовищі. Цей процес утворення, розширення і колапс мікробульбашок у рідинах під дією ультразвуку відомий як «акустична кавітація». Кавітація має величезну потужність і використовується для інтенсифікації фізико-хімічної обробки, її часто використовують через простоту процесу та генерацію кавітаційних умов, необхідної інтенсивності, що придатні для різних

фізичних і хімічних перетворень (Issaoui, & Delgado, 2019; Wang, Cheng, Wang, Zhang, & Wang, 2021). Ультразвук застосовують для розробки м'яких і спеціалізованих процесів, для інтенсифікації обробки та гомогенізації, забезпечення безпечної обробки харчових продуктів. Така технологія може бути використана як для удосконалення існуючих процесів, так і для розробки нових (Chemat, 2016; Tingting Guo, 2021; Lamas, 2016).

Використання ультразвукової обробки останнім часом впроваджують у різних процесах харчової галузі (Bernardi та ін., 2021). Зокрема, і для дегумування таких рослинних олій, як соєва (More, Gogate, 2018), соняшникова (Mahmood, Ghavami, Gharachorloo, & Abbasi, 2016), ріпакова (Jiang, 2014), олії, збагаченої арахідоною кислотою (Guo, Wan, Huang, Wei, & Xiang, 2021).

Проте всі дослідження були проведені з різними ензимними препаратами, а тривалість дегумування все ще залишалась високою — 60—120 хвилин, тому дослідження оптимізації процесу ультразвукового дегумування олії є актуальним.

Мета дослідження полягала в інтенсифікації ензимного дегумування соняшникової олії ультразвуковою обробкою та дослідженні її впливу на фізико-хімічні показники олії.

Матеріали і методи. Використано нерафіновану соняшкову олію місцевого виробництва. Ферментні препарати Lecitase® Ultra, Quara® Low P та Quara® Boost були одержані від компанії Novozymes (Данія). Препарат Lecitase® Ultra є генетично модифікованою фосфоліпазою з використанням мікроорганізмів *Thermomyces lanuginose* та *Fusarium oxysporum* (Virgen-Ortíz та ін., 2019). Термостабільний і кислотостійкий препарат Quara® Low P (Novozymes) з активністю фосфоліпази A1, вилученої з *Talaromyces leycettanus*, має часткову активність також щодо естерного зв'язку у положенні sn-2. Препарат Quara® Boost має активність фосфоїнозитол фосфоліпази C та фосфоліпази C і отриманий ферментацією генетично модифікованого мікроорганізму *Bacillus licheniformis*.

Проведення дегумування нерафінованої соняшникової олії. 100 г соняшникової олії у конічній колбі об'ємом 250 см³ нагрівали приблизно до 60 °C з подальшим додаванням 5% 0,5-відсоткового розчину ферменту. Суміш ретельно перемішували протягом 1 хв і витримували за температури 60 °C протягом 1 год при повільному перемішуванні. При використанні ультразвукової обробки зразки олії обробляли в ультразвуковому апараті МЕДІТОН (Україна) з частотою 22 кГц протягом 5, 8 та 11 хвилин. Після дегумування ферменти інактивували за температури 80 °C протягом 10 хвилин. Після цього реакційну суміш витримували 30 хв при кімнатній температурі. 10 см³ реакційної суміші поміщали в градуйовану центрифужну пробірку і фосфоліпідний осад відокремлювали від олії центрифугуванням при 2000 об/хв протягом 10 хвилин.

Вихід олії визначали після закінчення обробки олії, гідратовану олію відстоювали протягом 30 хв за температури гідратації і відділяли від осаду фосфатидної емульсії центрифугуванням протягом 10 хв зі швидкістю 1500—2000 об/хв. Вихід олії (в об'ємних %) розраховували за формулою:

$$B = \frac{(a - b)}{a} \cdot 100\% \quad (1)$$

де a — об'єм дослідної проби см³; b — об'єм осаду після дегумінгу, см³.

Визначення фізико-хімічних показників соняшникової олії. Вміст вільних жирних кислот визначали відповідно до ДСТУ 4350:2004 Олії. Методи визначання кислотного числа. Вміст пероксидних сполук визначали відповідно до ДСТУ ISO 3960:2019 Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення пероксидного числа.

