

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ КІНЕТИКОЮ ОКИСНЕННЯ ТА ПОГІРШЕННЯМ СЕНСОРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОСЛИННИХ ОЛІЙ

А. О. Демидова, кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0002-4714-3450

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У статті досліджено можливість передбачення появи відчуття згіркнення за основними показниками окисненості олій – пероксидними та анізидиновими числами. Під час окиснення при 28°C та доступі кисню олії накопичували суттєві кількості гідропероксидів (до 160-180 ммоль/2O/кг), однак не з'являлось відчуття згіркнення. Доведено, що по кінетиці окиснення олій за даними анізидинових чисел можливо передбачення моменту погіршення органолептичних показників олій.

Ключові слова: окиснення, згіркнення, рослинні олії, анізидинове число, альдегіди, пероксидне число, гідропероксиди.

Постановка проблеми. У даний час перед олієжировою промисловістю встають принципово нові завдання, що вирішуються не тільки нарощуванням обсягів виробництва, але і вимагають якісно нових підходів і нових технологічних рішень. Основним завданням можна назвати випуск якісної та безпечної продукції. Виконання цих завдань вимагає глибокого розуміння змін, які відбуваються в жирах у процесі їх добування, перероблення та зберігання.

Однією з головних проблем погіршення якості та безпеки жирів є їх здатність до окиснювального псування [1]. Ця проблема також пов'язана з появою так званого відчуття згіркнення у жирах, що вже окиснюються певний час. Первинні продукти окиснення – гідропероксиди не несуть негативного внеску в зміну смаку та запаху олій [2], однак продукти їх перетворення – вторинні продукти окиснення, серед яких альдегіди, кетони, спити, оксикислоти, епоксидні сполуки тощо володіють певним власним смаком та ароматом [3]. Одоруючі (ароматичні) сполуки слід відрізнити від летких сполук,

тому що останні не завжди характеризуються власним специфічним запахом. Харчові продукти різних типів мають близько 12 000 летких сполук, однак лише близько 5% з них відіграють значну роль у формуванні аромату цих продуктів [4]. Вони можуть сприйматися нюховою системою людини, якщо присутні у концентраціях, що перевищують поріг їх запаху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деградація харчової олії шляхом окиснення під час добування, перероблення, зберігання та використання давно визнана головною проблемою промисловості харчових олій [5]. Окиснення харчової олії призводить до небажаного смаку, запаху, втрати поживних речовин та утворенню токсичних сполук. Ці токсичні сполуки викликають в організмі людини мутації, старіння, інсульт, емфізему, хвороби серця та рак [6]. Особливо низький поріг запаху притаманний альдегідам, вони є основними вторинними продуктами окиснення для рослинних олій, представлених на ринку України – соняшникової, соєвої, ріпакової,

ляної [7]. Відмінності летких речовин харчових олій призводять до характерного смаку та запаху олій та суттєво відрізняються залежно від жирнокислотного складу і інших притаманних різним оліям характеристик. Незамінні поліненасичені жирні кислоти особливо схильні до окислення, і їх присутність у харчових продуктах пов'язана зі скороченим терміном зберігання та зміною їх сенсорного сприйняття [8,9]. При низьких температурах пероксиди руйнуються з утворенням вторинних продуктів окиснення повільно і може існувати кореляція між їх вмістом та появою відчуття згіркнення. Більшість вторинних продуктів мають низьку молекулярну масу і є леткими [10].

Ці молекули формують аромат олій та може бути ідентифіковані за допомогою

твердофазної мікроекстракції в поєднанні з газовою хроматографією та мас-спектрометрією (HS-SPME/GC-MS) [11-13]. Слід пам'ятати, що метод не є вичерпним, тобто не відображає фактичний склад летких сполук у певному продукті, а відносний їх вклад. Надає важливу інформацію щодо присутності одорантів. Визначення вмісту летких у жирах є складною задачею внаслідок їх низьких концентрацій, одночасної присутності сполук у концентраціях ppm (10^{-6} %) та ppb (10^{-9} %) та того, що молекули одоруючих належать до різних хімічних класів і характеризуються широким діапазоном молекулярної маси [14].

