

М.Є. Блажеєвський¹, О.М. Агафонов²

Кількісне визначення ненасиченості жирних олій за реакцією епоксидування пероксидекановою кислотою

¹Національний фармацевтичний університет, м. Харків,²Донецький національний медичний університет ім. М. Горького

Ключові слова: визначення ненасиченості, кисневе число, епоксидування, пероксидеканова кислота, жирні олії.

Ключевые слова: определение ненасыщенности, кислородное число, эпоксидирование, пероксидекановая кислота, жирные масла.

Key words: estimation of unsaturation, oxygen number, epoxidation, peroxy decanoic acid, fatty oils.

Наведено результати вивчення можливості визначення кількісного показника ступеня ненасиченості жирних рослинних олій і риб'ячого жиру за реакцією епоксидування за допомогою пероксидеканової кислоти. Значення йодних чисел, отриманих завдяки перерахунку з кисневих, були незначучо нижчі від визначених за фармакопейними методиками.

Приведены результаты изучения возможности определения количественного показателя степени ненасыщенности жирных растительных масел и рыбьего жира с помощью реакции эпоксидирования пероксидекановой кислоты. Значения йодных чисел, полученные путем пересчета из кислородных, были незначимо занижены по сравнению с такими значениями, найденными фармакопейным методом.

The study of the possibility of quantifying the degree of unsaturation of fatty vegetable oils and cod-liver oil by the reaction of epoxidation reaction with the aid of peroxydecanoic acid was shown in this article. The values of the iodine (re-calculation out of oxygen) values in studied oil, were found to be a negligible lower, than those, which were determined by standart pharmacopoeia method.

Існуючі методи аналізу ненасичених сполук засновані на використанні реакційної здатності подвійного зв'язку. Як відомо, у найбільш поширених методах використовують здатність подвійних зв'язків приєднувати атоми чи групи атомів [1]. У практиці аналізу з цією метою застосовують галогени (йод, бром) для визначення так званих бромних і йодних чисел. Однак, приєднання галогенів до подвійного зв'язку часто супроводжується небажаними побічними процесами (наприклад, реакції заміщення), що призводять до перевитрати галогенів, а відтак, до спотворення результатів аналізу [1]. Цих недоліків не позбавлений і широко відомий у практиці аналітичних визначень йодних чисел рослинних олій метод Війса [2]. Починаючи з 1909 року, коли М. Прилежаєв [3] показав, що надбензойна кислота (НБК) кількісно окислює ненасичені сполуки, у науковій літературі з'явилась низка праць, автори яких намагались використати цю кислоту з аналітичною метою, зокрема для визначення так званих кисневих чисел – кількісного показника результатів аналізу ненасичених сполук. Можливість використання реакції епоксидування для аналітичних цілей заснована, з одного боку, на існуванні простих методів визначення кількості наявної в реакційній суміші пероксикислоти, а з іншого – на кількісному перебігу цього процесу.

Метод визначення кисневих чисел шляхом титрування на прикладі НБК вперше запропонував німецький хімік Мейєрвейн зі співробітниками у 1924 році [4,5]. Застосування монопероксифталевої кислоти (МППФК) в аналізі ненасичених сполук запропоновано Боме [6], а кількісне титрування ненасичених зв'язків у натуральних оліях з використанням надацетатної кислоти (НАК) у середовищі ацетатної кислоти вперше здійснено Смітом. Йому вдалось досягти задовільної відповідності між

кисневими та йодними числами, застосовуючи замість НБК пероксидетанову [7]. Американський хімік Майлас запропонував для кількісного визначення кисневих чисел використовувати відносно стійку добуту пероксикамфору кислоту в середовищі хлороформу при 0°C [8]. Хвостов показав, що, на відміну від нестійких НБК і НАК, МППФК у середовищі етилацетату придатна для визначення кисневих чисел такого типу ненасичених сполук, як олеїнова кислота і деякі висихаючі олії при 15°C за 3–4 год за умов використання дворазового молярного надлишку окисника [9].