Визначення вмісту фосфоровмісних сполук. Для оцінки ступеня гідратації визначали вміст фосфоліпідів в олії до дегумування і після нього. Вміст фосфоровмісних сполук визначали після озолення зразків олії фотометричним методом за вмістом неорганічного фосфору. Для цього до наважки олії масою 0,7 г у фарфоровому тиглі додавали 0,75 г оксиду магнію. Суміш нагрівали протягом 10 хв у сушильній шафі за температури 110 °С та обвуглювали на електричній плитці. Залишок озолювали у муфельній печі за температури 800 °С. До охолодженої золи додавали 10—12 см³ дистильованої води та 20 см³ розчину сірчаної кислоти концентрацією 2 моль·екв/дм³ і нагрівали до повного розчинення оксиду магнію, розчини переносили у мірні колби об'ємом 100 см³. До розчинів додавали 20 см³ молібденового реагенту і нагрівали протягом 30 хв на киплячій водяній бані. Після охолодження до кімнатної температури об'єм колб доводили дистильованою водою до мітки. Одночасно готували контрольну пробу. Для цього таку ж наважку оксиду магнію розчиняли в 20 см³ розчину сірчаної кислоти концентрацією 2 моль·екв/дм³, розчин переносили в мірну колбу ємністю 100 см³ та проводили аналогічну реакцію із молібденовим реагентом.

Вимірювали оптичну густину аналізованих розчинів відносно контрольного розчину на фотоколориметрі КФК-3. Масову частку фосфору (мкг/см³) в досліджуваних розчинах визначали за градувальним графіком, побудованим і виконанням стандартних розчинів КН₂РO₄ концентрацією від 0,05 до 5,0 мкг/см³.

Вміст фосфору (у %) у зразку розраховували за формулою:

$$P = 0,01 \frac{d}{m}, \quad (2)$$

де d — масова частка фосфору в розчині, визначена за градувальним графіком, мкг/см³; m — маса зразка, г.

Масову частку фосфоровмісних речовин ФОЛ (%) в перерахунку на стеароолеолецитин розраховували за формулою:

$$ФОЛ = 25,44 \cdot P, \quad (3)$$

де 25,44 — коефіцієнт перерахунку масової частки фосфору на стеароолеолецитин.

Визначення антиоксидантної активності олії методом гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH). Визначення антиоксидантної активності олії проводили за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH) (Носенко, Музика, Циганкова, Левчук, & Маринченко, 2019). Для реакції використовували розчин 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу концентрацією 3 мг/100 мл в етилацетаті, який мав значення оптичної густини на довжині хвилі 520 нм в межах 0,7—0,9.

Для приготування реакційної суміші до 100 мг олії додавали розчин DPPH в етилацетаті, ретельно перемішували та визначали початкове значення оптичної густини реакційної суміші на довжині хвилі 520 нм (D_0). Реакційну суміш витримували без доступу світла протягом 30 хв та визначали оптичну густину на 520 нм

(D₁). Антиоксидантну активність (A) розраховували за зміною оптичної густини протягом 30 хв:

$$A = \left[1 - \frac{D_1}{D_0} \right] \cdot 100. \quad (4)$$

Статистична обробка результатів. Всі дослідження проводили у трьох повторностях, результати виражали як середнє арифметичне ± стандартне відхилення, валідність результатів розраховували при рівні достовірності α=0.95.

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження впливу ультразвукової обробки на процес ензимного дегумінгу соняшникової олії в присутності трьох досліджуваних ферментних препаратів підтвердили, що майже в усіх випадках вихід гідратованої олії суттєво підвищується після перших 5 хв ультразвукової обробки (рис. 1). Лише в присутності ферментного препарату Lecitase Ultra відбувалось суттєве збільшення виходу гідратованої олії при збільшенні тривалості ультразвукової обробки від 5 до 11 хвилин.

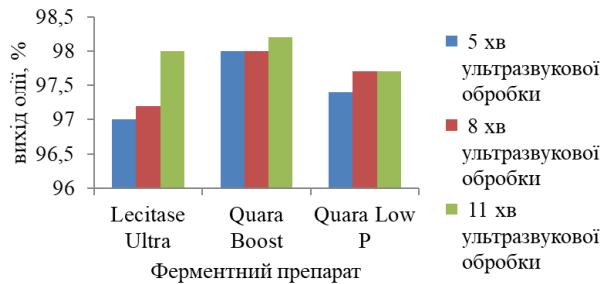


Рис. 1. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на вихід соняшникової гідратованої олії