Дані щодо основних одоруючих рослинних олій, у тому числі утворених в процесі окиснення, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Основні леткі рослинних олій та пороги їх сприйняття

Летка сполука (ROAV)	Поріг сприйняття, ng/L	Вміст у окисненій олії, ng/L			Сенсорні характеристики
		соєва	ляйна	рапсова	
1	2	3	4	5	6
Пентаналь	38	11,5	1,96	1,98	Гострий, мигдальний, солодовий
Гексаналь	51	11,4	23,7	10,17	Трав'янистий
Гептаналь	48	3,3	-	0,84	Прогірклий, жирний, цитрусовий
Октаналь	9,3	41	42,8	40,37	Мильний, зелений, жирний, свіжий
Нонаналь	12	100	100	100	Цитрусовий, зелений, мильний, жирний, фруктовий
Деканаль	4,3	19,1	40,75	17,1	Квітковий, апельсинова цедра, мильний, жирний, зелений, свіжий
2-бутаналь	350	-	0,6	0,11	Гострий
(E)-2-пентеналь	1500	-	0,14	0,13	Полуниця, фруктовий, яблуко
(E)-2-гептеналь	88	3,6	1,2	2,46	Жирний, мильний, мигдальний, жирний
(E)-2-октеналь	20	4,6	-	nd	Зелений, горіховий, жирний
(E)-2-декеналь	3,2	10,3	-	2,42	Помаранчевий

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
Бензальдегід	186	1,8	2,65	1,91	Мигдаль, спалений цукор
1-гептанол	3590	0,11	0,05	nd	Бальзамічний
1-гексанол	360	-	0,5	nd	Зелений, квітковий
1-октанол	73	0,52	-	0,53	Хімічний, металевий, обпалений
Оцтова кислота	1384	-	0,26	nd	Кислий
Гексанова кислота	3000	-	0,11	0,02	Кислий, сирний
Неаноева кислота	12	10,96	-	9,35	Зелений, жирний
Додекан	5300	-	0,15	0,064	Бензин
D-лімонен	718	2,75	1,06	0,38	Лимон, апельсин

Джерело: Адаптовано з [15]

Всі леткі речовини характеризуються різними порогами сприйняття. Альдегіди – основні леткі компоненти більшості рослинних олій [16]. Згідно з даними табл. 1 найбільший основний вплив на відчуття згіркнення рослинних олій здійснюють октаналь, нонаналь, деканаль, (E)-2-декеналь, неаноева кислота. Таким чином, переважно альдегіди впливають на специфічний смак та аромат різних олій, а також зміну їх сенсорних характеристик у результаті окиснення [17]. Низький рівень гексаналу (приблизно 5 ng mL^{-1}) у результаті його низького порогу сприйняття легко відрізнити за нюхом [18].

Серед інших летких соняшникової олії, що присутні в помітних кількостях – спирти, вуглеводні, кислоти та кетони. Сирти зазвичай утворюються в результаті розкладання ненасичених жирних кислот [16]. 1-октен-3-ол є основним сиртом соняшникової олії. Однак у цілому сирти характеризуються високими порогами сприйняття, малоімовірно, що вони суттєво впливають на сенсорні характеристики олії [19]. Ненасичені сирти мають нижчий поріг запаху порівняно з насиченими і, таким чином, їхній внесок у органолептику олій більше [20].

Кетони утворюються у результаті ферментативного розкладання полінена-

сичених жирних кислот під час деградації амінокислот або реакції Майяра. Вміст кетонів збільшується в процесі окиснення [8].

Для жирів автоокиснення та фотооксигенація, які зумовлені наявністю кисню в повітрі, практично неминучі [21]. Жири завжди містять певну кількість гідропероксидів (знаходячись вже у складі насіння олійних), які сприйнятливі до розкладання на вторинні продукти окиснення, у тому числі на стадії вилучення олії з насіння, наприклад при одержанні мезги перед пресуванням тощо.

Термін «згіркнення» (англ. "rancidity") використовується для характеристики двох різних процесів: окисне згіркнення, викликане утворенням продуктів окиснення ліпідів та гідролітичне згіркнення, викликане гідролізом ліпідів [22]. У жирах та оліях, які практично не містять води, має місце окисне згіркнення [21].

Даних щодо зв'язку між згіркненням та вмістом продуктів окиснення на сьогодні одержано досить багато [23,24]. Вплив на органолептику процесу низькотемпературного окиснення вивчений недостатньо через його тривалість та більшу складність таких досліджень. Основні леткі окиснювальні сполуки, що утворюються в процесі зберігання олії при температурі

навколишнього середовища, частково відрізняються від тих, що утворюються при високих температурах [25].

Мета досліджень – встановлення зв'язку між утворенням відчуття згіркнення рослинних олій та вмістом в них основних продуктів окиснення – гідропероксидів та альдегідів, тобто пошук можливості, користуючись показниками пероксидне число та/або анізидинове число, прогнозувати момент згіркнення олій.