Проте розглянуті окисники малотривкі, а отримання їх у чистому вигляді вельми утруднене. Більше того, низька стійкість застосовуваних пероксикислот вимагала здійснення реакції при надто низьких температурах (0°C або 15–18°C), що сильно уповільнювало аналітичну реакцію і, як наслідок, призводило до збільшення тривалості виконання аналізу (від 3–4 до 24 год).

Мета роботи

З'ясувати можливість застосування для визначення кисневих чисел різного роду ненасичених сполук як таких, так і у складі жирних олій вищої аліфатичної пероксикислоти, а саме пероксидеканової кислоти (ПДК).

Враховуючи той факт, що за стійкістю ПДК переважає багато інших пероксикислот (наприклад, НБК, НАК, пероксифталеву кислоту), вважали можливим знайти такі умови для кількісного перебігу реакції за нормальних умов, що мають спростити методику визначення та суттєво скоротити необхідний для здійснення аналізу час.

Матеріали і методи дослідження

Пероксидеканова кислота:

$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_8\text{CO}_2\text{H}$, 188 г/моль, 8,5% (акт. О), pK_a 8,5, отримана за методикою [10].

Кислота ацетатна «х.ч.». Кислота ацетатна розбавлена: змішують 31,3 мас. ч. ацетатної кислоти та 68,7 мас. ч. води дистильованої.

Калій йодиду розчин. 10 г калій йодиду розчиняють у щойно прокип'яченій і охолодженій воді та доводять об'єм розчину дистильованою водою до 100 мл.

Натрій тіосульфату стандартний розчин, $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,1$ моль/л, виготовляли з фіксаналу стандарт-титру.

Для вимірювання об'єму титранта використовували мікробюретку на 5 мл. Точність вимірювання становила $\pm 0,01$ мл. Для проведення реакції використовували конічні колби на 75 мл з притертими корками.

Для нагрівання та підтримки необхідної температури реакційної суміші використовували повітряний термостат ТС – 80 М.

Олеїнова кислота:

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$, х.ч., Т.топл. 8°C . $M = 282,5$ г/моль. Сер. 081 (Чехія). Олеїнову кислоту очищували кристалізацією з 10% метанолу за кімнатної температури.

Рицинолева кислота:

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$, х.ч.; $M = 298,5$ г/моль.

Оливкова олія з ринку Сирії (сирець). Олія соняшникова (сирець) з ринку Харкова.

Олія персикових кісточок у флаконах на 100 мл виробництва ВАТ «Золотоніська ПКФ» «Злата»; ТОВ Ароматика (Україна), сер. 2160908.

Олія касторова медична (Олія рицинова) (виробник ОАО «Лубнифарм» Україна) ГОСТ 18102-72.

Олія кукурудзяна нерафінована із зародків стиглого насіння ТУ У 15.6-34369736-001:2008, серія 03.08.2009. Виробник: СПД Шишкіна С.О. (с. Розквіт, Одеська обл., Україна).

Риб'ячий жир по 50 мл, вироблений з печінки тріскових виробництва ВАТ «Лубнифарм» (Україна), серія 391010.

Будову добутих продуктів епоксидування доводили функціональним та елементним аналізом, а також за допомогою ІЧ-спектроскопії.

Хлороформ кваліфікації «для медичних цілей» переганяли під вакуумом й одразу ж використовували для дослідів або запаювали в ампули і зберігали в темному місці при $8-10^\circ\text{C}$. Решта органічних розчинників очищували за загальноприйнятими методами [11]. Дихлорметан (метилен хлористий) кваліфікації ч.д.а., LAB-SCAN, Ірландія. Додатково очищували згідно з методикою [12].