У попередніх наших дослідженнях було встановлено, що вихід гідратованої олії при використанні водного дегумінгу становив 96,5%. Під дією ферментних препаратів вихід дегумованої олії підвищувався до 97% (в присутності Quara Low P), 97,5% (в присутності Lecitase Ultra) і 98% (в присутності Quara Boost). Одержані дані щодо використання ультразвуку свідчать, що під дією такої обробки вихід олії після ензимного дегумінгу підвищувався від 0,2 до 0,7% порівняно з контрольними зразками (без використання ультразвуку). При цьому тривалість дегумування скоротилась від 60 хв (у контролі) до 8—11 хв при використанні ультразвукової обробки, тобто приблизно у 6 разів. Одержані дані суттєво відрізняються від тривалості ультразвукової обробки для дегумування олії у праці (Guo, Wan, Huang, Wei, & Xiang, 2021), яка становила 120 хвилин.

Важливим показником ефективності дегумування рослинних олій є залишковий вміст фосфоровмісних сполук в олії після дегумування. Одержані дані свідчать, що вміст фосфоліпідів в олії після ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу коливався від 0,03 до 0,04%, що суттєво нижче значень, які досягались після ферментативної обробки олії без використання ультразвуку (0,07—0,08%) (рис. 2). При цьому найбільш високий ступінь вилучення фосфоровмісних сполук

спостерігався при використанні ферментного препарату Quara Boost та ультразвукової обробки протягом 11 хвилин.

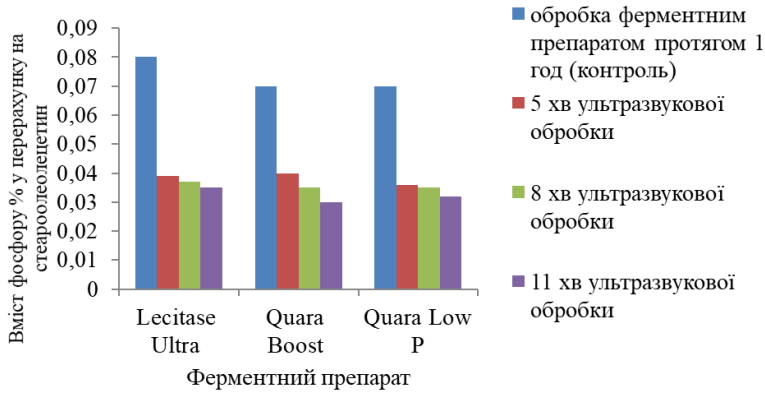


Рис. 2. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на залишковий вміст фосфатидів у соняшниковій гідратованій олії

Значення кислотного числа в зразках олії після ферментативної гідратації з використанням ультразвуку коливалось в межах від 4 до 6 мг КОН/г, вихідна олія мала значення цього показника 5,6 мг КОН/г (рис. 3). Одержані дані засвідчили незначне підвищення значення кислотного числа дегумованої олії з використанням ультразвукової обробки. Найбільш суттєве зростання вмісту вільних жирних кислот в олії відбувалось у присутності ферментних препаратів Lecitase Ultra та Quara Low, які мають активність фосфоліпази A1. Зростання цього показника під дією ультразвукової обробки в присутності фосфоліпаз A1 порівняно з контрольними зразками олії, необробленими ультразвуком, очевидно пояснюється інтенсифікацією реакції гідролізу естерних зв'язків фосфоліпідів в умовах такої обробки.

Вміст пероксидних сполук в олії після ферментативного дегумінгу з ультразвуковою обробкою зростає порівняно зі зразками олії після ферментативного дегумінгу (контрольні зразки) (рис. 4). Дегумування олії препаратом Lecitase Ultra супроводжувалося зменшенням значення пероксидного числа від 4,2 у вихідній олії до 2,7 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg. Обробка ультразвуком олії з цим ферментним препаратом суттєво збільшувала значення пероксидного числа гідратованої олії — до 5,5—5,6 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg. Використання для дегумінгу препарату Quara Boost з одночасною обробкою ультразвуком призводило до зростання пероксидного числа до 3,9—4,5 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg, без ультразвуку пероксидне число гідратованої олії становило 2,5 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg. Інтенсифікація ультразвуком процесу дегумування олії препаратом Quara Low P спричиняла найменш суттєве зростання вмісту пероксидів в олії порівняно з контролем. Варто зазначити, що в усіх зразках гідратованої олії значення пероксидного числа відповідало вимогам до гідратованої олії відповідно до ДСТУ 4492:2017 «Олія соняшникова».

