

Для перевірки результатів досліджень встановлювали період індукції кукурудзяної олії при температурі 20 °С. Він становив 33 доби (рис. 7.11).

Розрахунок строку зберігання цього зразку олії розробленим швидким методом (за формулою 2.8), користуючись методикою п. 2.11.11 та даними рис. 7.11 показав результат у 31 добу, що збігається з даними та висновками, одержаними в вище для лляної та соняшникової олій.

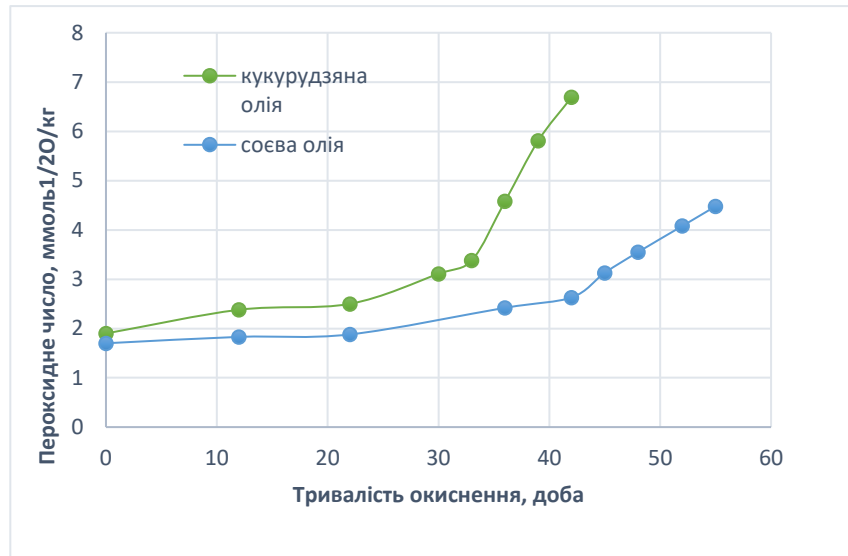


Рисунок 7.11 - Швидкість накопичення ПЧ при зберіганні кукурудзяної та соєвої олій при 20 °C в умовах доступу кисню

Для соєвої олії період індукції за даними ПЧ при 20 °C становив 42 доби (рис. 7.11). За даними розробленого швидкого методу (рис. 7.12) – 39 діб.

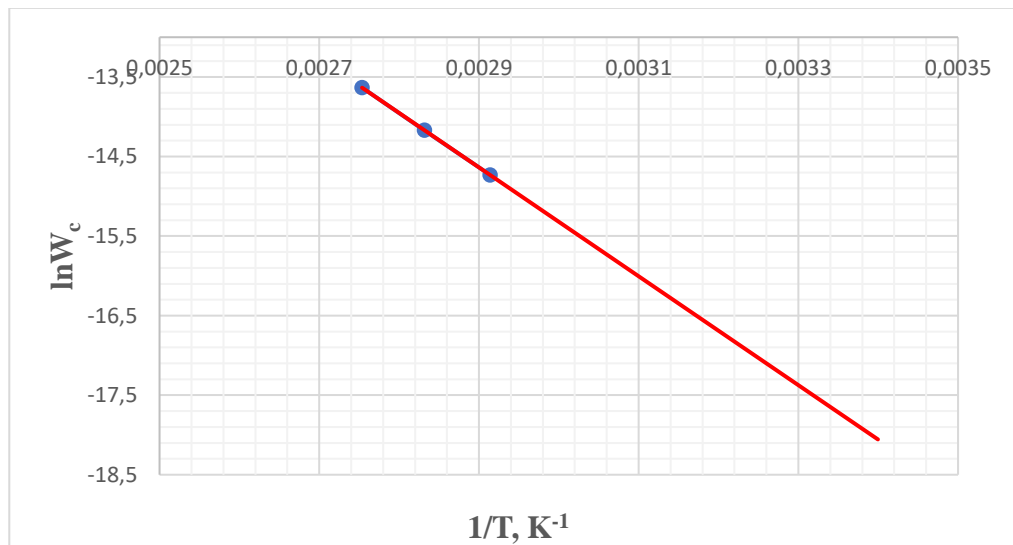


Рисунок 7.12 - Залежність між швидкістю самоініціювання соєвої олії та температурою в координатах Арреніуса

В результаті експериментальних досліджень розроблено швидкий метод прогнозування строків зберігання рослинних олій, який дає змогу передбачувати строки зберігання олій при будь-якій температурі зберігання, що, звісно, дуже зручно, дає змогу вказувати на упаковці товару тощо строки зберігання жирів при різних температурах. Також це спрощує створення нових жирових продуктів з заданими строками зберігання – купажів, жирів з доданими антиоксидантами тощо. Метод дає змогу не лише значно скорочувати час дослідження, але й скорочувати витрати на нього, так як не потребує витрат розчинників, значної кількості зразку тощо. Не дивлячись на значну кількість експериментальних даних, потрібних для одержання значення швидкості самоініціювання, запропоноване вище дослідження значно легше провести порівняно з традиційним визначенням періоду індукції по значенням ПЧ. Перш за все таке дослідження можна провести впродовж 1- 3 діб, у той час як період індукції по ПЧ визначають впродовж неділь та навіть місяців.

Результати визначення швидкості самоініціювання лляної, соняшникової, кукурудзяної, соєвої олій були перевірені шляхом визначення тривалості періоду індукції при їх зберіганні за кімнатних температур (дані ПЧ). Результати, одержані різними способами практично збіглися.

## **7.2. Пошук та дослідження способів зменшення вмісту в рослинних жирах продуктів окиснення**

До кисневмісних сполук жирів (продуктів окиснення) відносять гідропероксиди, альдегіди, кетони, спирти, оксікислоти, епоксиди (розділ 1). Ці речовини здатні вступати в різні хімічні реакції, завдяки чому їх можна перетворити на інші сполуки та вивести зі складу жирів. Звісно ці процеси не повинні негативно впливати на якість жирів.

### **7.2.1. Адсорбційне очищення окисненої олії з використанням рослинних адсорбентів**

Зразок окисненої соняшникової олії з ПЧ 88 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг та АЧ 3,45 оброблявся

борошном пшеничним за методикою, наведеною у пункті 2.9.1 В результаті ПЧ знизилася до значення 66 ммоль  $\frac{1}{2}O/kg$ , АЧ – до 2,3. Також окиснена олія оброблялась подрібненим горохом (п. 2.9.1). Горох містить значну кількість білку (відомі технології зменшення вмісту вторинних продуктів окиснення за допомогою введення амінокислот). В результаті обробки ПЧ олії змінилось несуттєво – до 76 ммоль  $\frac{1}{2}O/kg$ , зниження АЧ було більш помітним – до 1,8, тобто майже вдвічі.

Таким чином як спосіб зменшення вмісту гідропероксидів, обробку олії борошном або подрібненим горохом не можна рекомендувати. Зменшення вмісту вторинних продуктів окиснення відбувалось більш помітно, але не досягався ефект позбавлення від смаку окисненої олії.

### **7.2.2. Зменшення кількостей кисневмісних сполук в жирах в результаті реакції утворення ацеталей та кетаналей**

В ході досліджень НТД рослинних жирів (розділ 5) був помічений ефект суттєвого зменшення вмісту гідропероксидів. Однак при цьому не зростає до відповідного рівня АЧ, тобто гідропероксиди перетворюються на альдегіди, а частина альдегідів, імовірно, перетворюється на ацеталі. Всі ці ефекти демонструють можливість застосування даного методу для зниження кількостей і первинних і вторинних продуктів окиснення жирів та потребують додаткових досліджень.

Дослідження проводили за методикою, наведеною у п. 2.8.1, кількість етилового спирту – 5 % по відношенню до олії, сірчану кислоту брали в кількості 0,05 %. Температура реакції, що є достатньою для проведення НТД – 90 °С, є такою, при якій інтенсивно проходять реакції окиснення. Тому було вирішено дослідити, чи відбувається процес перетворення продуктів окиснення при більш низьких температурах. Однак чим менше температура, тим нижче швидкість реакції утворення ацеталей та кеталей, тому було вирішено поводити її при 70 °С (інтенсифікація окисних процесів відбувається при  $\geq 80$  °С).

Після проведення реакції було помічено значне зниження ПЧ (рис. 7.13), і значне зростання АЧ (рис. 7.14). Для одержання порівняльних даних руйнування гідропероксидів з утворенням альдегідів лише під впливом сильної кислоти було проведено ряд дослідів із сірчаною кислотою без додавання етанолу.

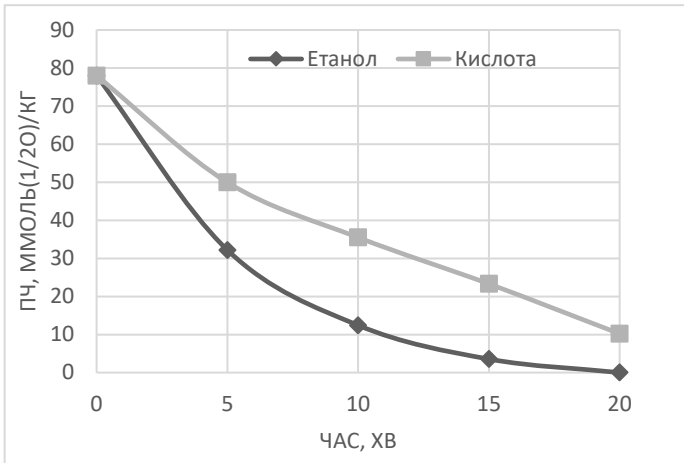


Рисунок 7.13 - Кінетика зменшення вмісту гідропероксидів у олії під впливом сірчаної кислоти або сірчаної кислоти та етанолу

Зниження ПЧ є інтенсивним і при температурі процесу 70 °С (з 78 до 0,1 ммоль ½O/кг за 20 хв. реакції), тобто підтримання температури в 90 °С для зменшення вмісту гідропероксидів у жирі не є доцільним.

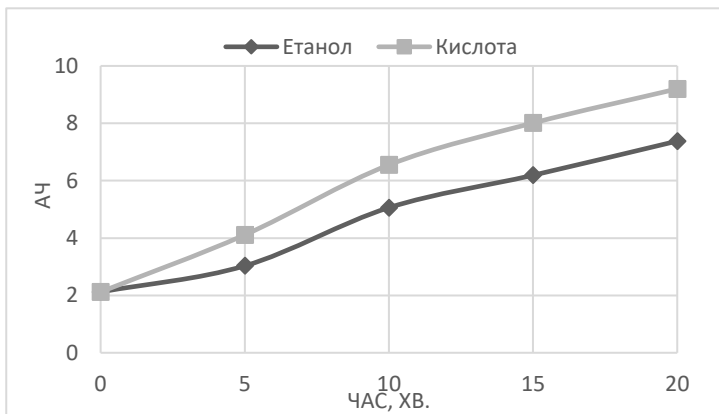


Рисунок 7.14 - Кінетика накопичення альдегідів у олії під впливом сірчаної кислоти або сірчаної кислоти та етанолу

Згідно з даними рис. 7.13 та 7.14 в присутності етанолу ПЧ більш істотно, а АЧ не так сильно збільшується, а отже, реакція утворення ацеталей та кетаналей проходить з помітною кількістю альдегідів соняшникової олії. Також зростання АЧ є менш інтенсивним, ніж це відбувалося при 90 °С (з 1,7 до 7,9 за 20 хв. обробки, рис. 5.12, розділ 5). Утворення альдегідів відбувається досить інтенсивне (з 2,12 до 9,2, рис. 7.14). Можливо через те, що утворення ацеталей та кеталей є зворотною реакцією і в присутності води призводить до утворення альдегідів та кетонів відповідно

(розділ 5). Тому в наступному експерименті олія була висушена до вмісту води 0,25 % - за попередніми дослідженнями присутність води в кількості  $< 1$  % не призводить до погіршення результатів НТД (розділ 5.3.1). Для попередження окиснення олія була деаерована та реакція утворення ацеталей проводилась в умовах зниженого тиску. В результаті через 20 хв. процесу ПЧ також становило 0,1 ммоль  $\frac{1}{2}O/kg$ , однак АЧ було майже вдвічі нижчим – 4,15, порівняно з 7,38 експерименту в присутності кисню і більшої частини води. Для порівняння результатів зміни ПЧ і АЧ, які корелюють один з одним доцільно застосовувати число ТОТОХ. Результати порівняння на рис. 7.15.

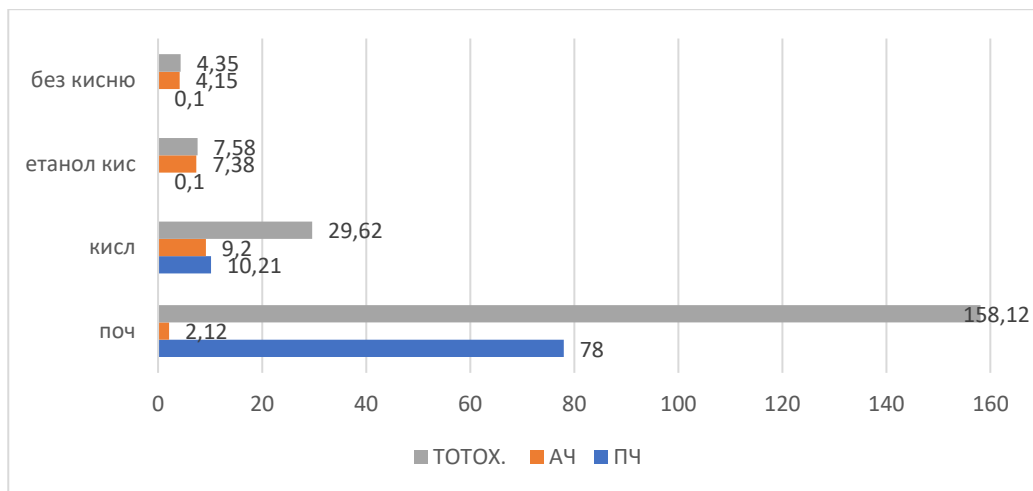


Рисунок 7.15 - Показники окиснення олії до та після обробки

Число ТОТОХ змінилось з 158,12 (окиснена олія) до 4,35 (олія, оброблена етанолом та кислотою в умовах відсутності кисню та при низькій вологості), тобто зменшилось на 97 %. Це є дуже суттєвим результатом. Повністю зник смак та запах згіркненої олії повністю зник. Таким чином обробку рослинних жирів етанолом в присутності сірчаної кислоти слід рекомендувати як перспективний метод регенерації жирів щодо їхнього окисного стану.

### 7.2.3. Вплив похідних амонію на кисневмісні сполуки жирів

Аміак і його похідні  $NH_2X$  реагують з альдегідами і кетонами з утворенням імінів:

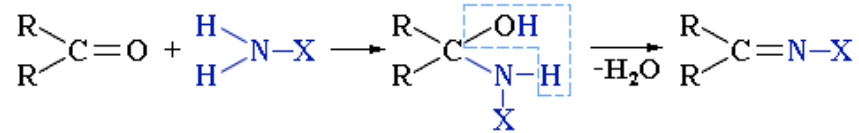


Рисунок 7.16 - Схема утворення з альдегіду та похідного аміаку іміну

Деякі з амінопохідних, наприклад амоній вуглекислий (Е 503) є безпечними речовинами, які дозволені до використання в харчовій промисловості. Аміак, який виділяється з них, здатний взаємодіяти з альдегідами та кетонами, одержані іміни можна вивести зі складу жирів шляхом застосування адсорбентів, які застосовуються в технологіях жирів.

Амоній вуглекислий вносили у кількості 1 % від маси попередньо окисненої з метою одержання високих значень ПЧ та АЧ соняшникової олії (п. 2.9.2). Одержані продукти реакції відділяли від олії шляхом додавання адсорбенту Tersil. Результати наведені на рис. 7.17. З даних рис. 7.17 можна зробити висновок, що застосування амонію вуглекислого є перспективним методом зниження вмісту продуктів окиснення в жирах. ПЧ знизилось майже вдвічі, зростання АЧ не спостерігається. Значення ТОТОХ знизилось з 170,5 до 86,9, тобто зменшилось на 49 %.

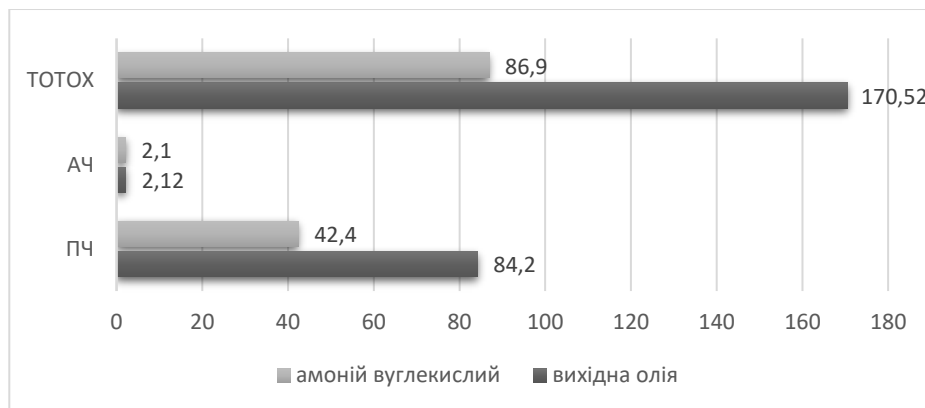


Рисунок 7.17 - Вплив амонію вуглекислого на вміст продуктів окиснення в соняшниковій олії

Окиснена олія оброблялась також азотнокислим амонієм, в результаті обробки ПЧ становило 82 ммоль  $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг. При додаванні фосфату амонію ПЧ становило до 80,8 ммоль  $\frac{1}{2}\text{O}$ /кг. Оскільки відчуття згіркненості у зразку не змінилось, було вирішено не встановлювати числове значення АЧ.