Кислотне число (КЧ) визначали кислотно-основним титруванням у етанолі, йодне число (ЙЧ) – за методикою Війса-Гануса, естерне (ЕЧ) – омиленням, епоксидне число (ЕпЧ) – прямим титруванням 0,1 моль/л розчином хлоратної кислоти у льодяній ацетатній за наявності тетраетиламонійброміду [1]. ІЧ-спектри знімали на спектрофотометрі «Specord M80» у тонкій плівці.

Методика визначення ненасиченості олій за посередництвом пероксидеканової кислоти. Близько 0,1 г олії (точна наважка) розчиняють у конічній колбі на 75 мл з притертим корком у 25,0 мл хлороформу або дихлорметану (чи іншому органічному розчиннику під час вивчення впливу природи розчинника на кінетику реакції епоксидування), вносять близько 0,2 г (точна наважка) пероксидеканової кислоти, закорковують колбу, ретельно збовтують і починають відлік часу (вмикають хронометр).

У конічну колбу за допомогою піпетки відбирають 1 мл отриманого розчину, додають при інтенсивному збовтуванні 4 мл розбавленої ацетатної кислоти і 1 мл 10% розчину калій йодиду, а вивільнений йод одразу ж відтитровують стандартним 0,1 моль/л розчином натрій тіосульфату. Потім реакційну суміш залишають на 2,3–2,5 год (точний час наведено в табл. 2), після чого повторюють визначення як описано вище.

Кисневе число (число грамів Оксигену, поглинутого 100 г проби, або % поглинутого кисню) з урахуванням пероксидного числа розраховували за формулою:

$$\text{Кисневе число} = \frac{(V_1 - V_2 - V_0) \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 100}{a \cdot 1000} \cdot K,$$

де V_1 – об'єм розчину натрій тіосульфату, витрачений на титрування у контрольному досліді (на вміст пероксикислоти – без проби сполуки, що визначається), мл;

V_2 – об'єм розчину натрій тіосульфату, витрачений на титрування залишку пероксикислоти у досліді з пробю ненасиченої аналізованої сполуки, мл;

V_0 – об'єм розчину натрій тіосульфату, витрачений на титрування у досліді з пробю сполуки, що визначається (без пероксикислоти на пероксидах), мл;

0,1 – молярна концентрація розчину тіосульфату;

a – наважка проби, г; 1000 – перерахунок у г;

8 – молярна маса еквівалента кисню, г/моль ($f = 1/2$);

K – коефіцієнт поправки концентрації розчину натрій тіосульфату до 0,1000 моль/л;

100 – перерахунок на 100 г жиру, масла або олії.

Перерахунок кисневого на йодне число здійснювали за формулою: *йодне число* = *кисневе число* $\times 15,8625$.

цис-9,10-Епокси-октадеканова кислота (2). До 25 мл 1% розчину (0,0009 моль) пероксидеканової кислоти у дихлорметані повільно додавали 0,185 г (0,00006 моль) олеїнової кислоти (*цис-9-октадеценаної* кислоти (1)) при 25°C , витримували 1 год. Реакційну суміш промивали в ділительній лійці 15% розчином соди і водою до нейтральної реакції, сушили над натрій сульфатом.

Фізико-хімічні властивості отриманої *цис-9,10-епокси-9-октадеценаної* (*цис-9,10-епоксистеаринової*) кислоти порівнювали з такими властивостями епокси-похідного олеїнової кислоти, що отримали за методикою [13].

цис-9,10-Епокси-метил-октадеканонат (4). До 25 мл 1%-го розчину (0,0013 моль) пероксидеканової кислоти у дихлорметані повільно додавали 0,185 г (0,00063 моль) метилолеату *цис-9-метил-октадеценаної* (3) при 25°C , ви-

Таблиця 1

Характеристики вихідних сполук та добутих продуктів реакції епоксидування олеїнової кислоти (1), метилолеату (3) та їх епоксидів (2,4)