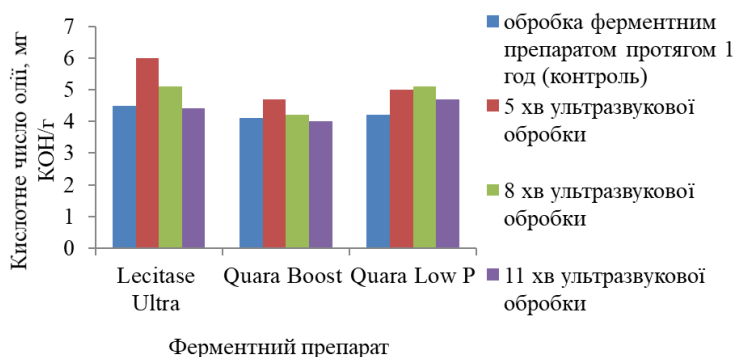


Рис. 3. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на вміст вільних жирних кислот у соняшниковій гідратованій олії

Зростання вмісту первинних продуктів окиснення у гідратованій соняшниковій олії з використанням ультразвуку може пояснюватись передусім підвищенням температури олії під дією ультразвуку, а також прискоренням швидкості хімічних реакцій, зокрема і пероксидного окиснення олії під дією ультразвуку.

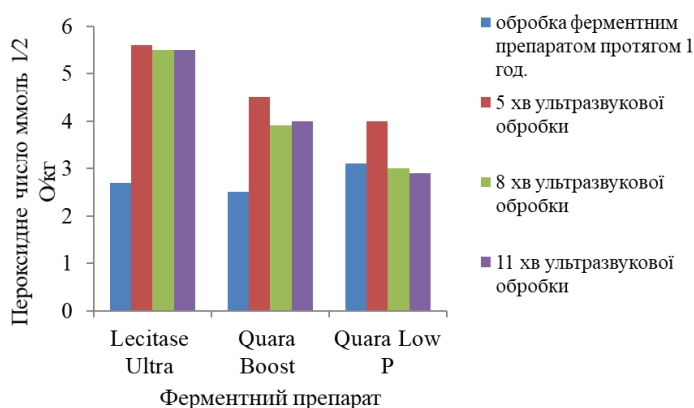


Рис. 4. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на вміст пероксидів у соняшниковій гідратованій олії

Як відомо, швидкість пероксидного окиснення олій залежить від низки чинників, передусім від природи жирних кислот, що входять до їх складу, а також від концентрації антиоксидантів в олії (Demidova, Nosenko, Bahmach, Shemanska, & Molchenko, 2021).

Дослідження антиоксидантної активності зразків олії після ферментативної гідратації з використанням ультразвуку показали, що вона була нижчою, ніж у зразках олії, оброблених еквівалентною кількістю ферменту без ультразвукової обробки, та вихідною олією (рис. 5). Швидкість гасіння вільних радикалів DPPH була вищою у зразках гідратованої олії з ферментними препаратами Quara Boost та Quara Low P з обробкою ультразвуком. Під дією ферментного препарату Lecitase Ultra та ультразвуку антиоксидантна активність олії значно зменшилась.

При цьому антиоксидантна активність в зразках олії після дегумування з різними ферментними препаратами протягом 1 год суттєво не відрізнялась. Спостерігалась кореляція між значенням пероксидного числа олії та антиоксидантною активністю — у більшості зразків олії з нижчими значеннями пероксидного числа антиоксидантна активність у реакції із DPPH була вищою. Причиною зниження активності антиоксидантів після ультразвукової обробки може бути їх часткова інактивація внаслідок нагрівання ультразвуком.

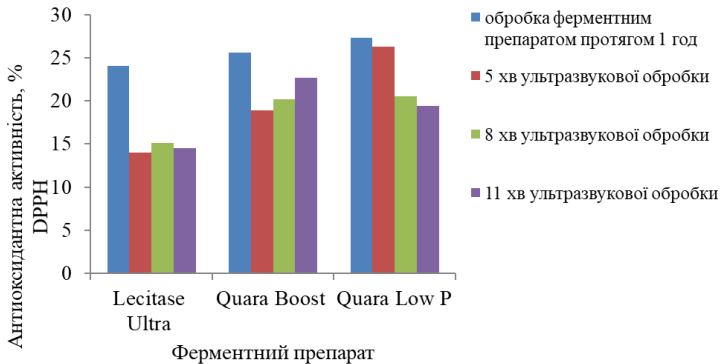


Рис. 5. Вплив ультразвукової обробки під час ензимного дегумінгу на антиоксидантну активність соняшникової гідратованої олії