#### 7.2.4. Вплив цукрів на кисневмісні сполуки жирів

Як показано у розділах 5 та 7.2.2. карбонільні з'єднання здатні вступати у взаємодії зі спиртами (їхніми гідроксильними групами). Імовірно вони також здатні взаємодіяти з ОН-групами цукрів. Цукри (наприклад, цукроза), є безпечними, дешевими харчовими речовинами. Було вирішено обробити окиснені олії водними розчинами цукрів. Як модельні системи для визначення умов виведення продуктів окислення були обрані попередньо окиснені кокосову та соняшникову олії. Кокосова олія є найбільш насиченою, тому в ній можливе здійснення механізму окиснення з утворенням кетоз'єднань. Процес окислення соняшnikової олії призводить до утворення переважно альдегідів. Результати наведено у табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Вплив обробки жирів розчинами цукрів на вміст продуктів окиснення

Зразок	ПЧ, ммоль ½О/кг	Вміст карбонільних сполук, %	АЧ	ТОТОХ
Окиснена соняшnikова олія до обробки	2,4 ± 0,15	1,12 ± 0,45	8,05 ± 0,36	10,85
Соняшnikова олія після обробки розчином цукру	1,42 ± 0,10	0,31 ± 0,31	3,44 ± 0,31	6,28
Соняшnikова олія після обробки розчином цукру та фруктози	0,18 ± 0,15	0,09 ± 0,19	0,75 ± 0,22	1,11
Окиснена кокосова олія до обробки	3,8 ± 0,15	0,88 ± 0,35	12,18 ± 0,41	19,78
Кокосова олія після обробки розчином цукру	1,73 ± 0,15	0,25 ± 0,36	6,03 ± 0,22	8,49
Кокосова олія після обробки розчином цукру та фруктози	0,2 ± 0,15	0,08 ± 0,20	3,20 ± 0,33	2,6

Методика обробки у п. 2.9.3. Продукти цієї реакції водорозчинні, тому після її завершення здійснювали водну промивку олії.

В результаті обробки цукрозою карбонільне число кокосової олії знизилося з

0,88 до 0,25 %, соняшникової олії – з 1,12 до 0,31 %. ПЧ знизилось з 2,4 до 1,42 (соняшникова) та з 3,8 до 1,73 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг (кокосова) відповідно. Тобто відбулась взаємодія переважно з вторинними продуктами окиснення. АЧ знизилось з 8,05 до 3,44 (соняшникова) та з 12,18 до 6,03 (кокосова) відповідно. Зниження АЧ кокосової олії менш помітне за соняшкову, що пов'язано, імовірно, з більшим вмістом кетонів у ній.

Можна зробити висновок, що обробка жирів водним розчином цукрози є одним з найбільш безпечних способів відновлення показників окиснення жирів з високим вмістом альдегідів та кетонів. Також дуже суттєвим є те, що зникло відчуття згіркнення окиснених олій.

Для підвищення ефективності реакції було вирішено як комплексний реагент використовувати суміш цукрози та фруктози. Зразки соняшникової та кокосової олій обробляли водними розчином суміші цукрози та фруктози в описаних вище умовах. В результаті реакції вміст гідропероксидів у зразку кокосової олії зменшився з 3,8 до 0,2 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг, у зразку соняшникової – з 2,4 до 0,18 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг. Вміст карбонільних сполук також суттєво знизився (табл. 7.3). Таким чином поєднання цукрози з фруктозою більш суттєво знижує вміст продуктів окиснення порівняно з цукрозою. Згіркнений запах та присмак в обробленому зразку соняшникової олії зник.

Тобто шляхом обробки водними розчинами цукрів можливо суттєве поліпшення показників окиснення і жирів з високим вмістом первинних продуктів окиснення (гідропероксидів) і жирів з високим вмістом основних вторинних продуктів окиснення (альдегідів та кетонів).

Проведена обробка соняшникової олії (ПЧ = 26,3 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг) в таких саме умовах при додаванні 0,05 % концентрованої сульфатної кислоти. При цьому ПЧ зменшилося до 15 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг, однак олія суттєво потемніла, що, імовірно, пов'язане зі взаємодією сульфатної кислоти з цукрами. Тобто такий спосіб обробки не можна рекомендувати для застосування у промисловості.

#### **7.2.5. Вплив гліцерину на кисневмісні сполуки жирів**

Спирти (у тому числі багатоатомні спирти з декількома ОН-групами), як вже зазначалось, взаємодіють із групами кетонів та альдегідів. Гліцерин є харчовим

безпечним спиртом, який містить три ОН-групи. Тобто він може виступати перспективним реагентом для взаємодій з карбонільними групами жирів.

До окисненої соняшникової олії додавали 1 % гліцерину, (методика у п. 2.9.4) в присутності каталізатору – сульфатної кислоти та без каталізатору. Результати наведені на рис. 7.18. У оброблених зразках в присутності гліцерину та кислоти після промивки водою від продуктів реакції та висушування практично повністю зник згіркнений присмак та запах, що свідчить про взаємодію гліцерину з вторинними продуктами окиснення.

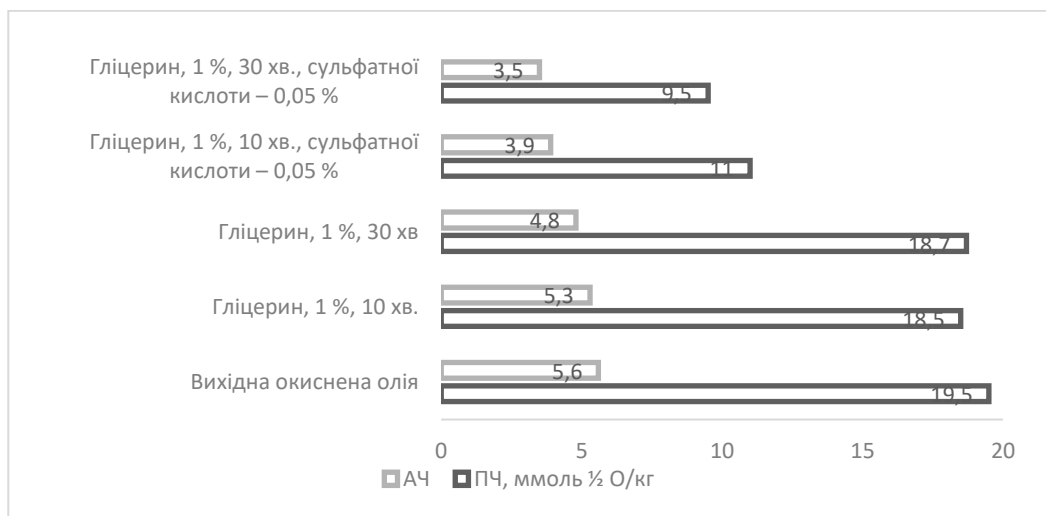


Рисунок 7.18 - Вплив гліцерину на вміст продуктів окиснення в соняшниковій олії

Гліцерин без каталізатору не взаємодіє з гідропероксидами та альдегідами (рис. 7.18), під впливом сульфатної кислоти через 30 хв. реакції утворення ацеталей ПЧ зменшується на 51 %, АЧ зменшується на 37 % (з 5,6 до 3,5).

Таким чином метод обробки окиснених жирів гліцерином в присутності кислотного каталізатору можна рекомендувати до застосування у промисловості. Однак його ефективність нижча за ефективність обробки етиловим спиртом в присутності сульфатної кислоти (розділ 7.2.2).

### 7.2.6. Вплив амінів на кисневмісні сполуки жирів

Альдегіди вступають в реакцію з сечовиною з утворенням карбомідних смол. Це полімерні сполуки, молекули альдегіду як би зшивають молекули сечовини.

Сечовина має хімічну формулу  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , розкладається на вуглекислий газ та азот. Є білковим продуктом обміну речовин в організмі людини, тобто є повністю безпечною і дешевою речовиною. Зразок окисненої соняшникової олії оброблявся 1 % сечовини за методикою 2.9.5. ПЧ, кислотне число практично не змінилися (рис. 7.19). відбулося зростання АЧ (імовірно в результаті окиснення зразку в ході обробки), вміст епоксидних з'єднань зменшився з 25 до 12,5 мг КОН/г.

Також окиснена олія оброблялась водним розчином сечовини з додаванням 0,2 % сульфатної кислоти. Після проведення обробки ПЧ становило 2,3 ммоль  $\frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$ , АЧ зросло несуттєво – з 2,12 до 2,54. Вміст епоксидних сполук зменшився на 92 % (з 25 до 1,9 мг КОН/г, рис. 7.19).

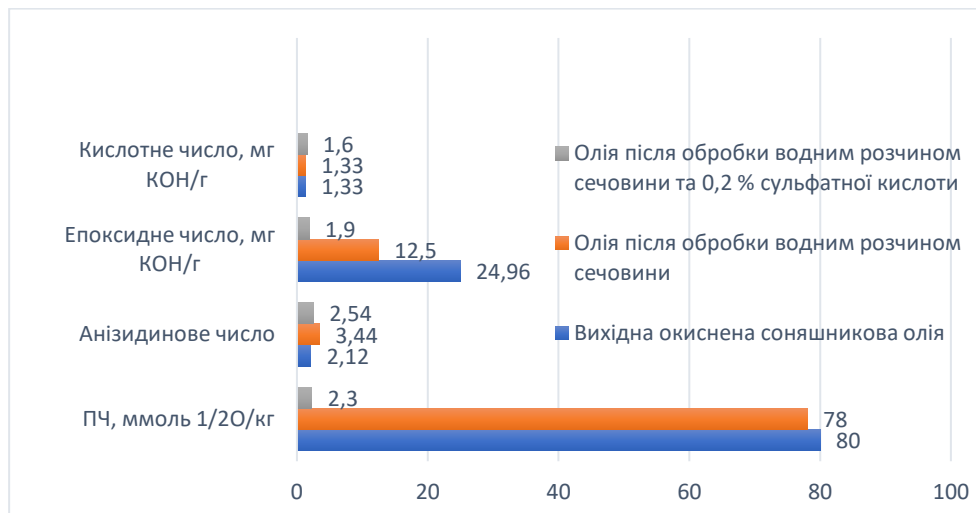


Рисунок 7.19 - Вплив розчину сечовини на вміст продуктів окиснення в соняшниковій олії

Таким чином як спосіб зменшення вмісту гідропероксидів, обробку олії сечовиною або сечовиною в присутності 0,2 % сульфатної кислоти можна рекомендувати як ефективний метод виведення продуктів окиснення. Особливо важливою є ефективність стосовно виведення небезпечних епоксидних з'єднань. Продукти реакції є водорозчинними, від залишків кислоти та карбомідних смол позбавлялись промиванням олії.

Для подальших досліджень впливу сечовини на продукти окиснення жирів було вирішено використовувати її у комплексі з адсорбентами олій – силікагелем та

відбільною землею (Tersil). Був використаний інший зразок окисненої соняшникової олії з більшим вмістом вторинних продуктів окиснення (рис. 7.20). Після обробки розчином сечовини з додаванням силікагелю ПЧ впало до 46 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг, а АЧ залишилось практично незмінним (з 3,77 до 4,04).

В результаті обробки окисненої олії розчином сечовини з додаванням відбілюючої землі ПЧ знизилосся з 80 до 26 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг, а АЧ значно збільшилося до 37,2, що, імовірно, пов'язане з руйнуванням гідропероксидів на молекулах відбільної землі з утворенням вторинних продуктів окиснення.

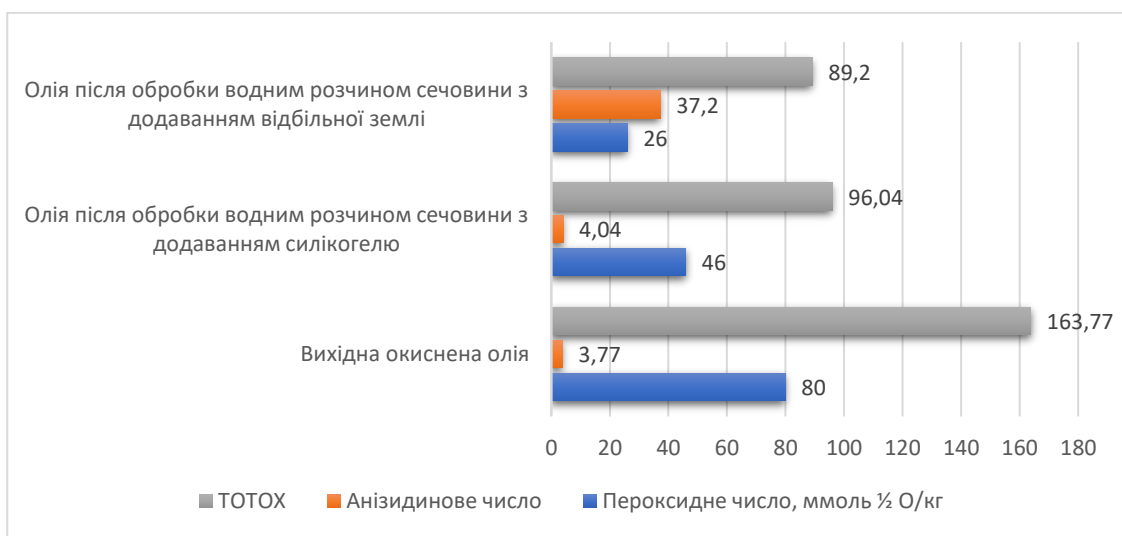


Рисунок 7.20 - Вплив обробки олії розчином сечовини в присутності силікагелю або відбільної землі на вміст продуктів окиснення в соняшниковій олії

Вирівнювання показнику окиснення Тотох відбулося в обох варіантах обробки (рис. 7.20), однак значення АЧ в результаті обробки сечовиною та відбільною землею не відповідає вимогам НД. Таким чином як спосіб зменшення вмісту гідропероксидів, обробку олії сечовиною з додаванням силікогелю можна рекомендувати для застосування у промисловості.

### 7.2.7. Вплив сульфідів на кисневмісні сполуки жирів

Характерною реакцією для альдегідів та кетонів є взаємодія з бісульфітами (рис. 7.21), альдегіди утворюють солі алканоксісульфокислот, при реакції з кетонами бісульфіти приєднуються тільки до метілкетонів  $\text{CH}_3\text{-CO-R}$ .

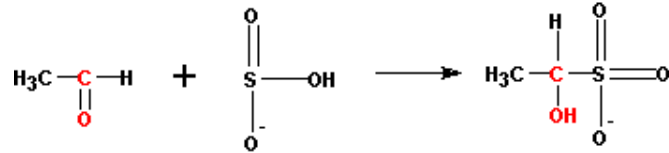


Рисунок 7.21 - Схема взаємодії альдегіду та сульфїту з утворенням похідних алкансульфоокислоти (солей алканоксісульфоокислот)

Кокосова та соняшникова окиснені олії оброблялись 1 % метабісульфїту натрію (методика відповідає п. 2.9.3). Продукти цієї реакції, отримані з карбонільних сполук малої молекулярної маси розчиняються у воді. Однак карбонільні сполуки, що містяться в оліях, переважно мають середню молекулярну масу (6–11 атомів вуглецю), питання їх розчинності у воді залишається відкритим. Тому було здійснено два варіанти виведення продуктів реакції з олій – відокремлення їх через шар відбільної землі або промивання олій водою. Результати були приблизно однаковими (рис. 7.22) з урахуванням похибок досліджень, що свідчить про розчинність у воді одержаних солей алканоксісульфоокислот олій.

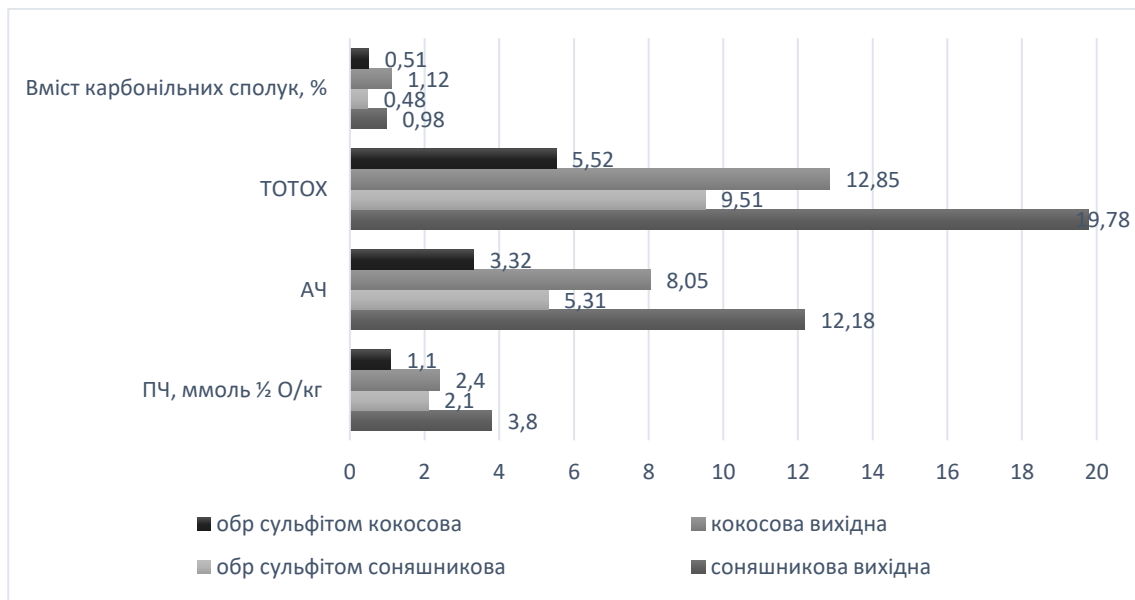


Рисунок 7.22 - Вплив обробки метабісульфїтом натрію на вміст продуктів окиснення в оліях

Вміст ПЧ у зразку кокосової олії зменшився на 54 % (з 3,8 до 2,1 ммоль 1/2 О/кг), у зразку соняшникової – на 45 % (з 2,4 до 1,1 ммоль 1/2 О/кг). Вміст карбонільних

сполук знизився на 54 % (з 0,88% до 0,48%) для зразка кокосової олії та на 51 % (з 1,12% до 0,51%) для соняшникової олії. АЧ зменшилось більш помітно – на 59 та 56 % для кокосової та соняшникової олій відповідно (рис. 7.22).