Випробувана сполука	M, г/моль	T _{затв.} , °C	η_d^{20}	Елем.вміст, теор./визн., %		Показники, теор./визн.			
				С	Н	КЧ	ЕЧ	ЙЧ	ЕпЧ
цис-9-Октадеценава кислота (1)	282,4	+12	1,4585	76,5/ 76,2	12,1/ 11,9	198,3/ 198,2	0	89,8/ 89,3	0
цис-9,10-Епокси-9-октадеценава кислота (2)	298,4	+58,5-59	-	-	-	187,7/ 187,0	0	0	-
цис-9-Метил-октадеценаат (3)	296,4	-9	1,4520	76,9/ 77,1	12,2/ 12,3	0	189,2/ 189,0	85,6/ 85,3	0
цис-9,10-Епокси-метил-октадеценаат (4)	312,4	-15	1,4510	73,0/ 73,2	11,6/ 11,3	0	359,1/ 360,2	0	13,76/ 13,71

тримували 1 год. Реакційну суміш промивали в ділільній лійці 15% розчином соди і водою до нейтральної реакції, сушили над натрій сульфатом. Очищували перегонкою на короткому шляху, відбирали фракції з $T_{\text{кип}}=160-170^\circ\text{C}$ (0,1–0,2 мм рт. ст.). Епоксидована соняшникова олія. Прозора в'язка світло-жовта рідина з легкою опалесценцією; $T_{\text{затв.}} \leq 5^\circ\text{C}$. Кислотне число, мг КОН/г 2,8; Епоксидне число 3,9;

У ІЧ спектрах продуктів наявні нові смуги поглинання з частотами в інтервалі $840-780\text{ см}^{-1}$, що можна віднести до поглинання оксиранового кільця ($865-750\text{ см}^{-1}$) [14].

Результати та їх обговорення

З'ясовано, що 0,3–0,5 % розчини ПДК у хлороформі чи дихлорметані є достатньо стійкими за кімнатної температури, щоб їх використовувати для аналізу, тривалість якого може перевищувати кілька годин. Встановлено, що саме в цих розчинниках досягається найвища швидкість окислення при одночасному забезпеченні кількісної стехіометрії реакції епоксидування ненасичених зв'язків. Ці розчини пероксидеканової кислоти здатні кількісно окислювати олеїнову, рицинолеву та інші ненасичені кислоти, а також їх естери, в тому числі, гліцериди натуральних жирних кислот за нормальних умов. Щоб тривалість взаємодії не перевищувала 2–2,5 год, необхідний щонайменше дворазовий молярний надлишок окисника. Підрахунок кисневих чисел здійснювали на підставі експериментальних даних йодометричного титрування. Отримані результати перераховували на йод і порівнювали з йодними числами, визначеними за Війсом.

Вивчення кінетики реакції методом йодометричного титрування засвідчило, що на 1 моль олеїнової кислоти витрачається 1 моль пероксидеканової кислоти, а час, необхідний для завершення реакції, не перевищує 40 хв при 300 К (рис. 1). На рис. 2 наведена обернено концентраційна анаморфоза кінетичної кривої реакції епоксидування олеїнової кислоти пероксидекановою кислотою в середовищі хлороформу. Як видно, за подібних концентрацій компонентів кінетика реакції підпорядковується кінетичному рівнянню другого порядку: обернено концентраційна анаморфоза кінетичної кривої є лінійною функцією.

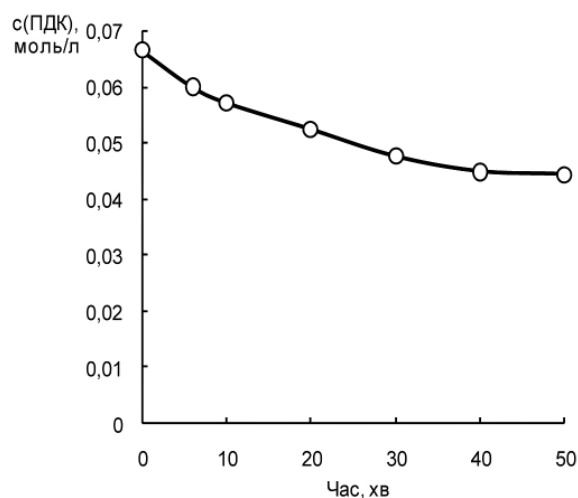


Рис. 1. Кінетична крива реакції епоксидування олеїнової кислоти пероксидекановою кислотою в середовищі хлороформу.