Матеріали і методи дослідження. Як об'єкт дослідження були обрані найбільш розповсюджені в Україні олії, що належать до різних жирнокислотних типів, і, таким чином, можуть істотно відрізнитися і по кінетиці окиснення і за часом згіркнення. Досліджували наступні олії і встановлювали початкову кількість ініціаторів окиснення – гідропероксидів (значення пероксидного числа – ПЧ): олія соняшникова нерафінована (ДСТУ 4492:2005), ПЧ=1,7 ммоль 1/2O/кг, олія кукурудзяна нерафінована (ДСТУ 8808:2003), ПЧ=1,4 ммоль 1/2O/кг, олія лляна нерафінована (ДСТУ 150-2002), ПЧ=2,8 ммоль 1/2O/кг, олія соєва нерафінована (ДСТУ 4536:2006), ПЧ=2,0 ммоль 1/2O/кг, олія ріпакова нерафінована (ДСТУ 8175:2015), ПЧ=1,5 ммоль 1/2O/кг.

Анізидинове число досліджували згідно з ДСТУ ISO 6885-2002. Пероксидне число досліджували згідно з ДСТУ 4570:2006. Жирнокислотний склад олій досліджували методом газорідної хроматографії згідно з ДСТУ ISO 5509-2002.

Для проведення органолептичної оцінки рослинних олій з метою визначення появи відчуття згіркнення була сформована дегустаційна комісія у кількості 10 осіб (5 чоловіків, 5 жінок, віком 23-60 років), добровільно включених до групи. Учасники комісії проходили щонайменше 10 годин тренінгу для визначення варіацій органолептичних змін у процесі окиснення олій. Була розроблена сенсорна панель для дослідження відтінків згіркнення: «згіркнений» визначався як пов'язаний з

ароматом жирів тривалого терміну зберігання з мильно-металевими ароматами (мінімум – смажені картопляні чіпси, максимум – лляна олія, що зберігалася 1 місяць при доступі кисню). Користувалися 5-бальною шкалою, з варіюванням 1 – відсутній (властивий олії соняшнику або іншій без сторонніх запахів та присмаку гіркоти), 2 – без сторонніх запахів задовільний смак, але легка гіркота, 3 – злегка кислуватий запах та присмак, 4 – кислий запах та присмак з нотами окисненої олії, 5 – найсильніший (окиснений, затхлий запах окисненої олії або оліфи). Під першими проявами згіркнення розуміли значення «2» за шкалою. Зразки олій (свіжі без проявів згіркнення і ті, що зберігалися різний час) поміщали в прозоре скло (чашка Петрі), закрите перед подачею та помічене кодованими цифрами. Зразки знаходилися при кімнатній температурі та аналізувалися при денному світлі. Зразки були рандомізовані та досліджувалися у різні дні.

Викладення основних результатів дослідження. Найбільш руйнівними, з точки зору окиснення, ліпідами є ненасичені жирнокислотні компоненти. Наприклад, швидкість самоокислення олеїнового, лінолевого та ліноленового метилових ефірів становить 1:40:100 [26]. Лінолева кислота є важливим попередником летких сполук у їстівних оліях і легко окиснюється з утворенням гексаналю, пентаналю, гептаналю та транс-2-гептеналю. Олеїнова кислота також є важливим попередником окиснення летких сполук, особливо нонанальних та октанових. Швидкість окисної деградації ліноленової кислоти швидша, ніж у лінолевої кислоти та олеїнової кислоти, і ліноленова кислота є важливим джерелом транс, транс-2,4-гептадієналю та транс-2-гексеналю у продуктах окиснення харчових олій [27]. Таким чином, для вірної інтерпретації одержаних даних щодо згіркнення олій необхідно встановити їх жирнокислотний склад. Результати досліджень наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Жирнокислотний склад досліджуваних олій

Олія	Жирні кислоти, %					
	C_{16}	C_{18}	$C_{18}^=$	$C_{18}^{2=}$	$C_{18}^{3=}$	C_{20}
Соєва	4,5	3,4	28,2	54,9	9,0	-
Кукурудзяна	7,3	5,3	44,5	42,9	-	-
Ляна	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

Нерафіновані соняшникова та ляна олія містять максимальну серед досліджуваних олій кількість ненасичених жирних кислот – соняшникова олія лінолевої, ляна олія – ліноленової (див. табл. 2).

З метою встановлення впливу кількості гідропероксидів на органолептичні показники олій досліджували кінетику накопичення пероксидного числа в зразках в

умовах доступу кисню при температурі зберігання 28°C. Вимірювання гідропероксидів є загальною оцінкою для визначення окисного статусу олій [28], причому за низьких температур окиснення одержують суттєво більш коректні результати. На рис. 1 наведено графік кінетики окиснення олій за зміною пероксидного числа (ПЧ).