Зменшення вмісту карбонільних сполук у два рази – суттєвий результат, хоча в оліях залишався ледь помітний запах та присмак згіркнення. Метабісульфіт натрію (Е 223) широко використовується в харчовій промисловості переважно як консервант, його безпечна добова доза бісульфіту натрію становить до 0,7 мг/кг маси тіла, тобто добавка є безпечною у концентраціях, набагато більших за використані в даному дослідженні. Продукти реакції з оліями відмиваються водою, що є дешевим та простим способом їх виведення. З огляду на все це можна рекомендувати взаємодію карбонільних сполук з метабільсульфітом натрію внаслідок його невисокої вартості та безпечності застосування.

### **7.3. Дослідження впливу продуктів окиснення на відчуття згіркнення рослинних жирів**

Проблема окисного псування жирів також пов'язана з появою так званого відчуття згіркнення у жирах, які вже окиснюються певний час. Даних щодо зв'язку між згіркненням та вмістом продуктів окиснення на сьогоднішній день одержано досить багато [252, 253]. Вплив на органолептику процесу низькотемпературного окиснення вивчений недостатньо через його тривалість та більшу складність таких досліджень. При низьких температурах пероксиди руйнуються з утворенням вторинних продуктів окиснення повільно і може існувати кореляція між вмістом пероксидів та появою відчуття згіркнення. Більшість вторинних продуктів мають низьку молекулярну масу і є леткими [254]. Основні леткі окиснювальні сполуки, що утворюються в процесі зберігання олії при температурі навколишнього середовища, частково відрізняються від тих, що утворюються при високих температурах [255]. Тому можна сформулювати завдання дослідження – встановлення зв'язку між утворенням відчуття згіркнення рослинних олій та вмістом в них основних продуктів окиснення – гідропероксидів та альдегідів, тобто пошук можливості

користуючись показниками ПЧ та/або АЧ прогнозувати момент згіркнення олій.

Як об'єкт дослідження були обрані найбільш розповсюджені в Україні олії, що належать до різних жирнокислотних типів, і, таким чином, можуть істотно відрізнятися і по кінетиці окиснення і за часом згіркнення. Досліджувались наступні олії (початкова кількість ініціаторів окиснення – гідропероксидів, значення пероксидного числа – ПЧ): олія соняшникова нерафінована, ПЧ = 1,7 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг, олія кукурудзяна нерафінована, ПЧ = 1,4 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг, олія лляна нерафінована, ПЧ = 2,8 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг, олія соєва нерафінована, ПЧ = 2,0 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг, олія ріпакова нерафінована, ПЧ = 1,5 ммоль  $\frac{1}{2}O$ /кг.

Жирнокислотний склад олій досліджувався методом газорідинної хроматографії згідно ДСТУ ISO 5509-2002. Органолептична оцінка проводилась з метою визначення появи відчуття згіркнення (п. 2.11.8). Його визначення необхідно через різний вплив окремих жирних кислот на швидкість окиснення і сенсорні характеристики окиснених жирів. Так, лінолева кислота легко окиснюється з утворенням гексаналю, пентаналю, гептаналю та транс-2-гептеналю, олеїнова кислота утворює нонанові та октанові одоруючі тощо. Результати досліджень наведені у табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Жирнокислотний склад досліджуваних олій

Олія	Жирні кислоти, %					
	C <sub>16</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>18</sub> <sup>=</sup>	C <sub>18</sub> <sup>2=</sup>	C <sub>18</sub> <sup>3=</sup>	C <sub>20</sub>
Соєва	4,5	3,4	28,2	54,9	9,0	-
Кукурудзяна	7,3	5,3	44,5	42,9	-	-
Лляна	5,9	3,8	22,6	37,8	28,8	8,5
Соняшникова	6,2	3,5	20,1	64,2	5,4	0,7
Рапсова	3,8	1,2	67,2	18,7	8,3	0,8

З метою встановлення впливу кількості гідропероксидів на органолептичні показники олій досліджувалась кінетика накопичення ПЧ в зразках в умовах доступу

кисню при температурі зберігання 28 °С. Вимірювання гідропероксидів є загальною оцінкою для визначення окисного статусу олій, причому за низьких температурах окиснення одержують суттєво більш коректні результати [256]. На рис. 7.23 наведено графік кінетики окиснення олій за зміною пероксидного числа (ПЧ).

Спостерігається кореляція між швидкістю окиснення та вмістом ненасичених жирних кислот (табл. 7.6 та рис. 7.23). Найбільш швидко накопичує гідропероксиди лляна олія, найменш – кукурудзяна та соєва, що пов'язано не тільки з високим вмістом лінолевої кислоти (соєва олія), лінолевої та олеїнової кислот (кукурудзяна олія), а також з природно високим вмістом антиоксидантів в цих оліях.

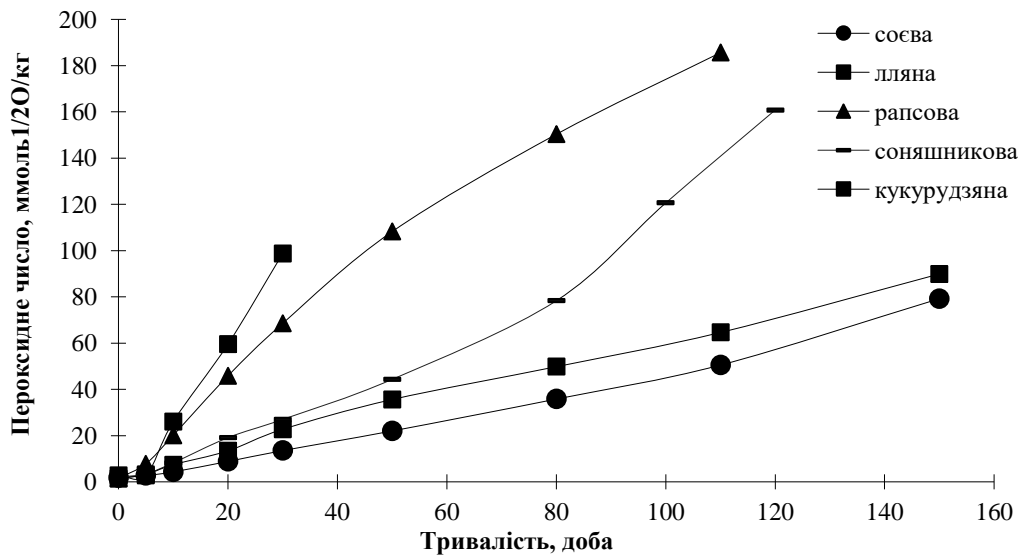


Рисунок 7.23 - Кінетика окиснення олій за зміною пероксидних чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28 °С)

В ході дослідження кінетики окиснення олій по значенням пероксидних чисел органолептична комісія встановлювала зміни у запаху та смаку олій та шукала перші прояви відчуття згіркнення. Результати наведені у табл. 7.5. Не виявлено кореляції між значеннями пероксидного числа та початком згіркнення олій. Навіть при високих значеннях ПЧ олії не мали характерного запаху згіркнення (соєва, ріпакова олії тощо), а лляна олія при невисоких значеннях пероксидного числа вже суттєво змінила сенсорні характеристики – відчуття згіркнення було інтенсивним (табл. 7.5).

Таблиця 7.5 – Зв'язок між кількістю гідропероксидів та утворенням відчуття згіркнення олій

Олія	Перші прояви згіркнення		Суттєві зміни в смаку та запаху	
	ПЧ, ммоль ½О/кг	Час зберігання, доба	ПЧ, ммоль ½ О/кг	Час зберігання, доба
Соняшникова	78	80	161	120
Соєва	79	150	-	-
Ріпакова	45	20	120	50
Кукурудзяна	65	110	90	150
Ляна	18	7	59	20

При обраній температурі досліджень (28 °С) при доступі кисню в оліях накопичуються суттєві кількості гідропероксидів (більше 100 ммоль ½ О/кг), що є досить рідким станом для олій. В більшості випадків в ході перероблення або використання олій застосовують високі температури, що призводить до швидкого руйнування гідропероксидів з утворенням інших продуктів окиснення [256]. У випадку низькотемпературного окиснення зручно слідкувати за впливом гідропероксидів на утворення відчуття згіркнення. Так, соєва олія взагалі несуттєво змінила свої смак та запах не дивлячись на високі концентрації гідропероксидів (більше 150 ммоль ½ О/кг).

Для встановлення впливу кількості продуктів окиснення на відчуття згіркнення досліджувалась кінетика зміни анізидинового числа (АЧ) олій, результати наведені на рис. 7.24 – 7.27. Ті альдегіди, що впливають на результат АЧ не відносяться до летких, а мають середню та вище молекулярну масу. Однак харчові олії вважаються прийнятними для споживання, коли АЧ нижче 10 (вимоги НД). Це вказує на майже відсутність нелетких альдегідів [257]. Тому доцільним було б з'ясувати, як значення АЧ корелюються з даними органолептичної оцінки (коли з'являються низькомолекулярні леткі альдегіди в кількостях вище за поріг розпізнавання та з'являється відчуття згіркнення).

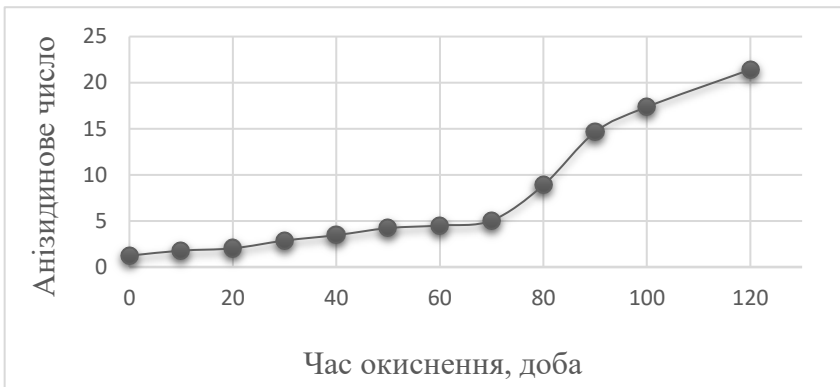


Рисунок 7.24 - Кінетика окиснення соняшникової олії за АЧ (доступ кисню повітря, 28 °С)

Період індукції окиснення соняшникової олії за даними АЧ – 70 діб. Перші прояви згіркнення були помічені при АЧ = 8,88 через 80 діб окиснення.

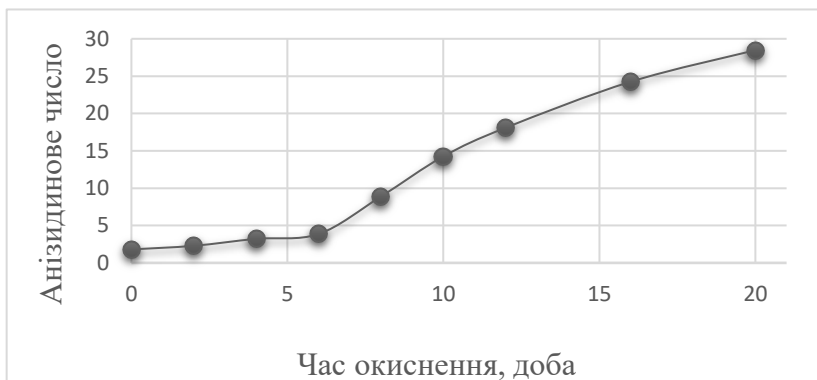


Рисунок 7.25 - Кінетика окиснення лляної олії за зміною АЧ (доступ кисню повітря, 28 °С)

Період індукції окиснення лляної олії за даними АЧ – 6 діб. Перші прояви згіркнення були помічені при АЧ = 6,51 через 7 діб окиснення.

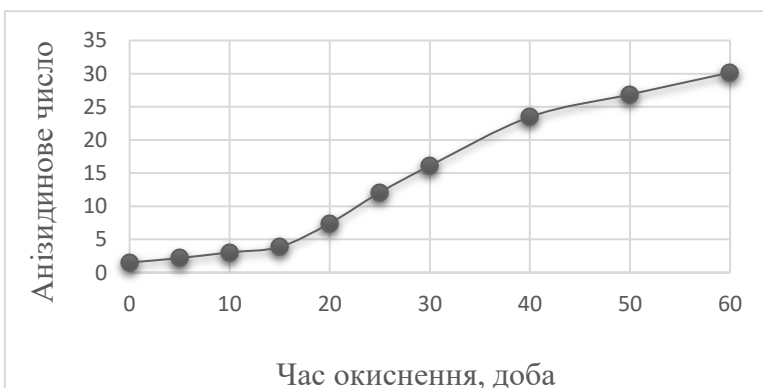


Рисунок 7.26 - Кінетика окиснення ріпакової олії за зміною АЧ (доступ кисню повітря, 28 °С)

Період індукції окиснення ріпакової олії за даними АЧ – 18 діб. Перші прояви згіркнення були помічені при АЧ = 7,43 через 20 діб окиснення.

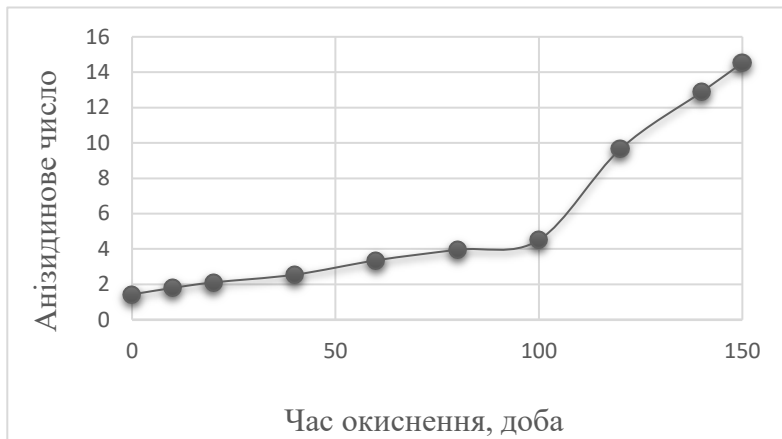


Рисунок 7.27 - Кінетика окиснення кукурудзяної олії за зміною АЧ (доступ кисню повітря, 28 °С)

Період індукції окиснення кукурудзяної олії за даними АЧ – 98 діб. Перші прояви згіркнення були помічені при АЧ = 8,48 через 110 діб окиснення.

Період індукції окиснення соєвої олії за даними АЧ – 120 діб . Перші прояви згіркнення були помічені при АЧ = 10,59 через 150 діб окиснення. Суттєвого згіркнення на досліджуваному часовому інтервалі (170 діб) не було виявлено.

Спостерігається кореляція між моментом виходу з періоду індукції за даними АЧ та початком згіркнення всіх досліджуваних олій. Період індукції олій за АЧ закінчується перед початком погіршення смаку та запаху (рис. 7.24–7.27, табл. 7.6). Наприклад, для соняшnikової олії перші прояви відчуття згіркнення з'явилися через 80 діб зберігання (табл. 7.6), її період індукції (рис. 7.23) складав 70 діб.

Таблиця 7.6 – Зв'язок між значенням АЧ та погіршенням сенсорних характеристик досліджуваних олій

Олія	Перші прояви згіркнення		Суттєві зміни смаку та запаху	
	АЧ	Час зберігання, доба	АЧ	Час зберігання, доба
Соняшnikова	8,9	80	21,4	120
Соєва	10,6	150	-	-
Ріпакова	7,4	20	26,9	50
Кукурудзяна	8,5	110	14,5	150
Лляна	6,5	7	24,2	16

Також слід зазначити, що за ступенем окисної стійкості по даним змінення і ПЧ

і АЧ олії можна вистроїти в наступний ряд (по мірі зниження стабільності): соєва олія>кукурудзяна олія>ріпакова олія> соняшникова олія> лляна олія. Має місце кореляція між окисною нестабільністю олій та вмістом в них ненасичених жирних кислот. У всіх зразках не спостерігається різкого збільшення АЧ, що пов'язано з низькою температурою зберігання олій та відсутністю швидкого руйнування пероксидів (рис. 7.24).

#### **7.4. Встановлення впливу продуктів окиснення на вміст 3-MCPD-ефірів, ефірів гліцидолу в дезодорованій соняшниковій олії**

На цьому етапі задачею нашого дослідження було розглядання проблеми зв'язку вмісту продуктів окиснення в жирах та рівнів утворення MCPD-ефірів та ефірів гліцидолу після дезодорування цих жирів. Для підтвердження або спростування цього ствердження соняшкову рафіновану олію окиснювали при температурі 90 °С киснем повітря з метою накопичення в одному зразку (для зменшення похибок дослідження) різних кількостей продуктів окиснення. Намагались одержати такі значення пероксидів і альдегідів, які можуть зустрічатися в комерційних зразках нерафінованої соняшникової олії. Результати накопичення гідропероксидів та альдегідів наведено у табл. 7.7. Пероксиди є первинними продуктами окиснення і при температурі дослідження 90 °С легко розпадаються з утворенням перш за все альдегідів. Тому не спостерігається накопичення великих кількостей пероксидів. Одержані значення ПЧ зустрічаються у комерційних зразках соняшникової олії. Далі в зразках проводили лабораторне дезодорування (методика у п.2.8.1). В зразку дезодорованої в лабораторії за стандартною методикою соняшниковій олії (контроль) вміст 3-MCPDE склав 560 мкг/кг, GE – 440 мкг/кг, що узгоджується з даними EFSA щодо соняшникової олії [62] і дає можливість використовувати обрану методику лабораторного дезодорування. Кислотність олій також впливає істотно на утворення MCPDE та GE, тому для виключення впливу цього фактору визначали КЧ дезодорованих олій. Результати досліджень наведено у табл. 7.7.