Примітка: $c(\text{ПДК})=6,65 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $c(\text{олеїнова к-та})=2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $T=300\text{ К}$.

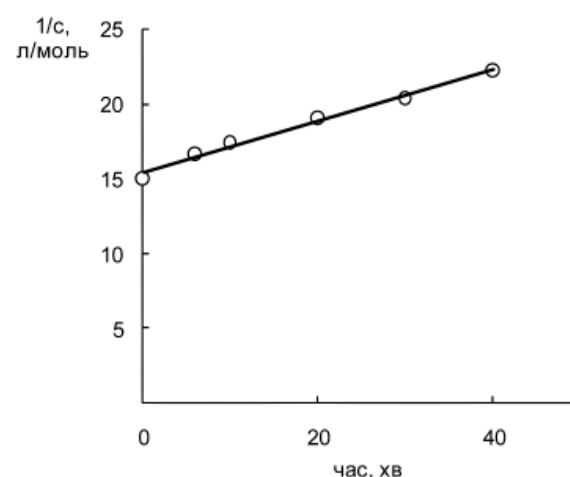


Рис. 2. Обернено концентраційна анаморфоза кінетичної кривої реакції епоксидування олеїнової кислоти пероксидекановою кислотою в середовищі хлороформу.

Примітка: $c(\text{ПДК})=6,65 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $c(\text{олеїнова к-та})=2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $T=300\text{ К}$.

Схема 1

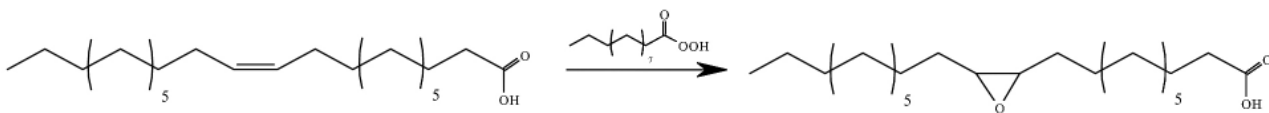
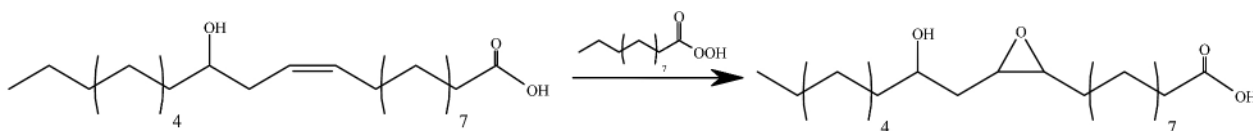


Схема 2



Отже, взаємодію в системі олеїнова кислота – пероксидеканова кислота можна представити *схемою 1*.

На *рис. 3* наведена кінетична крива реакції епоксидування рицинолевої кислоти пероксидекановою кислотою в середовищі дихлорметану за 298 К. Як видно, на 1 моль рицинової кислоти витрачається 1 моль пероксидеканової кислоти, а час, необхідний для завершення реакції, не перевищує 100 хв за температури 298 К. За аналогічних концентрацій компонентів кінетика реакції епоксидування підпорядковується кінетичному рівнянню другого порядку.