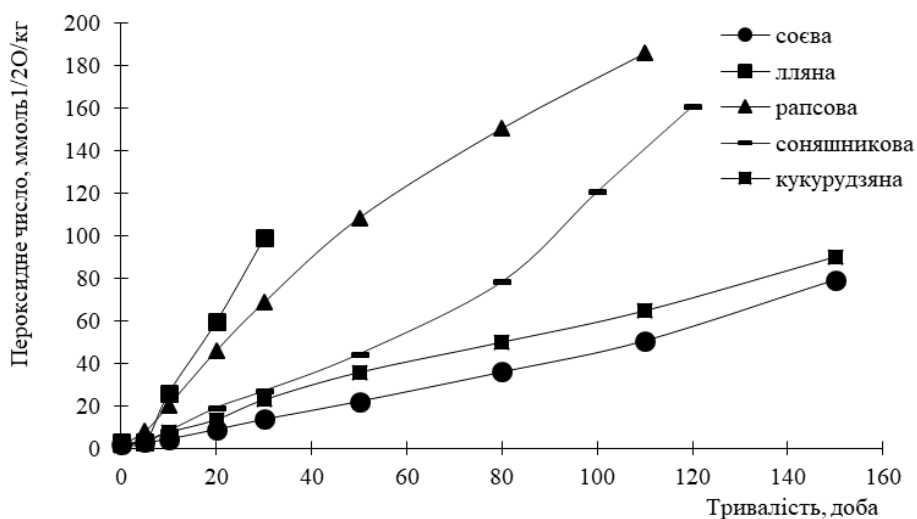


Рис. 1. Кінетика окиснення олій за зміною пероксидних чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

Спостерігається кореляція між швидкістю окиснення та вмістом ненасичених жирних кислот (див. табл. 2 та рис. 1). Найбільш швидко накопичує гідропероксиди ляна 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 у цих оліях.

У ході дослідження кінетики окиснення олій за значеннями пероксидних чисел органолептична комісія встановлювала зміни у запаху та смаку олій та шукала перші прояви відчуття згіркнення. Результати наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Зв'язок між кількістю гідропероксидів та утворенням відчуття згіркнення олій

Олія	Перші прояви згіркнення		Суттєві зміни в смаку та запаху	
	ПЧ, ммоль/2O/кг	Час зберігання, доба	ПЧ, ммоль/2O/кг	Час зберігання, доба
Соняшникова	78	80	161	120
Соева	79	150	-	-
Ріпакова	45	20	120	50
Кукурудзяна	65	110	90	150
Лляна	18	7	59	20

На наш погляд, не виявлено кореляції між значеннями пероксидного числа та початком згіркнення олій. Навіть при високих значеннях пероксидних чисел олії не мали характерного запаху згіркнення (соева, ріпакова олії тощо), а лляна олія при невисоких значеннях пероксидного числа вже суттєво змінила сенсорні характеристики – відчуття згіркнення було інтенсивним (див. табл. 3). При обраній температурі досліджень (28°C) при доступі кисню в оліях накопичуються суттєві кількості гідропероксидів (більше 100 ммоль/2O/кг), що є досить рідким станом для олій. У більшості випадків в ході перероблення або використання олій застосовують високі температури, що призводить до швидкого руйнування гідропероксидів з утворенням інших продуктів окиснення [29]. У випадку низькотемпературного окиснення зручно слідкувати за впливом гідропероксидів на утворення відчуття згіркнення. Так, соєва олія взагалі несуттєво змінила свої смак та

запах, не зважаючи на високі концентрації гідропероксидів (більше 150 ммоль/2O/кг). Ці дані співпадають з результатами інших досліджень [15].

Для встановлення впливу кількості продуктів окиснення на відчуття згіркнення досліджували кінетику зміни анізидинового числа (АЧ) олій, результати наведено на рис. 2 – 6. АЧ є мірою вмісту вторинних продуктів окиснення, таких як альдегіди, α -алкенилі і β -алкенилі та всі сполуки, які здатні реагувати з р-анізидином [30]. Ті альдегіди, що впливають на результат АЧ, не належать до летких, а мають середню та вище молекулярну масу. Однак харчові олії вважаються прийнятними для споживання, коли АЧ нижче 10 [31]. Це вказує на майже відсутність нелетких альдегідів [32]. 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).

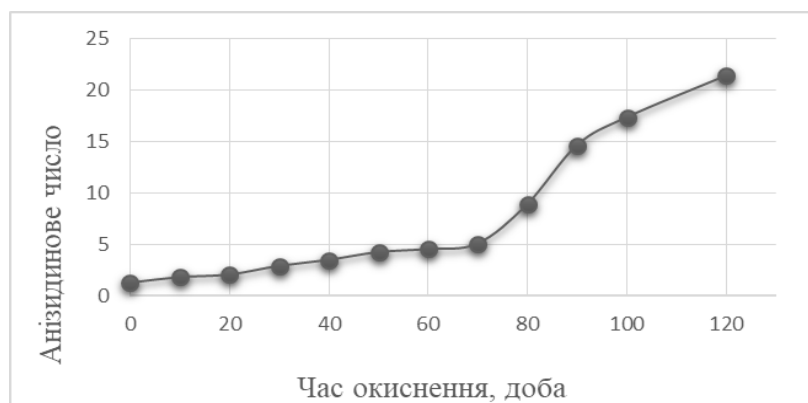


Рис. 2. Кінетика окиснення соняшникової олії за зміною анізидинових чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

Період індукції окиснення соняшникової олії за даними АЧ – 70 діб. Перші прояви

згіркнення були помічені при АЧ = 8,88 через 80 діб окиснення.