Таблиця 7.7 – Вплив кількості продуктів окиснення в соняшниковій олії на вміст 3-MCPDE і GE в олії після її дезодорування

№	Зразок соняшникової олії	ПЧ олії до дезодорування (і після проведення дезодування), ммоль ½O/кг	АЧ олії до дезодування	КЧ, мг КОН/г	Вміст 3-MCPDE*, мкг/кг	Вміст GE**, мкг/кг
1	Дезодорована (0 годин окиснення)	1.06 ± 0.07 (4,75)	0.55 ± 0.21	0,32 ± 0,007	560 ± 17	440 ± 20
2	Окиснена (2 години) і дезодорована	2.11 ± 0.09 (3,27)	1.89 ± 0.30	0.33 ± 0,007	750 ± 17	270 ± 20
3	Окиснена (5 годин) і дезодорована	4.35 ± 0.12 (4,76)	5.10 ± 0.15	0.36 ± 0,009	1230 ± 17	270 ± 20
4	Окиснена (10 годин) і дезодорована	9,88 ± 0.11 (3,21)	10.38 ± 0.19	0.39 ± 0,008	1290 ± 17	390 ± 20

\*- Масова частка суми 3-моноклорпропандіолу (3-MCPD) та ефірів жирних кислот 3-MCPD в перерахунку на 3-MCPD, мкг/кг

\*\* - Масова частка ефірів гліцидилових жирних кислот в перерахунку на гліцидол, мкг/кг

КЧ зразків олії було приблизно однаковим, тому не впливало на результати досліджень. За результатами досліджень видно, що зі збільшенням вмісту в зразках соняшникової олії продуктів окиснення зростає і кількість MCPD-ефірів, які утворились після проведення дезодорування: від 560 мкг/кг для олії з ПЧ 1,06 ммоль ½O/кг та АЧ 0,55 до 1290 мкг/кг для олії з ПЧ=6,73 ммоль ½O/кг та АЧ=10,38. Таким чином пероксиди і альдегіди слід віднести до ініціаторів утворення 3-MCPDE. Відповідно одним з шляхів зниження вмісту токсичних 3-MCPDE в дезодорованих оліях є попередження утворення продуктів окиснення в ході добування та перероблення олій або зниження вмісту продуктів окиснення в оліях перед проведенням дезодорування.

Однак така кореляція не спостерігається для гліцидилових ефірів. Деякі

дослідники одержували схожі результати: так з підвищенням значення АЧ в процесі жарки у фритюрі кількість ефірів гліцидолу пальмової олії не підвищувалось відповідно [258, 259].

Присутність АО також може впливати на зменшення утворення МСРD-ефірів та ефірів гліцидолу при дезодорованій олій. В подальшому дослідженні було вирішено зменшувати вміст АО, які вже містяться в соняшниковій олійі - токоферолів (вміст каротиноїдів у дезодорованій олійі і так є незначним). З цією метою порівнювали два зразки – соняшкову дезодоровану олію та цю ж олію, з якої були вилучені токофероли (табл. 7.8).

Таблиця 7.8 – Кількість 3-МСРD-E і GE в соняшниковій олійі з природним вмістом токоферолів та без них

№	Зразок соняшникової олійі	ПЧ до дезод-ня (і після пров. дезодорування), ммоль ½ O/кг	АЧ олійі до дезодорування	КЧ, мг КОH/г	Вміст 3-МСРDЕ, мкг/кг	Вміст GE, мкг/кг
1	Дезодорована	1.06 ± 0.07 (4,75)	0.55 ± 0.21	0,32 ± 0,007	560 ± 17	440 ± 20
5	Без токоферолів, дезодорована	3,29 ± 0.11 (4,08)	1.77 ± 0.29	0.28 ± 0,013	620 ± 17	490 ± 20

Спостерігається збільшення і 3-МСРDЕ і GE в зразку соняшникової олійі з вилученими токоферолами. Однак зростання є невеликим – приблизно на 10 % для обох ефірів. За одержаними даними неможна зробити висновок про вплив кількості природних антиоксидантів на утворення 3-МСРDЕ і GE в процесі дезодорування.

Таким чином на основі експериментальних результатів можна сформулювати доцільні заходи для зниження утворення МСРDЕ в оліях: попередження утворення суттєвих кількостей продуктів окиснення (за даними ПЧ  $\geq 4$  ммоль½ O/кг, АЧ  $\leq 5$ ) або вилучення вже накопичених продуктів окиснення (за методами, запропонованими у розділі 7.2) перед проведенням дезодорування.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 7

Розроблений швидкий метод прогнозування строків зберігання рослинних жирів, заснований на визначенні швидкості самоініціювання зразку жиру при різних температурах. Його використання дає змогу одержати дані щодо строків зберігання зразку жиру при будь-яких температурах зберігання. Одержані кінетичні дані окиснення зразків лляної, соняшnikової, кукурудзяної, соєвої олій. На основі експериментальних досліджень побудовані залежності між температурою та швидкістю ініціювання цих олій в координатах Ареніуса. Точки залежності швидкості самоініціювання від температури (70; 80; 90 °C) у координатах Ареніуса  $1/T - \ln W_c$  утворили пряму (для всіх досліджених зразків олій), що доводить вірність та точність методики. Для перевірки одержаних за швидким методом визначення строків зберігання олій визначали кінетику їх окиснення найбільш класичним шляхом – за зміною пероксидних чисел олій. Встановлені значення періодів індукції є наступними: лляна олія (при 24 °C) – 19 діб, соняшnikова олія (при 24 °C) – 24 діб, соєва олія (при 20 °C) – 42 доби, кукурудзяна олія (при 20 °C) – 33 доби. Значення строків зберігання за розробленою методикою (розрахованих екстраполяцією на задану температуру прямих у координатах Ареніуса) становили: лляна олія – 17 діб, соняшnikова олія – 22 доби, соєва олія – 39 діб, кукурудзяна олія – 31 добу. Розрахунок строку зберігання жиру за даними ПЧ не враховує присутності вторинних продуктів окиснення, тобто має підвищене значення.

Визначено, що застосування борошна пшеничного або подрібненого гороху як адсорбентів для вилучення продуктів окиснення не призводить до помітного зменшення вмісту гідропероксидів та альдегідів у жирі. Під впливом пшеничного борошна спостерігалось зниження ПЧ соняшnikової олії на 25 % та АЧ на 33 %. Під впливом горохового борошна ПЧ знизилось на 13 %, АЧ більш суттєво – на 48 %.

Доведено високу ефективність щодо зниження вмісту продуктів окиснення в жирах в результаті впливу етилового спирту та сірчаної кислоти як каталізатору за температури реакції 70 °C. Через 20 хв. реакції ПЧ олії знижується на 99 % (з 78 до 0,1 ммоль  $\frac{1}{2}O_2$ /кг), АЧ збільшується з 2,12 до 4,15. Число ТОТОН зменшується з 158,12 до 4,35, тобто 97 %. Також відбувається повне відновлення смаку та запаху

соняшникової олії (зникає смак та запах згіркнутої олії). Таким чином обробку рослинних жирів етанолом в присутності сірчаної кислоти слід рекомендувати як перспективний метод регенерації жирів щодо їхнього окисного стану.

ПЧ окисненої олії під впливом 1% амонію вуглекислого знизилось майже вдвічі (з 84,2 до 42,4 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг), зростання АЧ не спостерігалось. Значення ТОТОХ олії знизилось з 170,5 до 86,9, тобто на 49 %.

Обробка окиснених олій метабісульфітом натрію призводить до помітного зменшення вмісту в них продуктів окиснення. Вміст ПЧ у зразку кокосової олії зменшився на 54 % (з 3,8 до 2,1 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг), у зразку соняшникової – на 45 % (з 2,4 до 1,1 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг). Вміст карбонільних сполук знизився на 54 % (з 0,88% до 0,48%) для зразка кокосової олії та на 51 % (з 1,12% до 0,51%) для соняшникової олії. АЧ зменшилось на 59 та 56 % для кокосової та соняшникової олій відповідно. Продукти цієї реакції є водорозчинними і виводяться з олій шляхом їхнього промивання.

Експериментально визначено, що обробка жирів гліцерином приводе до часткового виведення гідропероксидів та альдегідів. В присутності каталізатору реакції утворення ацеталей – сірчаної кислоти (0,05 % та 0,1 % гліцерину по відношенню до олії), відбувається 51 %-ве зменшення ПЧ (з 19,5 до 9,5 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг) та 37 %-ве зменшення АЧ (з 5,6 до 3,5).

Доведено, що основні вторинні продукти окиснення жирів можуть бути виведені зі складу жирів за рахунок їх обробки водними розчинами цукрів. В результаті обробки цукрозою карбонільне число кокосової олії знизилосся з 0,88 до 0,25 %, соняшникової олії – з 1,12 до 0,31 %, АЧ зменшилось з 8,05 до 3,44 (соняшникова олія) та з 12,18 до 6,03 (кокосова олія). Під впливом водного розчину цукрози та фруктози (співвідношення вода:цукор:фруктоза як 2:1:1) вміст гідропероксидів у зразку кокосової олії зменшився з 3,8 до 0,2 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг, у зразку соняшникової – з 2,4 до 0,18 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг. Вміст карбонільних сполук знизився з 1,12% до 0,09% для соняшникової олії та з 0,88% до 0,08% для кокосової олії. АЧ знизилось на 91 % та 74 % відповідно. ТОТОХ зменшився на 90 % для соняшникової олії та на 87 % для кокосової олії. Згіркнутий запах та смак в оброблених зразках

рослинних жирів зникав.

Доведена ефективність щодо виведення зі складу окиснених жирів гідропероксидів та епоксидних з'єднань під впливом сечовини (1 % водного розчину) в присутності 0,2 % сірчаної кислоти (конц.98 %): ПЧ зменшилось на 97 % (з 80 до 2,3 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг), АЧ зросло на 20%. Вміст епоксидних сполук зменшився на 92 % (з 25 до 1,9 мг КОН/г).

Вміст гідропероксидів в умовах низькотемпературного окиснення (28 °С) не впливає на утворення відчуття згіркнення – навіть при високих значеннях ПЧ досліджених олій (соєва – 70, ріпакова – 40 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг тощо), вони не змінювали своїх органолептичних характеристик. А лляна олія при невисоких значеннях ПЧ (17 ммоль  $\frac{1}{2}$ O/кг) вже суттєво змінила сенсорні характеристики – відчуття згіркнення було інтенсивним. Доведено, що користуючись кінетикою зміни показника анізидинове число можна прогнозувати момент згіркнення олій. Згіркнення відбувається після виходу з періоду індукції за даними кінетики анізидинових чисел.

Доведено, що збільшення вмісту гідропероксидів та альдегідів призводить до збільшення вмісту 3-MCPDE в дезодорованій олії: при послідовному зростанні ПЧ від 1,06 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг та АЧ від 0,55 у зразках окисненої соняшникової олії до ПЧ 9,88 і АЧ 10,38 вміст 3-MCPDE, утвореного в результаті дезодорування збільшувався послідовно з 560 до 1290 мкг/кг.

Навпаки, не виявлено кореляції між кількістю продуктів окиснення в соняшниковій олії та кількістю GE: зразок олії з ПЧ 1,06 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг та АЧ 0,55 утворив 440 мкг/кг GE; з ПЧ 2,11 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг та АЧ 1,89 – 270 мкг/кг GE; з ПЧ 9,88 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг та АЧ 10,38 – 390 мкг/кг GE.

Список опублікованих матеріалів за темою розділу 7 – [260-282].

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розроблено наукові основи, технічні рішення і оптимізовані технологічні режими технологій перероблення та захисту від окисного псування рослинних жирів. Ключовими технологічними рішеннями є низькотемпературне дезодорування, нові технології гідратування, оброблення соняшникових фосфатидних концентратів та дезодораційних дистилатів, одержання та використання натуральних антиоксидантів на базі рослин, вилучення продуктів окиснення та захист жирів від утворення ефірів 3-хлор-1,2-пропандіолу та гліцидолу.

1. Підтверджено висунуту концепцію можливості низькотемпературного дезодорування жирів як результату хімічних перетворень їхніх основних одоруючих компонентів, на основі одержаних експериментальних даних розроблено принципово нову технологію дезодорування рослинних жирів, яка здійснюється при температурах менших за 140 °С в умовах неглибокого вакууму.

2. Експериментально підтверджено, що проведення низькотемпературного дезодорування приводить до поліпшення показників якості та безпеки жирів: суттєво зменшується вміст в них продуктів окиснення, не утворюються токсичні компоненти – ефіри 3-хлор-1,2-пропандіолу та гліцидолу.

3. Запроваджено низку методів гідратування, які характеризуються низькими ефективними концентраціями запропонованих безпечних гідратаційних агентів ( $\leq 0,1$  % по відношенню до олії), які дозволяють одержати гідратовану соняшкову олію з вмістом фосфоліпідів менше 0,05 % в перерахунку на стереоолелецитин. Досліджені гідратаційні агенти з урахуванням кількості їх введення за ефективністю розташовано в ряд (по зниженню ефективності): ацетат кальцію > суміш лимонної та бурштинової кислот (1:1) > хлорид амонію > суміш хлориду натрію та лимонної кислоти (1:2) > сульфат амонію > суміш лимонної та аскорбінової кислот (1:1) > бурштинова кислота > суміш лимонної та молочної кислот (1:1) > борошно пшеничне > аскорбінова кислота > борошно горохове. Сформульована концепція керування якістю фосфатидного концентрату на стадії гідратування: використання як гідратаційних агентів розчинів солей призводить до зниження в'язкості

фосфатидного концентрату, що зменшує негативний вплив сушіння на його якісні характеристики, а також є попередженням пластифікування фосфатидного концентрату в процесі зберігання.

4. Розроблена низка методів валоризації процесу очищення рослинних жирів. Доведена можливість дезодорування соняшникового фосфатидного концентрату, визначено ряд розріджувачів, здатних ефективно знижувати його в'язкість. Обґрунтовано два простих способи одержання концентратів токоферолів з соняшникового дезодораційного дистиляту, досліджено їх товарні характеристики та антиоксидантну активність.

5. Проведено системне оцінювання потенціалу поширених на території України рослин як сировини для одержання антиоксидантів. Створена методика порівняльної оцінки здатності антиоксидантів інгібувати процес окиснення жирів, за результатами використання якої досліджені антиоксиданти за їх ефективністю щодо гальмування окиснення соняшnikової олії розташовуються в ряд: меліса трава (АОА=2,91) > спірея трава (2,75) > лопуху коріння (2,72) > ожини кора (2,58) > калини кора (2,53) > ожини листя (2,37) > ожини пагони (2,32) > чорниці кора (2,24) > чорниці пагони (2,20) > чебрець трава (2,11) > малини кора (2,11) > чорниці листя (2,05) > малини листя (2,01) > калини листя (1,99) > нагідки квіти (1,99) > кора дубу (1,96) > горобина чорноплідна (1,88) > чорниці плоди (1,86) > чорної смородини листя (1,82) > кропиви листя (1,77) > горобина звичайна (1,77) > розмарин листя (1,75) > ехінацея квіти (1,69) > петрушка (1,67) > рукола (1,65) > калини плоди (1,61) > малини плоди (1,60) > чорної смородини плоди (1,56) > м'ята перцева листя (1,50) > ромашка лікарська (1,48) > кріп (1,41). Антиоксидантна активність бутілгідроксіанізолу за тих же умов і концентрації (0,2 г/кг) дорівнює 1,69;

6. Визначені ефективні умови вилучення антиоксидантів з рослинної сировини, до яких слід віднести: застосування водно-етанольних розчинів зі вмістом етанолу 70-80 %; застосування у сукупності з ними харчових кислот (аскорбінової, лимонної); використання для екстрагування НВЧ-поля; застосування водно-етанольного екстрагування у поєднанні з гідролітичними ферментами та фосфоліпідами. Проведений порівняльний аналіз, який довів доцільність застосування рослинних антиоксидантів в технологіях жирів: доведена більша за синтетичний антиоксидант (бутілгідроксіанізол, ВНА) ефективність рослинних антиоксидантів за різних умов окиснення: під час смаження жиру у фритюрі (180 °С)

КЧ в присутності АО з кори калини є на 23 % меншим за КЧ жиру з ВНА через 5 діб смаження (0,2 мг/кг обох АО), в ході окиснення жиру при температурі 90 °С ПЧ олії через 15 годин смаження в присутності АО з листя ожини є на 130 % меншим порівняно з ПЧ олії з ВНА, а також в процесі низькотемпературного окиснення.

7. Експериментально доведена наявність прямої кореляції між вмістом продуктів окиснення, кислотних груп в соняшниковій олії та кількістю 3-MCPDE в дезодорованій соняшниковій олії. Експериментально встановлено, що завдяки розробленій технології низькотемпературного дезодорування вміст ефірів 3-MCPD та гліцидолу в соняшниковій олії є меншим за межу виявлення. На основі експериментальних досліджень сформульована концепція захисту рослинних жирів від високих концентрацій 3-MCPD-ефірів та гліцидолових ефірів, яка включає зменшення кислотних груп в жирах перед проведенням дезодорування, зниження вмісту продуктів окиснення в жирах, а також суттєве зниження температури дезодорування.

8. Створена та підтверджена теоретична база можливості суттєвого покращення окисного стану жирів за рахунок хімічних перетворень основних продуктів окиснення жирів з наступним їх відведенням. Доведена ефективність наступних реагентів: етиловий спирт або сечовина в присутності кислотного каталізатору, розчини цукрози та фруктози, амоній вуглекислий, метабісульфіт натрію.