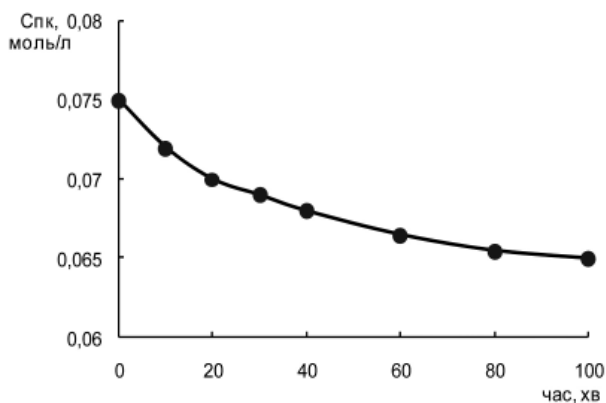


Рис. 3. Кінетична крива реакції епоксидування рицинолевої кислоти пероксидекановою кислотою в середовищі дихлорметану.

Примітка: $c(\text{ПДК}) = 7,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $c(\text{рицинолева к-та}) = 1,2 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $T = 298$ К.

Взаємодію в системі рицинолева кислота – пероксидеканова кислота можна представити *схемою 2*.

Вивчено кінетику реакцій епоксидування деяких жирних олій, що містять у переважній кількості залишки олеїнової, рицинолевої та інших ненасичених жирних кислот у вигляді гліцеридів: соняшникової та оливкової олій, олій персикових кісточок та рицинової олій, а також риб'ячого жиру з печінки тріски. Як приклад, на *рис. 4* та *5* наведено отримані кінетичні криві спонтанного розкладання ПДК та епоксидування соняшникової олій, а також риб'ячого жиру ПДК у середовищі хлороформу.

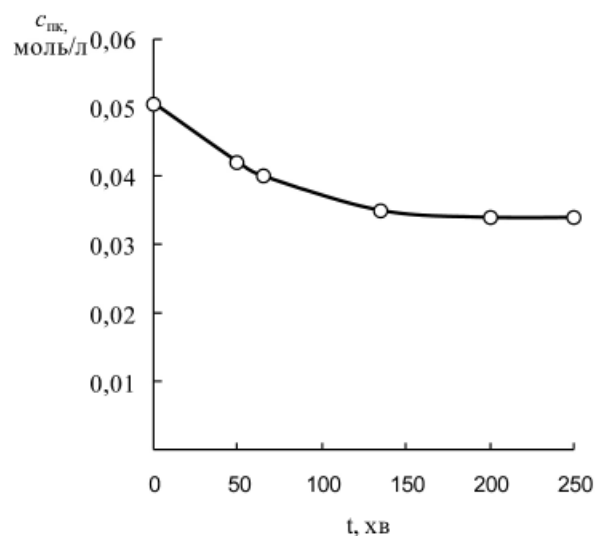


Рис. 4. Кінетична крива реакції епоксидування олій соняшникової пероксидекановою кислотою в середовищі хлороформу.

Примітка: $c(\text{ПДК}) = 5,05 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $w(\text{олії}) = 0,4194$ %; $T = 298$ К.

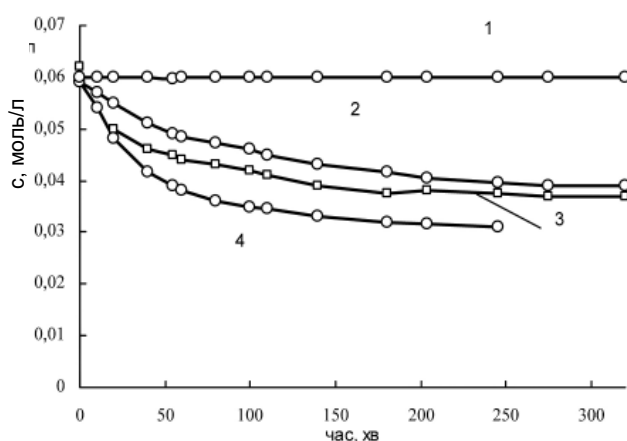


Рис. 5. Кінетика реакцій спонтанного розкладу пероксидеканової кислоти (1) та епоксидування риб'ячого жиру пероксидекановою кислотою в середовищі хлороформу (2–4).