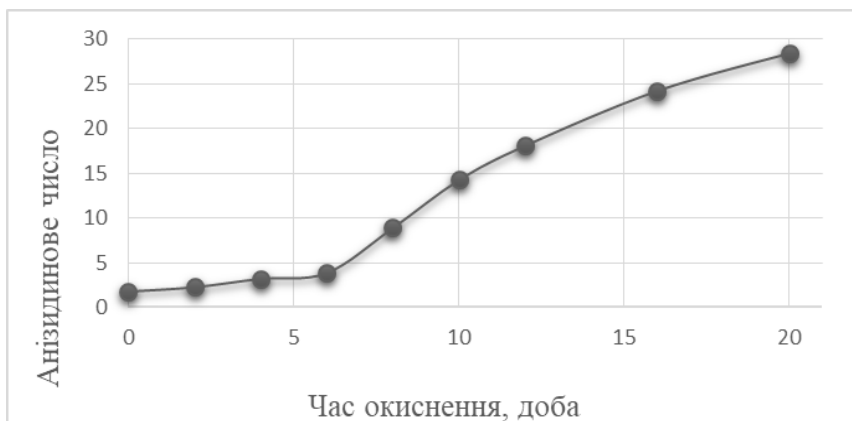


Рис. 3. Кінетика окиснення соняшникової олії за зміною анізидинових чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

Період індукції окиснення лляної олії за даними АЧ – 6 діб. Перші прояви згіркнення

були помічені при АЧ = 6,51 через 7 діб окиснення.

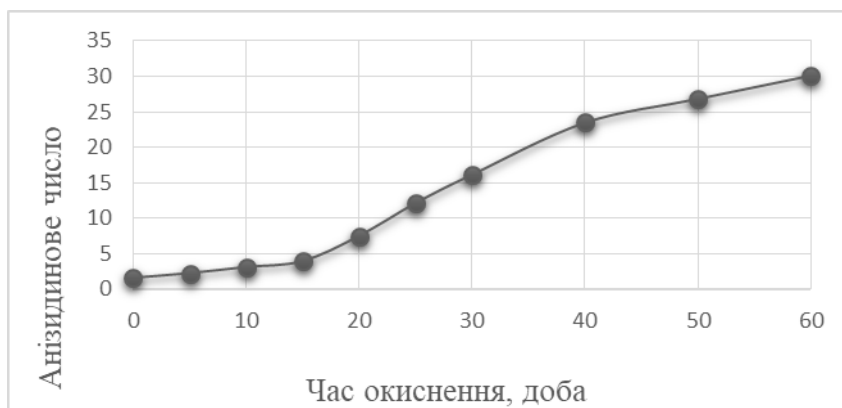


Рис. 4. Кінетика окиснення лляної олії за зміною анізидинових чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

Період індукції окиснення кукурудзяної олії за даними АЧ – 18 діб. Перші прояви

згіркнення були помічені при АЧ = 7,43 через 20 діб окиснення.

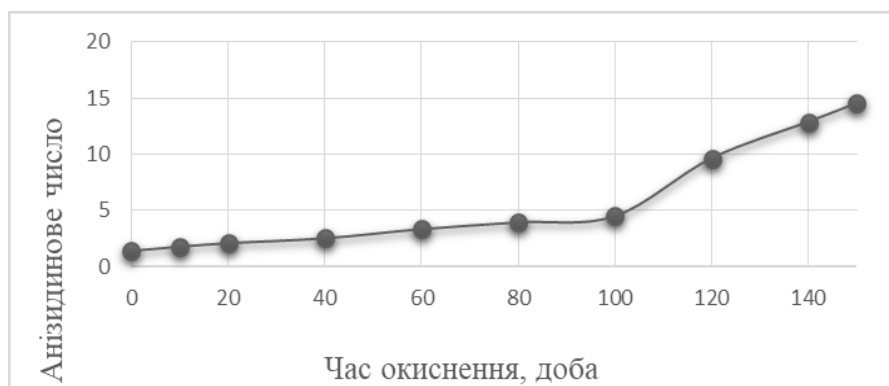


Рис. 5. Кінетика окиснення кукурудзяної олії за зміною анізидинових чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