9. Створений швидкий метод визначення строків зберігання рослинних жирів, здатний передбачати ці терміни у широкому діапазоні температур зберігання. Доведена достовірність результатів методу. Розглянуто передумови утворення відчуття згіркнення рослинних жирів. Показано, що, користуючись кінетикою зміни показника анізидинове число можна прогнозувати момент згіркнення олій: відчуття згіркнення формується безпосередньо після виходу з періоду індукції за даними анізидинових чисел.

10. Сформульована концепція захисту жирів від окисного псування, яка включає наступні елементи: зменшення вмісту продуктів окиснення в жирах за одним з розроблених методів; використання додаткових натуральних антиоксидантів для захисту жирів у процесі високотемпературного використання; швидке визначення строків зберігання жирів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (2020). *History of cargill's work with soybeans and soy ingredients (1940-2020)*. Soyinfo Center.
2. Robert, C., Couëdelo, L., Vaysse, C., Michalski, M.-C. (2019). Vegetable lecithins: a review of their compositional diversity, impact on lipid metabolism and potential in cardiometabolic disease prevention. *Biochimie*, 169, 121-132. doi:10.1016/j.biochi.2019.11.017.
3. [O'Donnell, V.B.](#), [Rossjohn, J.](#), [Wakelam, M.J.](#) (2018). Phospholipid signaling in innate immune cells. *J Clin Invest*, 128(7), 2670–679. doi: [10.1172/JCI97944](#)
4. Cesarini, S., Haller, R., Diaz, P., Nielsen P. (2014). Combining phospholipases and a liquid lipase for one-step biodiesel production using crude oils. *Biotechnol Biofuels*, 7(1):29. doi: 10.1186/1754-6834-7-29.
5. [Alagumuthu, M.](#) (2019). Phospholipid – the dynamic structure between living and non-living world; a much obligatory supramolecule for present and future. *AIMS Molecular Science*, 6(1), 1-19. doi: [10.3934/molsci.2019.1.1](#)
6. Van Nieuwenhuyzen, W., Tomas, M. C. (2008). Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(5), 472–486. doi:10.1002/ejlt.200800041
7. Dijkstra, Albert J. Introduction to Degumming. *AOCS Lipid Library* [Internet]. Available from: <https://lipidlibrary.aocs.org/edible-oil-processing/introduction-to-degumming>.
8. Dijkstra A. Edible Oil Processing: Introduction to Degumming. *AOCS Lipid Library* [Internet]. Available from: <http://lipidlibrary.aocs.org/OilsFats/content.cfm?ItemNumber=40325>
9. Sen Gupta, A. K. (1986). Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Raffination der Speiseöle. *Fette Seifen Anstrichm*, 88, 79–86.
10. Sengar, G., Kaushal, P., Sharma, H. K., Kaur, E.M. (2014). Degumming of rice bran oil. *Rev. Chem. Eng.*, 30(2), 183–198. doi:[10.1515/revce-2013-0030](#)

11. Sampaio, K.A., & Verhé, R. (2019). Enzymatic degumming of corn oil using phospholipase C from a selected strain of *Pichia pastoris*. *LWT - Food Science and Technology*, 107, 145–150. doi:[10.1016/j.lwt.2019.03.003](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.003)
12. Ye, Z. et al. (2016). Optimization and comparison of water degumming and phospholipase C degumming for rapeseed oil. *CyTA – Journal of Food*, 14(4), 604–12. doi:[10.1080/19476337.2016.1182218](https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1182218)
13. Paisan, S., Chetpattananondh, P., Chongkhong, S. (2017). Assessment of water degumming and acid degumming of mixed algal oil. *J Environ Chem Eng*, 5(5), 5115–23. doi: [10.1016/j.jece.2017.09.045](https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.045)
14. Wang, W., Pan, Y., Gong, K., Zhou, Q., Zhang, T., & Li, Q. (2019). A comparative study of ultrasonic degumming of silk sericin using citric acid, sodium carbonate and papain. *Coloration Technology*, 135(3), 195-201. doi: [10.1016/j.fbp.2021.07.005](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.07.005)
15. Galhardo, F., Dayton, C. (2018). Enzymatic degumming. *AOCS lipid library* [Internet]. Available from:<http://lipidlibrary.aocs.org/OilsFats/content.cfm?ItemNumber=40324>
16. Zorn, K., & Bornscheuer, U.T. (2016). Engineering and application of enzymes for lipid modification, an update. *Prog. Lipid Res*, 63, 153-64.
17. Sein A., De Jong, R.M., Van Rij E.T. (2016). Phospholipase C. WO2016162456 (patent of DSM).
18. Tang L., Liu Y., Borch, K., Brask J. (2012). Polypeptides having phospholipase C activity and polynucleotides encoding same. WO2012062817 (patent of Novozymes).
19. dos Passos, R. M., da Silva, R. M., de Almeida Pontes, P. V., Morgano, M. A., Meirelles, A. J., Stevens, C. V., ... & Sampaio, K. A. (2022). Phospholipase cocktail: A new degumming technique for crude soybean oil. *Lwt*, 159, 113197. doi. [10.1016/j.lwt.2022.113197](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113197)
20. Passos, R. M., Ferreira, R.S.B., Batista, E.A.C. (2019). Degumming Alternatives for Edible Oils and Biodiesel Production. *Food and Public Health*, 9(5), 139-147. doi:[10.5923/j.fph.20190905.01](https://doi.org/10.5923/j.fph.20190905.01)

21. Gupta, M.K. (2017). *Practical Guide to Vegetable Oil Processing*. Elsevier.
22. Lamas, D.L., Crapiste, G.H., Constenla, D.T. (2014). Changes in quality and composition of sunflower oil during enzymatic degumming process. *LWT - Food Sci. Technol.*, 58(1), 71–76. doi: [10.1016/j.lwt.2014.02.024](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.024)
23. Qu, Y. et al. (2017). Enzymatic degumming of soybean oil with magnetic immobilized phospholipase A2. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 290–295. doi: [10.1016/j.lwt.2016.06.026](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.026)
24. Filkin, S. Y., & Fedorov, A. N. (2020). Expression, purification and biophysical characterization of recombinant *Streptomyces violaceoruber* phospholipase PLA2 overproduced in *Pichia pastoris*. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 50(6), 549-555. [doi.10.1080/10826068.2020.1712657](https://doi.org/10.1080/10826068.2020.1712657)
25. Jiang, X., Chang, M., Jin, Q., Wang, X. (2015). Application of phospholipase A1 and phospholipase C in the degumming process of different kinds of crude oils. *Process Biochem.*, 50(3), 432–7. doi: [10.1016/j.procbio.2014.12.011](https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.12.011)
26. Szydłowska-Czerniak, A., Łaszewska, A. (2017). Optimization of a soft degumming process of crude rapeseed oil - Changes in its antioxidant capacity. *Food and Bioproducts Processing*, 105, 26-35. doi:10.1016/j.fbp.2017.05.012.
27. Yao, Y., & Huang, F. (2020). Silicon dioxide as an efficient adsorbent in the degumming of rapeseed oil. *Journal of cleaner production*, 268, 122344. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122344
28. Adedi, E., Sahari, M.-A., Barzegar, M., Azizi, M.-H. (2015). Optimisation of soya bean oil bleaching by ultrasonic processing and investigate the physico-chemical properties of bleached soya bean oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(4), 857-63. doi: [10.1111/ijfs.12689](https://doi.org/10.1111/ijfs.12689)
29. Mahmood-Fashandi, H., & Mousavi Khaneghah, A. (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
30. More, N. S., Gogate, P. R. (2018). Ultrasound assisted enzymatic degumming of

- crude soybean oil. *Ultrason. Sonochem*, 42, 805-13. doi: [10.1016/j.ultsonch.2017.12.031](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.12.031)
31. Nie, K., & Jiang, W. (2022). A facile degumming method of kenaf fibers using deep eutectic solution. *Journal of natural fibers*, 19(3), 1115-1125. doi: [10.1080/15440478.2020.1795778](https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1795778)
32. More, N. S., Gogate, P. R. (2018). Intensified degumming of crude soybean oil using cavitation reactors. *Journal of Food Engineering*, 218, 33–43. doi: [10.1016/j.jfoodeng.2017.08.029](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.029)
33. Manjula, S., Subramanian, R. (2006). Membrane Technology in Degumming, Dewaxing, Deacidifying, and Decolorizing Edible Oils. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(7), 569-92. doi: [10.1080/10408390500357746](https://doi.org/10.1080/10408390500357746)
34. Abdellah, M. H., Scholes, C. A., Liu, L., Kentish, S. E. (2020). Efficient degumming of crude canola oil using ultrafiltration membranes and bio derived solvents. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 59, 102274. doi: [10.1016/j.ifset.2019.102274](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102274)
35. Sehn, G., Gonçalves, L., Ming C. (2016). Ultrafiltration – based degumming of crude rice bran oil using a polymer membrane. *Grasas y Aceites*, 67(1), 1-8. doi: [10.3989/gya.0498151](https://doi.org/10.3989/gya.0498151)
36. Razi, F., Fathanah, U., & Erfiza, N. M. (2019). Fabrikasi Membran PES Ultrafiltrasi Dan Kinerjanya Pada Penyisihan Fosfolipid Minyak CPO. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 14(1), 89-96. doi: [doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13091](https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.13091)
37. Aissou M., & Chemat F. (2017). Limonene as an agro -chemical building block for the synthesis and extraction of bioactive compounds. *Comptes Rendus Chimie*, 20(4), 346-58.
38. Adhami, K., Asadollahzadeh, H., Ghazizadeh, M. (2019). A novel process for simultaneous degumming and deacidification of Soybean, Canola and Sunflower oils by tetrabutylphosphonium phosphate ionic liquid. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 245-50. doi: [10.1016/j.jiec.2019.03.048](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.048)
39. Greyt, W. (2020). *Deodorization*. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 1–44. doi: [10.1002/047167849x.bio027.pub2](https://doi.org/10.1002/047167849x.bio027.pub2)

40. Commission Regulation (EU) 2018/290 of 26 February 2018 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of glycidyl fatty acid esters in vegetable oils and fats, infant formula, follow-on formula and foods for special medical purposes intended for infants and young children (Text with EEA relevance). *OJL*.2018. Vol. 55. P. 27–29. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L:2018:055:TOC>

41. Arienzo, M., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., Ferrara, L., Stanislao, C., Donadio, C., & Carella, F. (2019). Contaminants bioaccumulation and pathological assessment in *Mytilus galloprovincialis* in coastal waters facing the brownfield site of Bagnoli, Italy. *Marine pollution bulletin*, 140, 341-352. doi. org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.064

42. Commission Regulation (EU) No 1259/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union*, 320, 18-23.

43. Matthäus, B., & Pudel, F. Mitigation of 3-MCPD and glycidyl esters within the production chain of vegetable oils especially palm oil. *Lipid Technology*. 2013. № 25(7). P. 151-155. <https://doi.org/10.1002/lite.201300288>

44. Venegas, R. M., Oliver, T., Liu, G., Heron, S. F., Clark, S. J., Pomeroy, N., ... & Brainard, R. E. (2019). The rarity of depth refugia from coral bleaching heat stress in the western and central Pacific Islands. *Scientific reports*, 9(1), 19710. [doi.org/10.7717/peerj.7473](https://doi.org/10.7717/peerj.7473)

45. Aksoz, E., Korkut, O., Aksit, D., & Gokbulut, C. (2020). Vitamin E ( $\alpha$ -,  $\beta$  +  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol) levels in plant oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 35(5), 504–510. doi:10.1002/ffj.3585.

46. Azzi, A. (2019). Tocopherols, tocotrienols and tocomonoenols: Many similar molecules but only one vitamin E. *Redox biology*, 26, 101259. doi.org/10.1016/j.redox.2019.101259

47. Atta, N.M.M., Al-Okaby, M.F. (2022) Study to Solve the Problem of Color Reversion in Refined Soybean Oil. *Food and Nutrition Sciences*, 13, 224-237. <https://doi.org/10.4236/fns.2022.133019>

48. Liu, K. Y., Nakatsu, C. H., Jones-Hall, Y., Kozik, A., & Jiang, Q. (2021). Vitamin E alpha-and gamma-tocopherol mitigate colitis, protect intestinal barrier function and modulate the gut microbiota in mice. *Free Radical Biology and Medicine*, *163*, 180-189. doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.12.017
49. Wu, Y., & He, R. (2019). The effect of refining process on the physicochemical properties and micronutrients of rapeseed oils. *PLoS one*, *14*(3), e0212879. doi.org/10.1371/journal.pone.0212879
50. Ras, R. T. et al. (2014). LDL-cholesterol-lowering effect of plant sterols and stanols across different dose ranges: A meta-analysis of randomised controlled studies. *British Journal of Nutrition*, 2014/04/30. Cambridge University Press, *112*(2), 214–219. doi: 10.1017/S0007114514000750
51. Dikshit, S., Bubna, S., Gupta, A., & Kumar, P. (2019). *Advances in various techniques for isolation and purification of sterols*. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-04209-3
52. Verleyen, T., Forcades, M., Verhé, R. et al. (2002). Analysis of free and esterified sterols in vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, *79*, 117–122. doi: 10.1007/s11746-002-0444-3.
53. Wu, Ying, Zhou, Runsong, Wang, Zhigao, & Fu, Jinxia. (2019). The effect of refining process on the physicochemical properties and micronutrients of rapeseed oils. *PLOS ONE*, *14*(3), e0212879–. doi:10.1371/journal.pone.0212879
54. EC Communication (2019). Trans Fats in Foods. A New Regulation for EU Consumers: fact sheet. [https://food.ec.europa.eu/safety/labelling-and-nutrition/trans-fat-food\\_en](https://food.ec.europa.eu/safety/labelling-and-nutrition/trans-fat-food_en)
55. León-Camacho, M., Ruiz-Mendéz, M.V., Graciani-Constante, M., and Graciani-Constante, E. (2001). Formation of stigmasta-3,5-diene in olive oil during deodorization and/or physical refining using nitrogen as stripping gas. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* *103*: 85–92. DOI:10.3989/gya.2004.v55.i3.170
56. Dijkstra, A. J., & Segers, J. C. (2007). Production and refining of oils and fats. *The lipid handbook*, 143-262.

57. Reddy, B. S. (2020). Dietary lipids and colon cancer. *Handbook of Lipids in human nutrition*, 129-134.
58. Shier, W. T. (Ed.). (2020). *Handbook of toxinology*. CRC Press.
59. Eisenreich, A., Monien, B. H., Götz, M. E., Buhrke, T., Oberemm, A., Schultrich, K., ... & Schäfer, B. (2022). 3-MCPD as contaminant in processed foods: state of knowledge and remaining challenges. *Food Chemistry*, 134332. [doi. 10.1016/j.foodchem.2022.134332](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134332)
60. Jędrkiewicz R., Kupka M., Głowacz A., Gromadzka J., Namieśnik J. (2016). MCPD: A Worldwide Problem of Food Chemistry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2268-2277. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134332
61. Zelinková Z, Svejková B, Velíšek J and Doležal M, 2006. Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils. *Food Additives and Contaminants*, Vol.23, P. 1290–1298. doi: [10.1080/02652030600887628](https://doi.org/10.1080/02652030600887628)
62. EFSA. (2016). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Journal*, 14(5). doi: 10.2903/j.efsa.2016.4426
63. Ermacora, A, Hrcirik, K. (2014). Influence of oil composition on the formation of fatty acid esters of 2-chloropropane-1,3-diol (2-MCPD) and 3-chloropropane-1,2-diol (3-MCPD) under conditions simulating oil refining. *Food Chemistry*, 161, 383–389. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.03.130
64. Chloroesters in foods: An emerging issue [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aocs.org/stay-informed/inform-magazine/featured-articles/chloroesters-in-foods-an-emerging-issue-april-2009?SSO=True>.
65. Karšulínová L. Folprechtová B., Doležal M., Dostálová J. (2007). Analysis of the lipid fractions of coffee creamers, cream aerosols, and bouillon cubes for their health risk associated constituents. *Czech Journal of Food Sciences*, 25(5), 257–264. doi: [10.17221/679-CJFS](https://doi.org/10.17221/679-CJFS)
66. Weißhaar R. (2011). Fatty acid esters of 3-MCPD: Overview of occurrence and exposure estimates. *Eur J Lipid Sci Technol*, 113(3), 304–308. doi:

[10.1002/ejlt.201000312](https://doi.org/10.1002/ejlt.201000312)

67. Yan, J, Oeya, SB, van Leeuwena, SP. (2018). Discrimination of processing grades of olive oil and other vegetable oils by monochloropropanediol esters and glycidyl esters. *Food Chemistry*, 248, 93-100. doi: [10.1016/j.foodchem.2017.12.025](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.025)

68. MacMahon, S, Begley, TH, & Diachenko, GW. (2013). Occurrence of 3-MCPD and glycidyl esters in edible oils in the United States. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(12), 2081-2092. doi:[10.1080/19440049.2013.840805](https://doi.org/10.1080/19440049.2013.840805)

69. Li, C. (2015). Exposure assessment of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters from edible oils and fats in China. *Food and Chemical Toxicology*, 75, 8-13. doi: [10.1016/j.fct.2014.10.003](https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.10.003)

70. Jędrkiewicz, R, Głowacz, A, Gromadzka, J, Namieśnik, J. (2016). Determination of 3-MCPD and 2-MCPD esters in edible oils, fish oils and lipid fractions of margarines available on Polish market. *Food Control*, 59, 487-492. doi: [10.1016/j.foodcont.2015.05.039](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.039)

71. Almoselhy, RIM, Eid, MM, Abd El-Baset, WS, & Aboelhassan, AFA. (2021). Determination of 3-MCPD in some edible oils using GC-MS/MS. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(3), 1639-1652. doi:[10.21608/EJCHEM.2021.64084.3373](https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.64084.3373)