Примітка: $c(\text{ПДК}) = 0,06$ моль/л; T, K : 1, 3 – 298; 2 – 286; 4 – 311.

Кінетика реакцій епоксидування олій у середовищі хлороформу підпорядковується кінетичному рівнянню другого порядку. Результати вивчення впливу природи розчинника (етилацетату і хлороформу) та температури у розчині хлороформу на кінетику епоксидування нею риб'ячого жиру засвідчили, що найшвидше епоксидування відбувається за умов нагрівання до 38°C і завершується повністю приблизно через 1 год, однак за таких умов спостерігається помітне термічне розкладання самої пероксидкислоти. При 13°C реакція епоксидування відбувається значно повільніше і завершується у середовищі хлороформу через 320хв, і тільки через 2885хв в етилацетаті. За таких умов термічне розкладання пероксидкислоти практично не відбувається. Виходячи з отриманих результатів, для аналізу найбільш сприятливими умовами є здійснення реакції епоксидування у середовищі хлороформу за температури 25°C. За обраних умов реакція практично завершується через 2–2,5 год, а побічна реакція термічного розкладання пероксидкислоти кінетично загальмована. Ці умови покладено в основу опрацьованого нового методу визначення ненасиченості жирних олій за реакцією епоксидування. Рекомендовані умови для визначення кисневих чисел деяких жирних олій за реакцією з пероксидкислотою наведено в табл. 2. Метод випробувано на рициновій, оливковій, соняшниковій, кукурудзяній олії та риб'ячому жиру.

Таблиця 2
Рекомендовані умови для визначення кисневих чисел деяких жирних олій за реакцією з пероксидкислотою

Аналізована олія	Рекомендовані умови		
	Розчинник	t, °C	Час, год
Невисихаючі			
Оливкова	Хлороформ	25	2,5
Персикова	Хлороформ	25	2,5
Рицинова	Хлороформ	25	2,5
Напіввисихаючі			
Соняшникова	Хлороформ	25	2,5
Кукурудзяна	Хлороформ	25	2,5
Риб'ячий жир	Хлороформ	25	2,3

У таблиці 3 наведено порівняльні результати непрямого титрування деяких олій пероксидкарбоною кислотою та одноклористим йодом за Війсом (референтний метод). Розраховані значення похибки – $\delta \leq \pm \text{RSD}$, що свідчить про правильність результатів аналізу. Крім того, встав-

Таблиця 3

Результати визначення йодного числа деяких рослинних жирних олій шляхом титрування пероксидкислотою та одноклористим йодом

Аналізована олія	Йодне число		Правильність
	Титрування ПДК**	За реакцією з JCl	
Кукурудзяна	129,5	131,0	$\delta = -1,1 \%$
Оливкова*	96,8	98,5	$\delta = -1,7 \%$
Соняшникова*	93,8	108,2	$\delta = -13,3 \%$

Примітка.* – торгові зразки олій з Харківського ринку та ринку Сирії без додаткового очищення (сирець); ** – усі значення усереднені за трьома результатами визначення; $\text{RSD} \leq \pm 3,3 \%$ ($n=3$; $P=0,95 \%$).

новлено, що зміна маси проби досліджуваної олії майже не впливала на середнє значення результатів аналізу і свідчить про відсутність систематичної похибки.

Наведені у таблиці 4 результати аналізу випробуваних невисихаючих і напіввисихаючих жирних олій новоопрацьованим методом свідчать про можливість здійснення визначення за допомогою нового аналітичного реагента – пероксидкислоти – кількісного показника ступеня ненасиченості жирних олій за кисневим числом.