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

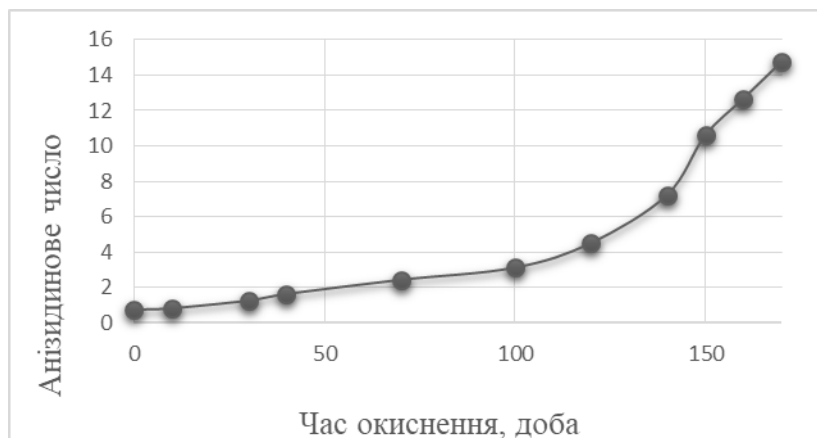


Рис. 6. Кінетика окиснення соєвої олії за зміною анізидинових чисел (в умовах доступу кисню повітря, температура зберігання 28°C)

Період індукції окиснення ріпакової 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 анізидинових чисел та початком згіркнення всіх досліджуваних олій. Період індукції олій за анізидиновим числом закінчується перед початком погіршення смаку та запаху (див. рис. 2-6, табл. 4). Наприклад, для соняшникової олії перші прояви відчуття

згіркнення з'явилися через 80 діб зберігання (див. табл. 4), її період індукції (див. рис. 2) складав 70 діб.

Також слід зазначити, що за ступенем окисної стійкості за даними змінення і пероксидних і анізидинових чисел олії можна вистроїти в наступний ряд (по мірі зниження стабільності): соєва олія>кукурудзяна олія>ріпакова олія>соняшникова олія>лляна олія. Мас місце кореляція між окисною нестабільністю олій та вмістом в них ненасичених жирних кислот.

Таблиця 4

Зв'язок між значенням анізидинового числа та погіршенням сенсорних характеристик досліджуваних олій

Олія	Перші прояви згіркнення		Суттєві зміни смаку та запаху	
	АЧ, у.о.	Час зберігання, доба	АЧ, у.о.	Час зберігання, доба
Соняшникова	8,88	80	21,42	120
Соєва	10,59	150	-	-
Ріпакова	7,43	20	26,87	50
Кукурудзяна	8,48	110	14,53	150
Лляна	6,51	7	24,25	16

Слід зазначити, що у всіх зразках не спостерігається різкого збільшення АЧ, що пов'язано з низькою температурою

зберігання олій та відсутністю швидкого руйнування пероксидів (див. рис. 2).

Наприкінці досліджуваного інтервалу окиснення кількість альдегідів зменшується (див. рис. 2 – 6), що, імовірно, пов'язане з їх перетворенням на інші продукти окиснення.

Висновки. Згідно з поставленою метою, у статті досліджено зв'язок між утворенням відчуття згіркнення рослинних олій та вмістом у них основних продуктів окиснення – гідропероксидів та альдегідів.

Рівень окиснення жирів і олій, а також супутнє утворення несмаків, врешті-решт оцінюється органами почуттів. Однак сенсорні оцінки вимогливі до ресурсів і громіздкі для виконання (необхідність створення дегустаційних комісій для виключення суб'єктивних помилок тощо). Щоб уникнути цих недоліків, часто використовується масив хімічних випробувань з метою контролю ходу окиснення ліпідів. Вони включають вміст пероксидів (ПЧ), значення анізидину (АЧ),

значення йоду (IV), значення тіобарбітурової кислоти (ТВА) та рівні кон'югованих дієнів (CD) і гексаналю (Hex), які утворюються під час окиснення. З метою зменшення кількості необхідних досліджень для прогнозування моменту утворення відчуття згіркнення, в статті встановлено кореляцію між кінетикою окиснення олій за пероксидними і анізидиновими числами та моментом погіршення їх органолептичних показників. Доведено, що вміст гідропероксидів не впливає на утворення відчуття згіркнення – навіть при високих пероксидних числах досліджених олій, вони не змінювали своїх органолептичних характеристик. 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.