72. Seefelder W. (2008). Esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) in vegetable oils: significance in the formation of 3-MCPD. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 25(4), 391–400. doi:[10.1080/02652030701385241](https://doi.org/10.1080/02652030701385241)

73. Kuhlmann, J. (2016). Analysis and occurrence of dichloropropanol fatty acid esters and related process-induced contaminants in edible oils and fats. *Eur J Lipid Sci Technol*, 118(3), 382-395. doi: [10.1002/ejlt.201400518](https://doi.org/10.1002/ejlt.201400518)

74. Kuhlmann, J. (2011). Determination of bound 2,3-epoxy-1- propanol (glycidol) and bound monochloropropanediol (MCPD) in refined oils. *Eur J Lipid Sci Technol*, 113, 335-344. doi: [10.1002/ejlt.201000313](https://doi.org/10.1002/ejlt.201000313)

75. Weißhaar, R, Perz, R. (2010). Fatty acid esters of glycidol in refined fats and oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(2), 158-165. doi: [10.1002/ejlt.200900137](https://doi.org/10.1002/ejlt.200900137)

76. Yamazaki, K. (2013). A new, direct analytical method using LC-MS/MS for fatty acid esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD esters) in edible oils. *Food Additives and Contaminants – Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(1), 52–68. doi: [10.1080/19440049.2012.713031](https://doi.org/10.1080/19440049.2012.713031)
77. Granvogl, M., & Schieberle, P. (2011, November). Development of direct quantification method of glycidyl esters in edible fats and oils via stable isotope dilution analysis. In *final conference of the FEI project* (Vol. 21).
78. Li, C., Li, L., Jia, H., Wang, Y., Shen, M., Nie, S., & Xie, M. (2016). Formation and reduction of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters in peanut oil during physical refining. *Food Chemistry*, 199, 605-611. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.12.015
79. Cichelli, A., Riciputi, Y., Cerretani, L., Caboni, M. F., d' Alessandro N. (2020). Glycidols Esters, 2-Chloropropane-1,3-Diols, and 3-Chloropropane-1,2-Diols Contents in Real Olive Oil Samples and their Relation with Diacylglycerols. *J Am Oil Chem Soc*, 97(1), 15-23. doi: [10.1002/aocs.12302](https://doi.org/10.1002/aocs.12302)
80. Yan, J, Oeya, SB., van Leeuwena SPJ. (2018). Discrimination of processing grades of olive oil and other vegetable oils by monochloropropanediol esters and glycidyl esters. *Food Chemistry*, 248, 93–100. doi: [10.1016/j.foodchem.2017.12.025](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.025)
81. Jędrkiewicz, R., Głowacz, A., Gromadzka, J., & Namieśnik, J. (2016). Determination of 3-MCPD and 2-MCPD esters in edible oils, fish oils and lipid fractions of margarines available on Polish market. *Food Control*, 59, 487-492. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.05.039
82. Pudiel, F., Benecke, P., Fehling, P., Freudenstein, A., Matthäus, B., & Schwaf, A. (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 368– 373. doi: [10.1002/ejlt.201000460](https://doi.org/10.1002/ejlt.201000460)
83. Freudenstein, A, Weking, J, & Matthäus, B. (2013). Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorization conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(3), 286–294. doi: [10.1002/ejlt.201200226](https://doi.org/10.1002/ejlt.201200226)

84. Ramli, M. R., Siew, W. L., Ibrahim, N. A., Hussein, R., Kuntom, A., Abd. Razak, R. A., & Nesaretnam, K. (2012). Effects of degumming and bleaching on 3-MCPD esters formation during physical refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(11), 1839–1844. [doi: 10.1007/s11746-011-1858-0](https://doi.org/10.1007/s11746-011-1858-0)

85. Sim, B. I., Khor, Y. P., Lai, O. M., Yeoh, C. B., Wang, Y., Liu, Y., ... & Tan, C. P. (2020). Mitigation of 3-MCPD esters and glycidyl esters during the physical refining process of palm oil by micro and macro laboratory scale refining. *Food chemistry*, 328, 127147. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127147

86. heng, W., Liu, G., Wang, L., & Liu, Z. (2017). Glycidyl fatty acid esters in refined edible oils: A review on formation, occurrence, analysis, and elimination methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 263– 281. [doi: 10.1111/1541-4337.12251](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12251)

87. Sun, C., Wu, N., Kou, S., Wu, H., Liu, Y., Pei, A., & Li, Q. (2023). Occurrence, formation mechanism, detection methods, and removal approaches for chloropropanols and their esters in food: An updated systematic review. *Food Chemistry: X*, 17 doi:10.1016/j.fochx.2022.100529

88. Demydova, A., & Nosenko, T. (2021). Influence of fat refining stages on the content of mcpd-esters and glycidyl esters in deodorated oils and methods of reducing their concentration. DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-3-15

89. Zhang, H., Jin, P., Zhang, M., Cheong, L., Hu, P., Zhao, Y., ... Xu, X. (2016). Mitigation of 3-monochloro-1,2-propanediol ester formation by radical scavengers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(29), 5887– 5892. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02016>

90. Wong, Y. H., Goh, K. M., Nyam, K. L., Nehdi, I. A., Sbihi, H. M., & Tan, C. P. (2018). Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in 3-MCPD esters and glycidyl ester in palm olein during deep-fat frying. *Food Control*. doi:10.1016/j.foodcont.2018.10.006

91. Budilarto, E. S., & Kamal-Eldin, A. (2015). The supramolecular chemistry of lipid oxidation and antioxidation in bulk oils. *Eur J Lipid Sci Technol*, 117(8), 1095- 1137.

doi: 10.1002/ejlt.201400200

92. Parveez, G. K. A., Hishamuddin, E., Loh, S. K., Ong-Abdullah, M., Salleh, K. M., Bidin, M. N. I. Z., ... & Idris, Z. (2020). Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2019. *Journal of Oil Palm Research*, 32(2), 159-190. <http://jopr.mpob.gov.my/wp-content/uploads/2020/06/JOPR-Vol-322-June-2020-1-1.pdf>

93. Golfinopoulos, S.K., Lekkas, T.D. and Nikolaou, A.D. (2000) Comparison of Methods for Determination of Volatile Organic Compounds in Drinking Water. *Chemosphere*, 41, 1149-1154 doi:[10.1016/s0045-6535\(00\)00553-1](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(00)00553-1)

94. Jeleń, H. H., Majcher, M., & Dziadas, M. (2012). Microextraction techniques in the analysis of food flavor compounds: A review. *Analytica Chimica Acta*, 738, 13–26. doi:10.1016/j.aca.2012.06.006

95. Fortini, M., Migliorini, M., Cherubini, C., Cecchi, L., & Calamai, L. (2017). Multiple internal standard normalization for improving HS-SPME-GC-MS quantitation in virgin olive oil volatile organic compounds (VOO-VOCs) profile. *Talanta*, 165, 641–652. doi:10.1016/j.talanta.2016.12.082

96. Jeleń, H. H., Obuchowska, M., Zawirska-Wojtasiak, R., & Wąsowicz, E. (2000). Headspace Solid-Phase Microextraction Use for the Characterization of Volatile Compounds in Vegetable Oils of Different Sensory Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2360–2367. doi:10.1021/jf991095v

97. Volatile Compounds in Food <https://www.vcf-online.nl/VcfHome.cfm>

98. Xu, L., Yu, X., Li, M., Chen, J., & Wang, X. (2017). Monitoring oxidative stability and changes in key volatile compounds in edible oils during ambient storage through HS-SPME/GC–MS. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S2926–S2938. doi:10.1080/10942912.2017.1382510

99. Laska, M., & Ringh, A. (2010). How big is the gap between olfactory detection and recognition of aliphatic aldehydes?. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 806-812. doi:10.3758/APP.72.3.806

100. Liu, Y., Li, J., Cheng, Y., & Liu, Y. (2019). Effect of frying oils' fatty acid profile on quality, free radical and volatiles over deep-frying process: A comparative study using

chemometrics. *Lwt*, *101*, 331-341. doi:10.1016/j.lwt.2018.11.033

101. Ozcan-Sinir, G. (2020). Detection of adulteration in extra virgin olive oil by selected ion flow tube mass spectrometry (SIFT-MS) and chemometrics. *Food Control*, *107*, 107433. doi:10.1016/j.foodcont.2020.107433

102. Scortichini, S., Boarelli, M. C., Castello, M., Chiavarini, F., Gabrielli, S., Marcantoni, E., & Fiorini, D. (2020). Development and application of a solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry method for analysing volatile organic compounds produced during cooking. *Journal of Mass Spectrometry*, *e4534*. doi:10.1002/jms.4534

103. Molina-Garcia, L., Santos, C. S. P., Cunha, S. C., Casal, S., & Fernandes, J. O. (2017). Comparative fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *94*(2), 271-284. doi:[10.1007/s11746-016-2943-1](https://doi.org/10.1007/s11746-016-2943-1)

104. Domínguez, R., Gómez, M., Fonseca, S., & Lorenzo, J. M. (2014). Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat. *LWT-Food Science and Technology*, *58*(2), 439-445. doi:10.1016/j.lwt.2014.04.006

105. Goicoechea, E., & Guillén, M. D. (2014). Volatile compounds generated in corn oil stored at room temperature. Presence of toxic compounds. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *116*(4), 395-406. doi:[10.1002/ejlt.201300244](https://doi.org/10.1002/ejlt.201300244)

106. Wu, N., Fu, X., Zhuang, K., Wu, X., & Wang, X. (2019). Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition and odor profile of hepatopancreas and gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Journal of food biochemistry*, *43*(10), e12646. doi:[10.1111/jfbc.12646](https://doi.org/10.1111/jfbc.12646)

107. Fournier, V., Destailats, F., Lambelet, P., Dionisi, F., Sebedio, J.L. & Berdeaux, O. (2007). Degradation products formed from long-chain PUFA during deodorization of fish oil. *Lipid Technology*, *19*, 9–11 doi:[10.1002/lite.200600003](https://doi.org/10.1002/lite.200600003)

108. Fang, Y., Gu, S., Zhang, J., Liu, S., Ding, Y., & Liu, J. (2017). Deodorisation of fish oil by nanofiltration membrane process: focus on volatile flavour compounds and

fatty acids composition. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(3), 692–699. doi:10.1111/ijfs.13644.

109. Song, G., Zhang, M., Peng, X., Yu, X., Dai, Z., & Shen, Q. (2018). Effect of deodorization method on the chemical and nutritional properties of fish oil during refining. *LWT*, 96, 560–567. doi:10.1016/j.lwt.2018.06.004

110. Song, G., Dai, Z., Shen, Q., Peng, X., & Zhang, M. (2018). Analysis of the changes in volatile compound and fatty acid profiles of fish oil in chemical refining process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(2), 1700219. doi:10.1002/ejlt.201700219

111. Song, G., Dai, Z., Shen, Q., Peng, X., & Zhang, M. (2017). Analysis of the Changes in Volatile Compound and Fatty Acid Profiles of Fish Oil in Chemical Refining Process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(2), 1700219. doi:10.1002/ejlt.201700219

112. Rubio-Rodríguez, N., De Diego, S. M., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, M. T., & Rovira, J. (2012). Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 238-248. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.011

113. Song, G., Dai, Z., Shen, Q., Peng, X., & Zhang, M. (2018). Analysis of the changes in volatile compound and fatty acid profiles of fish oil in chemical refining process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(2), 1700219. doi: [10.1002/ejlt.201700219](https://doi.org/10.1002/ejlt.201700219)

114. Ouellette, R. J., & Rawn, J. D. (2018). *Organic chemistry: structure, mechanism, synthesis*. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-800780-8.00019-X

115. Capeletti, M. R., Balzano, L., de la Puente, G., Laborde, M., & Sedran, U. (2000). Synthesis of acetal (1,1-diethoxyethane) from ethanol and acetaldehyde over acidic catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 198(1-2), L1–L4. doi:10.1016/s0926-860x(99)00502-5

116. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Frutos, M. J., ... & Dusemund,

B. (2017). Re-evaluation of lecithins (E 322) as a food additive. *EFSA Journal*, *15*(4), e04742. doi: [10.2903/j.efsa.2017.4742](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4742)

117. List, G. R. (2015). Soybean lecithin: Food, industrial uses, and other applications. *Polar lipids*, 1-33.

118. Szuhaj, B. F., Yeo, J., & Shahidi, F. (2020). *Lecithins. Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 1 -86. doi:10.1002/047167849x.bio011.pub2

119. van Nieuwenhuyzen, W., & Tomás, M. C. (2008). Update on vegetable lecithin and phospholipid technologies. *European journal of lipid science and technology*, *110*(5), 472-486. doi: [10.1002/ejlt.200800041](https://doi.org/10.1002/ejlt.200800041)

120. Robert, C., Couëdelo, L., Vaysse, C., & Michalski, M. C. (2020). Vegetable lecithins: A review of their compositional diversity, impact on lipid metabolism and potential in cardiometabolic disease prevention. *Biochimie*, *169*, 121-132. doi: 10.1016/j.biochi.2019.11.017

121. Rigolle, A., Gheysen, L., Depypere, F., Landuyt, A., Van Den Abeele, K., & Foubert, I. (2015). Lecithin influences cocoa butter crystallization depending on concentration and matrix. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *117*(11), 1722-1732. doi: [10.1002/ejlt.201400555](https://doi.org/10.1002/ejlt.201400555)

122. Krüger, S., Bürmann, L., & Morlock, G. E. (2015). Comparison and characterization of soybean and sunflower lecithins used for chocolate production by high-performance thin-layer chromatography with fluorescence detection and electrospray mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, *63*(11), 2893-2901. doi: [10.1021/jf506332f](https://doi.org/10.1021/jf506332f)

123. Szuhaj, B. F., Yeo, J., & Shahidi, F. (2005). Lecithins. *Bailey's industrial oil and fat products*, 1-86. DOI: 10.1002/047167849X.bio011.pub2

124. Lambourne, D., Covey, G. H., Chai, E., & Dunstan, D. (1999). *Lecithin gum rheology and processing implications. Journal of the American Oil Chemists' Society*, *76*(1), 67–72. doi:10.1007/s11746-999-0049-8

125. Kim, H., Ho, C.-T., & Chang, S. S. (1984). Isolation and identification of

volatile flavor compounds in commercial oil-free soybean lecithin. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(7), 1235–1238. doi:10.1007/bf02636260

126. Soontornchatchawate, A., Chintanalert, S., Kitchaiya, P., & Namkanisorn, A. (2022). Scrubbed palm fatty acid distillate as vitamin E concentrate. *Journal of Oleo Science*, 71(1), 51-55. doi:10.5650/JOS.ESS21169

127. Aslam, A., & Schroën, K. (2023). Lipid oxidation in food emulsions: A review dedicated to the role of the interfacial area. *Current Opinion in Food Science*, 51 doi:10.1016/j.cofs.2023.101009

128. Coughlan, R., Kilcawley, K., Skibinska, I., Moane, S., & Larkin, T. (2023). Analysis of volatile organic compounds in irish rapeseed oils. *Current Research in Food Science*, 6 doi:10.1016/j.crfs.2022.100417

129. Mohammadi, A., Jafari, S. M., Esfanjani, A. F., & Akhavan, S. (2016). Application of nanoencapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food Chemistry*, 190, 513–519. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.115>

130. Wang, Y., Cao, X., Shi, J., Li, X., Liu, Y., & Xu, Y. -. (2023). Tracking the dynamics of epoxy triglycerides during thermal oxidation by liquid chromatography-mass spectrometry. *Food Control*, 146 doi:10.1016/j.foodcont.2022.109523

131. Pohl, F., Lin, P.K.T. (2018). The potential use of plant natural products and plant extracts with antioxidant properties for the prevention/treatment of neurodegenerative diseases: In vitro, in vivo and clinical trials. *Molecules*. 23 (12), 3283. doi:10.3390/molecules23123283

132. Ling, T. (2015). Oxidation of polyunsaturated fatty acids and its impact on food quality and human health. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences*, 1(6), 135–142. doi:[10.17140/AFTN-SOJ-1-123](https://doi.org/10.17140/AFTN-SOJ-1-123)).

133. Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A., & Jahangir, M. (2016). Oxidation of lipids in foods. *Sarhad Journal of Agriculture*. doi:10.17582/journal.sja/2016.32.3.230.238.

134. Sharma, S., Cheng, S.-F., Bhattacharya, B., & Chakkaravarthi, S.

(2019). Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nanoemulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.030

135. Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(4), 169-186. doi: [10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x](https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x).

136. Baştürk, A., Ceylan, M. M., Çavuş, M., Boran, G., & Javidipour, I. (2018). Effects of some herbal extracts on oxidative stability of corn oil under accelerated oxidation conditions in comparison with some commonly used antioxidants. *LWT*, 89, 358–364. doi:10.1016/j.lwt.2017.11.005

137. Mohammadi, A., Jafari, S. M., Esfanjani, A. F., & Akhavan, S. (2016). Application of nanoencapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food Chemistry*, 190, 513–519. doi:[10.1016/j.foodchem.2015.05.115](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.115)

138. Perumalla Venkata, R., & Subramanyam, R. (2016). Evaluation of the deleterious health effects of consumption of repeatedly heated vegetable oil. *Toxicology Reports*, 3, 636–643. doi:[10.1016/j.toxrep.2016.08.003](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.08.003).

139. Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2014). Effect of antioxidants supplementation on aging and longevity. *BioMed research international* doi:10.1155/2014/404680 404680

140. Vaiserman, A., Koliada, A., Zayachkivska, A., Lushchak, O. (2020). Nanodelivery of natural antioxidants: an anti-aging perspective. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7, 447. doi:10.3389/fbioe.2019.00447.