Висновки

Одержані результати свідчать, що використання ультразвукової обробки для ферментативного дегумінгу соняшникової олії суттєво прискорює процес. Це підтверджено дещо вищим виходом гідратованої олії після 5—11 хв обробки та приблизно вдвічі нижчим залишковим вмістом фосфоліпідів у ній. Максимальний вихід гідратованої олії було одержано за використання препарату Quara Boost та 11 хв дії ультразвуку. Залишковий вміст фосфоліпідів у зразках гідратованої олії суттєво не відрізнявся. За використання препарату Quara Boost та Quara Low P вміст вільних жирних кислот і пероксидних сполук у гідратованій олії були нижчими, а її антиоксидантна активність — вищою.

Отже, перспективним є використання нових ферментних препаратів Quara Boost та Quara Low P та одночасної ультразвукової обробки для інтенсифікації дегумування соняшникової олії.

Подяка

Дослідження виконано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України українсько-австрійського проекту «Удосконалення ензимного дегумінгу соняшникової олії». Державний реєстраційний номер: 0123U103866

Література

Aalrust, E., Beyer, W., Ottofrickenstein, H., Penk, G., Plainier, H., Rainer, R. (1992), An enzymatic method for reducing the amount of phosphorus-containing components in vegetable and animal oils. European patent 0513709.

- Bernardi, S., Lupatini-Menegotto, A., Kalschne, D., Flores, E., Bittencourt, P., Colla, E., Canan, C. (2021). Ultrasound: a suitable technology to improve the extraction and techno-functional properties of vegetable food proteins. *Plant Food. Hum. Nutr.*, 76(1), 1—11. DOI: 10.1007/s11130-021-00884-w.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Vian M. A. (2016). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34 (1), 540—560. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.
- Demidova, A., Nosenko, T., Bahmach, V., Shemanska, E., Molchenko, S. (2021), Study on anti-oxidants extraction from oak bark and their use for oxidation stability of sunflower oil. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), pp.552—563. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-3-9.
- Dijkstra, A. J. (2010). Enzymatic degumming, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(11), 1178—1189, doi.org/10.1002/ejlt.201000320.
- Guo, T., Wan, C., Huang, F., Wei, C., Xiang X. (2021). Process optimization and characterization of arachidonic acid oil degumming using ultrasound-assisted enzymatic method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78(7) 1—8. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2021.105720.
- Jiang, X., Ming, C., Jin, Q., Ang, X., Jin, Q., Wand, X. (2014). The effect of ultrasound on enzymatic degumming process of rapeseed oil by the use of phospholipase A1. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 142—148 DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.07.018.
- Loren, C., Dayton, G., Galhardo, F. (2014). Enzymatic degumming, In: *Green Vegetable Oil Processing*. Bunge Global Innovation, White Plains, New York, USA, pp. 107—145.
- Mahmood, H., Ghavami, M., Gharachorloo, M., Abbasi, R. (2016). Using of Ultrasonic in Degumming of Soybean and Sunflower Seed Oils: Comparison with the Conventional Degumming *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), 1—7. DOI: 10.1111/jfpp.12799.
- More N., Gogate P. (2018). Ultrasound assisted enzymatic degumming of crude soybean oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42(4), 805—813. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2017.12.031.
- Sampaio, K. A., Zyaykina, N., Wozniak, B., Tsukamoto, J., De Greyt, W., Stevens, C. V. (2015). Enzymatic degumming: Degumming efficiency versus yield increase. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(1), 81—86. doi.org/10.1002/ejlt.201400218.
- Virgen-Ortiz, Jose J., dos Santos, José C. S., Ortiz, C., Berenguer-Murcia, Á., Barbosa, O., Rodrigues, R. C., Fernandez-Lafuente, R. (2019). Lecitase ultra: A phospholipase with great potential in biocatalysis. *Molecular Catalysis*, 473(1), 10—16 DOI: 10.1016/j.mcat.2019.110405.
- Yang, B., Wang, Y., Yang, J. (2006). Optimization of the enzymatic degumming process for rapeseed oil. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 83(7), 653—658, doi.org/10.1007/s11746-006-1253-4.