Список використаних джерел:

1. Barden, L.; Decker, E.A. Lipid Oxidation in Low-moisture Food: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016. Вип. 56. С. 2467-2482. DOI:10.1080/10408398.2013.848833.
2. Grebenteuch, S.; Kroh, L.W.; Drusch, S.; Rohn, S. Formation of Secondary and Tertiary Volatile Compounds Resulting from the Lipid Oxidation of Rapeseed Oil. *Foods.* 2021, Вип. 10, 2417. DOI:10.3390/foods10102417.
3. Wei, Hu, Liangxiao, Zhang, Peiwu, Li, Xiupin, Wang, Qi, Zhang, Baocheng, Xu, ... Xiaoxia, Ding. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry. *Talanta.* 2016. Вип. 129, P. 629–635. DOI: 10.1016/j.talanta.2014.06.010.
4. Jeleń, H. H., Majcher, M., Dziadas, M. Microextraction techniques in the analysis of food flavor compounds: A review. *Analytica Chimica Acta.* 2012. Вип. 738. P. 13–26. DOI:10.1016/j.aca.2012.06.006.
5. Sharma, S., Cheng, S.-F., Bhattacharya, B., & Chakkaravarthi, S. Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nanoemulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology.* 2019. Вип. 91. P. 305–318. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.030.
6. Mohammadi, A., Jafari, S. M., Esfanjani, A. F., & Akhavan, S. Application of nanoencapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. *Food Chemistry.* 2016. Вип. 190. P. 513–519. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.05.115.
7. Ozcan-Sinir, G. Detection of adulteration in extra virgin olive oil by selected ion flow tube mass spectrometry (SIFT-MS) and chemometrics. *Food Control.* 2020. Vol. 118. doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107433.
8. Li, X., Li, J., Wang, Y., Cao, P., & Liu, Y. Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process. *Food Chemistry.* 2017. Вип. 237. P. 98-105. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.05.100.
9. Gama, T.; Wallace, H.M.; Trueman, S.J.; Hosseini-Bai, S. Quality and shelf life of tree nuts: A review. *Sci. Hortic.* 2018. Вип. 242. P. 116–126. DOI:10.1016/j.scienta.2018.07.036.
10. Perestrelo, R., Silva, C., Silva, P., & Camara, J. S. Global volatile profile of virgin olive oils flavoured by aromatic/medicinal plants. *Food Chemistry.* 2017. Вип. 227. P. 111–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.01.090.
11. Ramos-Escudero, F., Morales, M. T., Escudero, M. R., Muñoz, A. M., Chavez, K. C., & Asuero, A. G. Assessment of phenolic and volatile compounds of commercial Sacha inchi oils and sensory evaluation. *Food Research International.* 2021. Вип. 140, 110022. DOI:10.1016/j.foodres.2020.110022.
12. Sghaier, L., Vial, J., Sassi, P., Thiebaut, D., Watiez, M., Breton, S., & Cordella, C. B. Y. An overview of recent developments in volatile compounds analysis from edible oils: Technique-oriented perspectives. *European Journal of Lipid Science and Technology.* 2016. Вип. 118(12). P. 1853–1879. DOI:10.1002/ejlt.201500508.
13. Fortini, M., Migliorini, M., Cherubini, C., Cecchi, L., & Calamai, L. Multiple internal standard normalization for improving HS-SPME-GC-MS quantitation in virgin olive oil volatile organic compounds (VOO-VOCs) profile. *Talanta.* 2017. Вип. 165. P. 641–652. doi:10.1016/j.talanta.2016.12.082.