141. Park, C., Yeo, H., Baskar, T., Park, Y., Park, J., Lee, S., & Park, S. (2019). In Vitro Antioxidant and Antimicrobial Properties of Flower, Leaf, and Stem Extracts of Korean Mint. *Antioxidants*, 8(3), 75. doi:10.3390/antiox8030075

142. Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(4), 169-186. doi:10.1111/j.

143. Lü, J. M., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2010). Chemical and molecular

mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. *Journal of cellular and molecular medicine*, 14(4), 840-860. doi:[10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x](https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x)

144. Cui, X., Lin, Q., Liang, Y. (2020). Plant-derived antioxidants protect the nervous system from aging by inhibiting oxidative stress. *Front. Aging Neurosci.* 12, 209. doi:10.3389/fnagi.2020.00209.

145. Emanuel, N. M., & Lyaskovskaya, Y. N. (1961). Inhibition of fat oxidation processes. Moscow: Pishchepromizdat, 361 p.

146. Perevozkina, M. G. (2014). Testing the antioxidant activity of polyfunctional compounds by kinetic methods.

147 Zafar, F., Asif, H. M., Shaheen, G., Ghauri, A. O., Rajpoot, S. R., Tasleem, M. W., . . . Nazar, H. (2023). A comprehensive review on medicinal plants possessing antioxidant potential. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 50(3), 205-217. doi:10.1111/1440-1681.13743

[148.](#) Šojić, B., Milošević, S., Savanović, D., Zeković, Z., Tomović, V., & Pavlić, B. (2023). Isolation, bioactive potential, and application of essential oils and terpenoid-rich extracts as effective antioxidant and antimicrobial agents in meat and meat products. *Molecules*, 28(5) doi:10.3390/molecules28052293

149. Varghese, S. M., Parisi, S., Singla, R. K., & Begum, A. A. (2022). Food Safety and Quality Control in Food Industry. *Trends in Food Chemistry, Nutrition and Technology in Indian Sub-Continent*, 31-44. doi:

150. Sundar, S. K., & Parikh, J. K. (2023). Advances and trends in encapsulation of essential oils. *International Journal of Pharmaceutics*, 635, 122668. doi:10.1016/j.ijpharm.2023.122668

151. Robledo, S. N., Tesio, A. Y., Ceballos, C. D., Zon, M. A., & Fernández, H. (2014). Electrochemical ultra-micro sensors for the determination of synthetic and natural antioxidants in edible vegetable oils. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 192, 467–473. doi:[10.1016/j.snb.2013.11.023](https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.11.023)

152. Taghvaei, M., & Jafari, S. M. (2015). Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. *Journal of Food Science*

& Technology. doi:10.1007/s13197-013-1080-1.

153. Shasha, D., Magogo, C., & Dzomba, P. (2014). Reversed phase HPLC-UV quantitation of BHA, BHT and TBHQ in food items sold in bindura supermarkets, Zimbabwe. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(5), 578–584. doi: 10.9734/IRJPAC/2014/10419

154. Aladedunye, F. A. (2014). Natural antioxidants as stabilizers of frying oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 688–706. doi:10.1002/ejlt.201300267.

155. Rakmai, J., Cheirsilp, B., Mejuto, J. C., Simal-Gándara, J., & Torrado-Agrasar, A. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of encapsulated guava leaf oil in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin. *Industrial Crops and Products*, 111, 219–225. doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.027

156. Bodoira, R. M., Penci, M. C., Ribotta, P. D., & Martínez, M. L. (2017). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. *Food Science and Technology*, 75, 107–113. doi:10.1016/j.lwt.2016.08.031

157. Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., Bøhn, S. K., Dragland, S., Sampson, L., ... & Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition journal*, 9(1), 1-11. doi:[10.1186/1475-2891-9-3](https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-3)

158. Pateiro, M., Gómez-Salazar, J. A., Jaime-Patlán, M., Sosa-Morales, M. E., & Lorenzo, J. M. (2021). Plant Extracts Obtained with Green Solvents as Natural Antioxidants in Fresh Meat Products. *Antioxidants*, 10(2), 181. doi:10.3390/antiox10020181

159. Putnik, P., Lorenzo, J., Barba, F., Roohinejad, S., Jambrak, A.R., Granato, D., Montesano, D., & Kovačević, D.B. (2018). Novel food processing and extraction technologies of high-added value compounds from plant materials. *Foods*, 7, 106. doi:10.3390/foods7070106

160. Skrypnik, L.N., Kislyakova, L.A., Maslennikov, P.V., & Feduraev. (2021). Accumulation of phenolic antioxidants in flowers and fruits of guelder rose (*Viburnum*

opulus L.) depending on site conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677, 042042. doi:10.1088/1755-1315/677/4/042042

161. Polka, D., Podsędek, A., & Koziołkiewicz, M. (2019). Comparison of Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Fruit, Flower and Bark of *Viburnum opulus*. *Plant Foods for Human Nutrition*. doi:10.1007/s11130-019-00759-1

162. Palmieri, S., Pellegrini, M., Ricci, A., Compagnone, D., & Lo Sterzo, C. (2020). Chemical Composition and Antioxidant Activity of Thyme, Hemp and Coriander Extracts: A Comparison Study of Maceration, Soxhlet. *UAE and RSLDE Techniques. Foods*, 9(9), 1221. doi:10.3390/foods9091221

163. Chernukha, I., Fedulova, L., Vasilevskaya, E., Kulikovskii, A., Kupaeva, N., & Kotenkova, E. (2021). Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2877–2885. doi:10.1016/j.sjbs.2021.02.020

164. Wang, Y. Z., Fu, S. G., Wang, S. Y., Yang, D. J., Wu, Y. H. S., & Chen, Y. C. (2018). Effects of a natural antioxidant, polyphenol-rich rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, on lipid stability of plant-derived omega-3 fatty-acid rich oil, *LWT*, 89, 210-216. doi:10.1016/j.lwt.2017.10.055

165. Smetanska, I., Helfert, J., Appeltauer-Brandl, U., Voytsekhivskiy, V. (2016). Antioxidant activity of apple peels. *Mechanics and technology*, 2 (52), 61-65. doi:[10.1021/jf020782a](https://doi.org/10.1021/jf020782a)

166. Robles-Ramírez, M.D. C., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R., & Beltrán-Orozco, M. D. C. (2016). Evaluation of extracts from potato and tomato wastes as natural antioxidant additives. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 66, 066-073.

167. Belwal, T., Ezzat, S.M., & Das, G. (2018). A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *Trends Anal. Chem*, 100, 82-102. doi:[10.1016/j.trac.2017.12.018](https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.018)

168. Naviglio, D., Scarano, P., Ciaravolo, M., Gallo, M. (2019). Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A powerful and greener alternative to the latest solid-liquid extraction techniques. *Foods*, 8(7), 245. doi: [10.3390/foods8070245](https://doi.org/10.3390/foods8070245)

169. Russo, D., Faraone, I., Labanca, F., Sinisgalli, C., Bartolo, M., Andrade, P. B., & Milella, L. (2019). Comparison of different green-extraction techniques and determination of the phytochemical profile and antioxidant activity of *Echinacea angustifolia* L. extracts. *Phytochemical Analysis*, 30(5), 547-555. doi:10.1002/pca.2847
170. Vidana Gamage, G. C., & Choo, W. S. (2023). Hot water extraction, ultrasound, microwave and pectinase-assisted extraction of anthocyanins from blue pea flower. *Food Chemistry Advances*, 100209. doi:10.1016/j.focha.2023.100209
171. Cao, H., Huang, Q., Shi, J., Guan, X., Song, H., Zhang, Y., & Fang, Y. (2023). Effect of conventional and microwave heating treatment on antioxidant activity of quinoa protein after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 415 doi:10.1016/j.foodchem.2023.135763.
172. Saini, A., Panesar, P. S., & Bera, M. B. (2019). Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1). doi:10.1186/s40643-019-0261-9.
173. Choi, Y.H., Verpoorte, R. (2019). Green solvents for the extraction of bioactive compounds from natural products using ionic liquids and deep eutectic solvents. *Curr. Opin. Food Sci*, 26, 87–93 doi: 10.1016/j.cofs.2019.04.003
174. Gallo, M., Vitulano, M., ..., Naviglio, D. (2017). Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE): A new rapid and greener method for extracting two steviol glycosides (Stevioside and Rebaudioside A) from stevia leaves. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 72(2), 141–148. doi: 10.1007/s11130-017-0598-1.
175. Meini, M.-R., Cabezudo, I., Boschetti, C. E., & Romanini, D. (2019). Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chemistry*, 283, 257-264. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.03
176. Ravasi, P., Braia, M., Eberhardt, F., Elena, C., Cerminati, S., Peirú, S., ... & Menzella, H. G. (2015). High-level production of *Bacillus cereus* phospholipase C in *Corynebacterium glutamicum*. *Journal of Biotechnology*, 216, 142-148.

doi:10.1016/j.jbiotec.2015.10.018.

177. Arutyunyan N.S. (1986). *Phospholipids of vegetable oils: composition, structure, properties, application and production*.
178. Bredan M.I.V., Carelli A.A, Crapiste G.H. (2000). Changes in composition and quality of sunflower oils during extraction and degumming. *Grasas Aceites*, 51(6), 417-423. doi:10.3989/gya.2000.v51.i6.460
179. Li, P., Yang, X., Lee, W. J., Huang, F., Wang, Y., & Li, Y. (2020). Comparison between synthetic and rosemary-based antioxidants for the deep frying of French fries in refined soybean oils evaluated by chemical and non-destructive rapid methods. *Food Chemistry*, 127638. doi:10.1016/j.foodchem.2020.12763
180. Dumitru, M. G. (2019). Degumming Role of Sunflower Oil (*Helianthus annuus*) on Biodiesel Quality. *Rev. Chim*, 70(1).
181. Njus, D., Kelley, P. M., Tu, Y. J., & Schlegel, H. B. (2020). Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties. *Free Radical Biology and Medicine*, 159, 37-43. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2020.07.013
182. Demidov, I. N., & Gusak, V. A. (2008). Destruction of sunflower oil hydroperoxides.
183. Dijkstra, A. J. (2016). Questions begging for answers (Part I) - Water degumming. *Lipid Technology*, 28(10-11), 165–167. doi:10.1002/lite.201600043
184. Kulkarni V, Jain S, Khatri F. (2014). Degumming of pongamia pinnata by acid and water degumming methods. *Int J Chem Tech Res*, 6(8), 39693978.
185. G. Sengar, P. Kaushal, H. K. Sharma, e M. Kaur. (2014). Degumming of rice bran oil”, *Rev. Chem. Eng.*, vol. 30, n° 2, p. 183–198 doi:
186. K. A. Sampaio, N. Zyaykina, E. Uitterhaegen, W. De Greyt, e R. Verhé. (2019). Food Science and Technology Enzymatic degumming of corn oil using phospholipase C from a selected strain of *Pichia pastoris*. *LWT*, 107, 145–150. doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.003
187. Z. Ye et al. (2016). Optimization and comparison of water degumming and phospholipase C degumming for rapeseed oil Optimization and comparison of water

degumming and phospholipase. *CyTA - J. Food*, 14(4), 604–612 doi: [10.1080/19476337.2016.1182218](https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1182218)

188. Xia, Q., Ling, L., Ismail, M., Du, Y., He, W., Zhou, W., ... & Li, X. (2019). Paclitaxel encapsulated in artesunate-phospholipid liposomes for combinatorial delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 51, 372-382. doi:10.1016/j.jddst.2019.03.010

189. Deshpande, S., Wunnava, S., Hueting, D., & Dekker, C. (2019). Membrane tension-mediated growth of liposomes. *Small*, 15(38), 1902898. doi:10.1002/sml.201902898

190. Tamang, N., Shrestha, P., Khadka, B., Mondal, M. H., Saha, B., & Bhattarai, A. (2022). A review of biopolymers' utility as emulsion stabilizers. *Polymers*, 14(1) doi:10.3390/polym14010127

191. Taylor, D. R., Toro-Vazquez, J. F., & Charó-Alonso, M. A. (2020). Bleaching. *Wiley Online Library* doi:10.1002/047167849x.bio003.pub2

192. Пат. 142238 Україна, МПК (2020.01) С11В3/00. Спосіб одержання гідратованої рослинної олії та фосфатидного концентрату зниженої в'язкості / Демидова А. О. (Україна); заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № u201911230; заявл. 18.11.2019; опубл. 25.05.2020; Бюл. № 10.

193. Codex Alimentarius Commission. (2010). GSFA Online: Food Additive Details, Carrageenan. 2023-01-01]. <http://www.fao.org/gsfaonline/additives/details.html?id=279>

194. Zulkurnain, M., Lai, O. M., Latip, R. A., Nehdi, I. A., Ling, T. C., & Tan, C. P. (2012). The effects of physical refining on the formation of 3-monochloropropane-1, 2-diol esters in relation to palm oil minor components. *Food Chemistry*, 135(2), 799-805. doi:[10.1016/j.foodchem.2012.04.144](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.144)

195. Demydova, A., Gladkyj, F., Aksonova, O., Molchenko, S. (2021). A study of the influence of calcium acetate on the process of sunflower oil degumming. *Journal of Chemistry and Technologies*, 29(2), 301-311. (науково-метрична база: **SCOPUS, WEB**

OF SCIENCE) DOI: [10.15421/jchemtech.v29i2.217685](https://doi.org/10.15421/jchemtech.v29i2.217685).

196. Demydova, A., Levchuk, L., Aksonova, O., Molchenko, S., Demidov, I. (2021). Comparison of acid degumming methods and their influence on the formation of 3-MCPD-esters and glycidyl esters in sunflower oil deodorization. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 4, 50-57. (науково-метрична база: **Scopus**). DOI: [10.32434/0321-4095-2021-137-4-50-57](https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-137-4-50-57)

197. Demydova, A., Aksonova, O., Piven, O. (2020). Degumming of sunflower oil with degumming agents based on flour. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. ХДУХТ*, 2(32), 173-183 (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus), DOI: [10.5281/zenodo.4371110](https://doi.org/10.5281/zenodo.4371110).

198. Демидова, А.О., Гладкий, Ф.Ф., Березка, Т.О. (2021). Сучасні способи гідратування рослинних олій: аналітичний огляд. *Innov Biosyst Bioeng*, 5(2), 105–116. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus), DOI: [10.20535/ibb.2021.5.2.227359](https://doi.org/10.20535/ibb.2021.5.2.227359).

199. Демидова, А. А. (2019). Эффективные технологии гидратации. Материалы III Международной конференции [«Современные технологии соевой индустрии»], 20–23.

200. Verevskiy R. M. (2006). *Ukraine Patent No. 19758*. Kyiv, Ukraine. Kernel Capital.

201. Пат. 370718А США, А23J7/00. Fluidized lecithin composition and method / Paul F Davis (США); заявник та патентовласник Central Soya Co Inc (США). – US370718А; заявл. 27.05.64; опубл. 12.12.67. – 12 с

202. Zhongbing, L., Xuemei, S., ..., Zhirong, Z. (2019) Preparation and Characterization of the Biological Compound Effervescent Granule of Calcium Acetate. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 20(11), 934-944. doi:[10.2174/1389201020666190628144637](https://doi.org/10.2174/1389201020666190628144637)

203. Stacy Stravitz, Aimee Bucci, Allison Mruk. (2021). Evaluating the efficacy of calcium chloride versus calcium gluconate in ECMO initiation for neonates. *Journal of*

*Neonatal Nursing Available online.* doi:[10.1016/j.jnn.2021.07.004](https://doi.org/10.1016/j.jnn.2021.07.004)

204. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). (2012). Scientific Opinion on the safety and efficacy of acetic acid, sodium diacetate and calcium acetate as preservatives for feed for all animal species. *EFSA Journal*, 10(2), 2571. doi:[10.2903/j.efsa.2012.2571](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2571)

205. Yousefi, A. M. (2019). A review of calcium phosphate cements and acrylic bone cements as injectable materials for bone repair and implant fixation. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 17(4), 2280800019872594. doi:[10.1177/2280800019872594](https://doi.org/10.1177/2280800019872594)

206. Xie, M., & Dunford, N. T. (2019). *Fractionating of canola lecithin from acid degumming and its effect.* *Food Chemistry*, 300, 125217. doi:[10.1016/j.foodchem.2019.125217](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125217)

207. Маліцький, Ю. О., Кривогубченко, С. Г., & Іванов, Ю. Ю. (2019). *Методи оптимізації Нелдера-Міда та Кові* (Doctoral dissertation, ВНТУ).

208. Melis, S., & Delcour, J. A. (2020). Impact of wheat endogenous lipids on the quality of fresh bread: Key terms, concepts, and underlying mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3715-3754. doi: [10.1111/1541-4337.12616](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12616)

209. Менумеров Е.Р. (2009). Підвищення окисної стійкості СЦТС рослинної природи присадками з антиоксидантів. *Наукова періодика*, 1, 32-37.

210. Demydova, A., Yevlash, V., Aksonova, O., Priss, O. (2023). Study of ways to reduce the viscosity of sunflower lecithin. *Food science and technology*, 17(1), 4-11. DOI: [10.15673/fst.v17i1.2557](https://doi.org/10.15673/fst.v17i1.2557). (Web of Science).

211. Demidova, A., Nosenko, T., Shemanska E., Molchenko, S. (2019). Conditions for the obtaining of tocopherols from deodorizing distillates of sunflower oil. *Ukrainian Journal of Food Science*, 7 (2), 198–207 (Фахове видання, науково-метрична база: Index Copernicus). DOI: 10.24263/2310-1008-2019-7-2-4

212. Демидова, А.О., Гладкий, Ф.Ф., Шеманська, Є.І. (2021). Дослідження можливості дезодорування соняшникового лецитину. *Наукові праці Національного*

університету харчових технологій, 27(4), 199–208. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus). DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-4-20

213. Пат. 142239 МПК (2020.01) C07D311/72 Спосіб одержання концентрату токоферолів з соняшникового дезодораційного дистилляту. Демидова А.О., Чернобаєв Д.С.; заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № заявки u201911220 від 18.11.2019; опубл. 25.05.2020; Бюл. № 10.