Таблиця 4
Результати визначення ненасиченості деяких жирних олій за реакцією епоксидування пероксидкислотою у середовищі хлороформу

Випробувана жирна олія	Киснєве число*	Йодне число	Регламентоване ЙЧ
Риб'ячий жир	9,0/8,85	143,4/140,3	150-175
Рицинова олія	5,5	86,9	82-90
Соняшникова олія	5,9	93,8	118-144
Оливкова олія(сирець)	6,1	96,8	> 90

Примітка.* – кисневі числа розраховані за результатами трьох паралельних дослідів; $\text{RSD} \leq \pm 3 \%$ ($P=0,95 \%$); ЙЧ – йодне число.

Висновки

Хлороформні та хлористометиленові 0,8–1% розчини пероксидкислоти достатньо стійкі при 298 К та можуть бути використані для здійснення кількісного визначення ступеня ненасиченості олій.

Перераховані з кисневих йодні числа, отримані методом пероксидкислотометрії з використанням як титранта пероксидкислоти, загалом відповідають з регламентованими значеннями йодних чисел випробуваних олій.

Література

1. Сиггва С. Количественный органический анализ по функциональным группам / С. Сиггва, Дж.Г. Ханна; пер. с англ. – М.: Химия, 1983. – 672 с.
2. Полюдек-Фабини Р. Органический анализ / Р. Полюдек-Фабини, Т. Бейрих; пер. с нем. – Л.: Химия, 1981. – 624 с.
3. Прилежаев Н.А. Герм. пат. 230723 / Н.А. Прилежаев. 1908 г. С.А. 1911. 5. 2699.
4. Meerwein H. Über die Anlagerung von Alkoholen an Camphen / H. Meerwein, L. I. Gérard // Ann. – 1924. – B. 435. – S. 174–189.
5. Meerwein H. Über die Oxydationsgeschwindigkeit ungesättigter Verbindungen durch Benzopersäure / H. Meerwein // J. Prakt. Chem. – 1926. – B. 113. – S. 9–29.
6. Böhme H. Über Phthalmonopersäure und ihre Verwendung als oxidation-smittel an Stelle von Benzopersäure / H. Böhme //

- Вег. – 1937. – В. 70. – S. 379–383.
7. Прилежаева Е.Н. Реакция Прилежаева. Электрофильное окисление / Е.Н. Прилежаева. – М.: Наука, 1974. – 332 с.
8. Milas N. A. Studies in Organic Peroxides. II. The Use of Camphoric Acid Peracid for the Estimation of Unsaturation / N. A. Milas, I. S. Cliff // J. Am. Chem. Soc. – 1933. – V. 55. – P. 352–355.
9. Хвостов Г.В. Анализ некоторых непредельных соединений посредством гидроперекиси фталевой кислоты / Г.В. Хвостов // Журн. аналит. химии. – 1947. – Т. 2, №5. – С. 281–284.
10. Parker W.E. Peroxides II. Preparation, Characterization and Polarographic Behavior of Longchain Aliphatic Peracids / W.E. Parker, C. Ricciuti, C.L. Ogg, D. Swern // J. Amer. Chem. Soc. – 1955. – V. 77. – P. 4037–4041.
11. Вайсберг А. Органические растворители / А. Вайсберг, Э. Проскауер, Дж. Риддик, Э. Тупс. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 520с.
12. Органикум: В 2-т. – Т. 2; пер. с нем. – М.: Мир, 1992. – 474 с.
13. Сверн Д. Органические реакции. Сб. 7 / Д. Сверн; пер. с англ. – М.: ИЛ, 1956. – С. 493.
14. Чулановский В.М. Инфракрасные спектры поглощения полимеров и вспомогательных веществ / В.М. Чулановский – Л.: Химия, 1969. – 356 с.
-

Відомості про авторів:

Блажеєвський М.Є., д. хім. н., професор, НФаУ
Агафонов О.М., асистент, ДонНМУ ім. М. Горького.

Адреса для листування:

Агафонов Олександр Михайлович. 83003, м. Донецьк, пр-т Ілліча, 16, корп. 2/93.
Тел. (050) 304 56 56.
E-mail: chuh2008@yandex.ru