14. Gyorgy Vas, Louis Fleck. Importance of a High Performing GC-MS Based Screening Method for Testing Stability Samples for Volatile and SemiVolatile Leachable Impurities. *Rev. Sep. Sci.* 2021. Вип. 3(1). P. 3-20. DOI:10.17145/rss.21.002.
15. Xu, L., Yu, X., Li, M., Chen, J. & Wang, X. 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.* 2017. Vol. 20, № S2926-S2938. DOI:10.1080/10942912.2017.1382510.
16. Scortichini, S., Boarelli, M. C., Castello, M., Chiavarini, F., Gabrielli, S., Marcantoni, E., & Fiorini, D. 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.* 2020. e4534. doi:10.1002/jms.4534.
17. Grebenteuch, S.; Kanzler, C.; Klaußnitzer, S.; Kroh, L.W.; Rohn, S. The Formation of Methyl Ketones during Lipid Oxidation at Elevated Temperatures. *Molecules.* 2021, Вип. 26, 1104. DOI: 10.3390/molecules26041104.
18. Ghiasvand, A., Behfar, M., & Yazdankhah, F. Reduced-Pressure Fiber-in-Needle Sampling of Aldehydes for Room Temperature Assessment of Edible Oils' Oxidative Stability. *Chromatographia.* 2019. doi:10.1007/s10337-019-03752-7.
19. Molina-Garcia L, Santos CSP, Cunha SC, Casal S, Fernandes J.O. Comparative fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying. *J Am Oil Chem Soc.* 2017. Вип. 94. P. 271-284. DOI:10.1007/s11746-016-2943-1.
20. Dominguez R, Gómez M, Fonseca S, Lorenzo JM. Influence of thermal treatment on formation of volatile compounds, cooking loss and lipid oxidation in foal meat. *Food Sci Technol.* 2014. Вип. 58. P. 439-445. DOI:10.1016/j.lwt.2014.04.006.
21. Tavakoli J, Emadi T, Hashemi SMB, Mousavi Khaneghah A, Munekata PES, Lorenzo JM, Brnčić M, Barba FJ. Chemical properties and oxidative stability of Arjan (*Amygdalus reuteri*) kernel oil as emerging edible oil. *Food Res Int.* 2018. Вип. 107. P. 378-384. DOI:10.1016/j.foodres.2018.02.002.
22. Varas Condori, M. A., Pascual Chagman, G. J., Barriga Sanchez, M. E., Villegas Vilchez, L. F., Ursetta, S., Guevara, A., & Hidalgo, A. Effect of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil. *Food Chemistry.* 2019. 125327. doi:10.1016/j.foodchem.2019.125327.
23. Goicoechea, E.; Guillén, M. D. Volatile Compounds Generated in Com Oil Stored at Room Temperature. Presence of Toxic Compounds. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2014. Вип. 116. P. 395-406. DOI:10.1002/ejlt.201300244.
24. Petersen, K. D., Kleeberg, K. K., Jahreis, G., Fritsche, J. Assessment of the Oxidative Stability of Conventional and High-Oleic Sunflower Oil by Means of Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2019. Вип. 63. P. 160-169. DOI: 10.3109/09637486.2011.609158.
25. Alamgir, A.N.M. *Secondary metabolites: Secondary metabolic products consisting of C and H; C, H, and O; N, S, and Pelements; and O/N heterocycles (Book Chapter) Progress in Drug Research. Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts.* 2018. Bun. 2. P.165-309. DOI:10.1007/978-3-319-92387-1_3.
26. Min D. B., Bradley G. D. (1992) Fats and Oils: Flavors. In Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology. *John Wiley and Sons, Inc:* New York.
27. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. In *Edible Oils and Fat Products. Chemistry. Properties, and Health Effects.* 2005. Vol. 1.
28. Mba, O.I.; Dumont, M.-J.; Ngadi, M. Deterioration Kinetics of Crude Palm Oil, Canola Oil and Blend During Repeated Deep-Fat Frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2016. Вип. 93. P. 1243-1253. DOI:10.1007/s11746-016-2872-z.
29. Multari, S., Marsol-Vall, A., Heponiemi, P., Suomela, J.-P., & Yang, B. 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.* 2019. Вип. 122. P. 318-329. doi:10.1016/j.foodres.2019.04.026.
30. Nan, X., Wu, Q., Nan, S., Zeng, X., Dai, Y., & Kang, L. Effect of Oil Oxidation on Acrylamide Formation in Oil-Rich Model Systems without the Participation of Reducing Sugars. *Journal of Food Protection.* 2020. Вип. 83(2). P. 342-349. doi:10.4315/0362-028x.jfp-19-353.
31. Giuffrè, A. M., Capocasale, M., Zappia, C., & Poiana, M. 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.* 2017. Вип. 66(11). P. 11931205. DOI:10.5650/jos.ess17109.
32. Nosratiour, M., Farhoosh, R., & Sharif, A. *Quantitative indices of the oxidizability of fatty acid compositions.* European Journal of Lipid Science and Technology. 2017. Вип. 119(12), 1700203. DOI:10.1002/ejlt.201700203.

А. А. Демидова. Исследования связи между кинетикой окисления и ухудшением сенсорных характеристик растительных масел

В статье исследована возможность предсказания появления ощущения прогорклости по основным показателям окисленности масел – пероксидным и анизидиновым числам. В результате окисления при 28°C и доступе кислорода воздуха накапливались существенные количества гидропероксидов (до 160-180 ммоль 1/20/кг), однако не появлялось ощущение прогорклости. Доказано, что по кинетике окисления масел по данным анизидиновых чисел возможно предсказание момента ухудшения органолептических показателей масел.

Ключевые слова: окисление, прогорклость, растительные масла, анизидиновое число, альдегиды, пероксидное число, гидропероксиды.

A. Demydova. Investigation of the relationship between oxidation kinetics and deterioration of sensory characteristics of vegetable oils

The article investigates the possibility of predicting the appearance of a feeling of rancidity by the main indicators of oil oxidation - peroxide and anisidine numbers. As a result of oxidation at 28 ° C and the access of air oxygen, significant amounts of hydroperoxides (up to 160-180 mmol 1/2O/kg) accumulated, but the feeling of rancidity did not appear. It is proved that according to the kinetics of oils oxidation according to the data of anisidine numbers, it is possible to predict the moment of deterioration of the organoleptic characteristics of oils.

Key words: *oxidation, rancidity, vegetable oils, anisidine number, aldehydes, peroxide number, hydroperoxides.*