214. Пат. 142238, МПК (2020.01) C11B3/00. Спосіб одержання гідратованої рослинної олії та фосфатидного концентрату зниженої в'язкості. Демидова А.О.; заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № заявки u201911230 від 18.11.2019; опубл. 25.05.2020; Бюл. № 10.

215. Демидова, А. А., & Сорочук, М. С. (2018). Получение концентрата токоферолов из побочного продукта дезодорации – дезодорационных погонов. *Масложировой комплекс*, (60), 36–40.

216. Демидова, А. А. (2018). Использование соевого фосфатидного концентрата в технических целях. *Масложировой комплекс*, (61), 37–40.

217. Демидова, А. О. (2017). Концентрування соняшникового гідратаційного осаду. *Інноваційні технології: актуальні питання науки та практики*, 1, 115–125.

218. Демидова, А. А. (2019). От фосфатидного концентрата к лецитину. Особенности технологий. Материалы III Международной конференции [«Современные технологии соевой индустрии»], 42–45.

219. M. Kaufhold, M. El-Chahawi. Pat. DE 44 04 515 A1 (1995), to Huls AG, Germany.

220. Leonard, N. M., Oswald, M. C., Freiberg, D. A., Nattier, B. A., Smith, R. C., & Mohan, R. S. (2002). A Simple and Versatile Method for the Synthesis of Acetals from Aldehydes and Ketones Using Bismuth Triflate. *The Journal of Organic Chemistry*, 67(15), 5202–5207. doi:10.1021/jo0258249

221. Hu, W., Zhang, L., Li, P., Wang, X., Zhang, Q., Xu, B., ... & Ding, X. (2014). Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass

spectrometry. *Talanta*, 129, 629-635. doi: 10.1016/j.talanta.2014.06.010

222. Nollet, L. M., & Toldrá, F. (Eds.). (2009). *Handbook of seafood and seafood products analysis*. CRC Press.

223. Yang, C., Wang, C., Wang, M., Qin, X., Hao, G., Kang, M., ... & Shen, J. (2021). A novel deodorization method of edible oil by using ethanol steam at low temperature. *Journal of food science*, 86(2), 394-403. doi:10.1111/1750-3841.15578

224. Meskens, F. A. (1981). Methods for the preparation of acetals from alcohols or oxiranes and carbonyl compounds. *Synthesis*, 1981(07), 501-522.

225. K. Bonhoff, F. Obenaus, Pat DE 29 11 411 (1980), to Daimler Benz, Germany

226. Miyashita, K., Uemura, M., & Hosokawa, M. (2018). Effective prevention of oxidative deterioration of fish oil: Focus on flavor deterioration. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 209-226. doi: [10.1146/annurev-food-030117-012320](https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012320)

227. Jairoun, A. A., Shahwan, M., & Zyoud, S. E. H. (2020). Fish oil supplements, oxidative status, and compliance behaviour: Regulatory challenges and opportunities. *PLoS One*, 15(12), e0244688. doi: [10.1371/journal.pone.0244688](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244688)

228. Damerou, A., Ahonen, E., Kortensniemi, M., Pukanen, A., Tarvainen, M., & Linderborg, K. M. (2020). Evaluation of the composition and oxidative status of omega-3 fatty acid supplements on the Finnish market using NMR and SPME-GC-MS in comparison with conventional methods. *Food chemistry*, 330, 127194. doi: [10.1016/j.foodchem.2020.127194](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127194)

229. Suzuki, J., Ichimura, N., & Etoh, T. (1990). Volatile components of boiled scallop. *Food Reviews International*, 6(4), 537-552.

230. Song, G., Dai, Z., Shen, Q., Peng, X., & Zhang, M. (2017). Analysis of the Changes in Volatile Compound and Fatty Acid Profiles of Fish Oil in Chemical Refining Process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(2), 1700219. doi:10.1002/ejlt.201700219

231. Demydova, A., Aksonova, O., Molchenko, S., Hladkyi, F. (2021). Research on a new approach to low-temperature deodorization and its effect on oxidative deterioration of fish oil. *Journal of Chemistry and Technologies*, 29(4), 639-649. (науково-метрична

база: **SCOPUS**), DOI: 10.15421/jchemtech.v29i4.238356

232. Демидова, А. А. (2019). Низкотемпературная дезодорация масел без использования дезодорационной колонны. *Масложировой комплекс*, 66, 44–48.

233. Демидова, А. А., & Сорочук, М. С. (2018). Разработка технологии низкотемпературной дезодорации растительных масел. В: *Научные проблемы пищевых технологий и промышленной биотехнологии в контексте Европейской интеграции: Программа тезисов VII-й Международной научно-технической конференции*, 252-254.

234. Демидова, А. О., & Сорочук, М. С. (2019). Исследования условий проведения низкотемпературной дезодорации. Материалы VIII Международной научно-технической конференции [«Научные проблемы пищевых технологий и промышленной биотехнологии в контексте европейской интеграции»], 410-412.

235. Ghosh M., Upadhyay R., Mahato D.K., Mishra H.N. (2019), Kinetics of lipid oxidation in omega fatty acids rich blends of sunflower and sesame oils using Rancimat, *Food Chemistry*, 272, pp. 471–477. doi:10.1016/j.foodchem.2018.08.072

236. Ștefănescu, B. E., Călinoiu, L. F., Ranga, F., Fetea, F., Mocan, A., Vodnar, D. C., & Crișan, G. (2020). The chemical and biological profiles of leaves from commercial blueberry varieties. *Plants*, 9(9), 1193. doi: [10.3390/plants9091193](https://doi.org/10.3390/plants9091193)

237. Kolarević, T.; Milinčić, D.D.; Vujović, T.; Gašić, U.M.; Prokić, L.; Kostić, A.Ž.; Cerović, R.; Stanojević, S.P.; Tešić, Ž.L.; Pešić, M.B. Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Field-Grown and In Vitro Leaves, and Calluses in Blackberry and Blueberry. *Horticulturae* 2021, 7, 420. doi:10.3390/horticulturae7110420

238. Nguyen, V. T., Nguyen, N. Q., An, T. N. T., Van, N. T., & Anh, N. H. T. (2020, December). Evaluation of polyphenol content and antioxidant activities of Dill leaves extract *Anethum graveolens* L. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 991, No. 1, p. 012032). IOP Publishing. doi:[10.1088/1757-899X/991/1/012032](https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012032)

239. Corbin C., Fidel T., Leclerc E.A., Lainé E., Hano C. (2015), Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds, *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 176–185.

doi:[10.1016/j.ultsonch.2015.02.008](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.02.008)

240. Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34-60. doi: 10.1016/j.tifs.2018.05.018

241. Meini, María-Rocío; Cabezudo, Ignacio; Boschetti, Carlos E.; Romanini, Diana (2019). Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chemistry*, (), S0308814619301050-. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.037

242. Joshi, T., Deepa, P. R., & Sharma, P. K. (2022). Effect of different proportions of phenolics on antioxidant potential: Pointers for bioactive Synergy/Antagonism in foods and nutraceuticals. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 92(4), 939-946. doi:10.1007/s40011-022-01396-6

243. Kapinova, A., Stefanicka, P., Kubatka, P., Zubor, P., Uramova, S., Kello, M., ... & Kruzliak, P. (2017). Are plant-based functional foods better choice against cancer than single phytochemicals? A critical review of current breast cancer research. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 96, 1465-1477. doi:[10.1016/j.biopha.2017.11.134](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.11.134)

244. Corbin C., Fidel T., Leclerc E.A., Lainé E., Hano C. (2015), Development and validation of an efficient ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from flax (*Linum usitatissimum* L.) seeds, *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 176–185. doi:[10.1016/j.ultsonch.2015.02.008](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.02.008)

245. Demydova, A., Aksonova, O., Yevlash, V., Tkachenko, O., & Kameneva, N. (2022). Antioxidant activity of plants extracts of Ukrainian origin and their effect on the oxidative stability of sunflower oil. *Food Science and Technology*, 16(3). **Web of Science**. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2514>

246. Demydova A., Molchenko S., Berezka T., Piven O., Chumak O., Aksonova O. Obtaining antioxidants from food industry waste and their use in fats. *Food science and technology*. 2023. № 17(2). P. 32-40. (**Web of Science**)

247. Demidova, A., Nosenko, T., Bahmach, V., Shemanska, E., & Molchenko, S.

(2021). Study on antioxidants extraction from oak bark and their use for oxidation stability of sunflower oil. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 552-563. **Web of Science**. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-9>

248. Демидова, А.О., Аксенова, О.Ф., Кіндрашина, А.С., & Березка, Т.О. (2016). Встановлення характеру спільного антиоксидантного впливу токоферолів та флавоноїдів на процес окиснення олій. *Вісник Харківського державного університету харчування та торгівлі*, 2, 387–393. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus)

249. Демидова, А.О., & Носенко, Т.Т. (2022). Дослідження антиоксидантної активності рослинної сировини із ягідних культур. *Наукові праці НУХТ*, 28(1), 175–186. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-1-17>. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus)

250. Данилова, Л.А., Березка, Т.О., Демидова, А.О., Бойко, М.І., & Арутюнян, Т.В. (2016). Антиоксидант з кори дуба як джерело поліфенолів у пивоварінні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, 29(1201), 66–71. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus)Index Copernicus.

251. Демидова А.О., Безкровна К.В. Розробка способів регенерації фритюрних жирів. Матеріали семінару «Актуальні аспекти розвитку харчових технологій, торгівлі, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу». –Х.: Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного Торговельно-економічного університету, 2018. – С. 12.

252. Multari, S., Marsol-Vall, A., Heponiemi, P., Suomela, J. P., & Yang, B. (2019). Changes in the volatile profile, fatty acid composition and other markers of lipid oxidation of six different vegetable oils during short-term deep-frying. *Food Research International*, 122, 318-329. doi:10.1016/j.foodres.2019.04.026

253. Giuffrè, A. M., Capocasale, M., Zappia, C., & Poiana, M. (2017). Influence of high temperature and duration of heating on the sunflower seed oil properties for food use and bio-diesel production. *Journal of Oleo Science*, 66(11), 1193-1205. DOI:10.5650/jos.ess17109

254. Nosratpour, M., Farhoosh, R., & Sharif, A. (2017). Quantitative indices of the oxidizability of fatty acid compositions. *European journal of lipid science and technology*, 119(12), 1700203. DOI:10.1002/ejlt.201700203
255. Alamgir, A. N. M., & Alamgir, A. N. M. (2018). Secondary metabolites: Secondary metabolic products consisting of C and H; C, H, and O; N, S, and P elements; and O/N heterocycles. *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts: Volume 2: Phytochemistry and Bioactive Compounds*, 165-309. DOI:10.1007/978-3-319-92387-1\_3
256. Multari, S., Marsol-Vall, A., Heponiemi, P., Suomela, J. P., & Yang, B. (2019). Changes in the volatile profile, fatty acid composition and other markers of lipid oxidation of six different vegetable oils during short-term deep-frying. *Food Research International*, 122, 318-329. doi:10.1016/j.foodres.2019.04.026
257. Nosratpour, M., Farhoosh, R., & Sharif, A. (2017). Quantitative indices of the oxidizability of fatty acid compositions. *European journal of lipid science and technology*, 119(12), 1700203. DOI:10.1002/ejlt.201700203
258. Aniołowska, M. A., & Kita, A. M. (2016). The effect of raw materials on thermo-oxidative stability and glycidyl ester content of palm oil during frying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2257-2264. doi:[10.1002/jsfa.7345](https://doi.org/10.1002/jsfa.7345)
259. Xu, L., Zhang, Y., Gong, M., Huang, J., Jin, Q., Wang, X., & Wang, X. (2020). Change of fatty acid esters of MCPD and glycidol during restaurant deep frying of fish nuggets and their correlations with total polar compounds. *International Journal of Food Science & Technology*. doi:10.1111/ijfs.14532
260. Nosenko, N., Shemanskaya, E., Bakhmach, Sidorenko, A., Demydova, A., Berezka, T., Arutyunyan, T., Matukhov, D. (2017). Novel Blends of Vegetable Oils for Enhanced Nutritional Value and Oxidative Stability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/6 (89), 42-47. ISSN 1729-3774. (науково-метрична база **Scopus**, doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111451)
261. Demydova, A., Levchuk, I., Yevlash, V., Aksonova, O., & Foshchan, A. (2022). Impact of Oxidation Products and Other Precursors on the Content of 3-MCPD and Glycidol Esters in Deodorized Sunflower Oil. *Food Science and Technology*, 16(1), 50-57.

(науково-метрична база **Scopus**, <https://doi.org/10.15673/fst.v16i1.2284>)

262. Демидов, І.М., Півень, О.М., Демидова, А.О. (2011). Показатели окисленности жиров. Проблемы и решения. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*, 21, 164–169 (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus). [http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2011\\_34.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2011_34.pdf)

263. Демидова, А.О. (2015). Визначення строку зберігання олій прискореним методом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, 44, 15-19 (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus). [http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2015\\_44.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2015_44.pdf)

264. Demydova, A., Aksenova, O., Demidov, I. (2015). Evaluation of Sunflower Oil Shelf Life using Accelerated Method. *Visnyk of Kharkiv State University of Food Technology and Trade*, 1, 387-392. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus).

265. Демидова, А.О. (2021). Дослідження зв'язку між кінетикою окиснення та погіршенням сенсорних характеристик рослинних олій. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 4(112) (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus). DOI: 10.31521/2313-092X/2021-4(112)-9

266. Демидова, А.О., Мольченко, С. М., Левчук, І. В., Носенко, Т. Т. (2021). Вміст МСРД-ефірів і ефірів гліцидолу в олійно-жирових продуктах. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 27(1), 135-150. (**Фахове видання**, Indexed in Index Copernicus, DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-1-15)

267. Демидова, А.О., Носенко, Т.Т., Левчук, І.В. (2021). Вплив окремих стадій рафінування на вміст МСРД-ефірів та ефірів гліцидолу в дезодорованих оліях і методи його зменшення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 27(3), 122-134. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index Copernicus). DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-3-15

268. Демидова, А.О., Носенко, Т.Т., Шеманська, Є.І. (2023). Дослідження ефективності ферментативного екстрагування рослинних антиоксидантів. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 137—1147. (**Фахове видання**, науково-метрична база: Index

Copernicus). DOI: 10.24263/2225-2924- 2023-29-4-13

269. Демидов, І.М., Демидова, А.О., Саприкіна, Н.О. Дослідження процесу окиснення олій насиченого та олеїнового типу. «Студентські конференції : Удосконалення технології органічних речовин» - Харків: НТУ «ХП», 2010.– С. 201.

270. Демидова А.О., Демидов І.М., Калішевська Н.В. Вплив різноманітного жирно-кислотного складу олій на період індукції при їх окисненні. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей». – К.: НУХТ, 2012. – С. 87.

271. Демидов, І.Н., Пивень, Е.Н., Демидова, А.О. (2015). Визначення строку зберігання жирів і показники окисненості жирів. *Масложировой комплекс*, 2 (49), 41-43. [http://www.expert-agro.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=%20%202037529](http://www.expert-agro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=%20%202037529)

272. Демидова А.О., Демидов І.М., Сіротенко Д.О. Способи прогнозування строків зберігання харчових продуктів. Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія здоров'я освіта MicroCAD 2015р».–Харків: НТУ «ХП», 2015.– С. 238.

273. Демидова А.О., Кіндрашина А.С. Дослідження вибіркового інгібуючого впливу токоферолу. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Масложировая отрасль: технологии и рынок». 2016. Київ.

274. Демидова А.О., Кириченко Д.О. Визначення строку зберігання олій прискореним методом. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія здоров'я освіта MicroCAD 2016р».–Харків: НТУ «ХП», 2016.– С. 261.

275. Демидова, А.О., Нестерцов, М.А. (2017). Сучасні способи виведення продуктів окиснення з олій та жирів. *Масложировой комплекс*. 3 (58), 45-47.

276. Демидова А.О., Шалімов П.І. Розробка методу визначення вмісту карбонільних сполук в жирах та оліях. Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія здоров'я освіта MicroCAD 2017р».–Харків: НТУ «ХП», 2017. Ч. II. С. 296

277. Демидова А.О., Безкровна К.В. Розробка способів регенерації фритюрних жирів. Матеріали семінару «Актуальні аспекти розвитку харчових технологій, торгівлі, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу». –Х.: Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного Торговельно-економічного університету, 2018. – С. 12.

278. Демидова А.О., Давидкін Р.О., Демидов І.М. Видалення кисневмісних сполук з рослинних олій на стадії рафінації. Матеріали VII-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції». – К.: НУХТ, 2018. – С. 257-259.

279. Демидова А.О., Шеманська Є.І., Андросова М.М. Утворення 2,3-МСРД-ефірів і ефірів гліцидолу в рослинних оліях. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції». – К.: НУХТ, 2019. – С. 410–412.

280. Демидова А.О. Черняк А.С., Березка Т.О. Встановлення особливостей зв'язку між продуктами окиснення та органолептичними характеристиками жирів в процесі їх зберігання. Матеріали ХХІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія здоров'я освіта MicroCAD 2021р». –Харків: НТУ «ХПІ», 2021. Ч. II. – С. 135.

281. Демидова А.О., Мисяк Я.Р. Дослідження попередників утворення МСРД-ефірів і ефірів гліцидолу в олійно-жирових продуктах. Матеріали ХХІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія здоров'я освіта MicroCAD 2021р». –Харків: НТУ «ХПІ», 2021. Ч. II. – С. 135.

282. Демидова А.О., Шеманська Є.І. Хімічне дезодорування рослинних олій. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції». – К.: НУХТ, 2022. С. 331-333.