

INVESTIGATION OF OXIDATIVE DEGRADATION OF VEGETABLE OILS OF VARIOUS DEGREES OF SATURATION WITH TOCOPHEROL

I. Radziewska, O. Melnik

National University of Food Technologies

Key words:

*Oxidation inhibitors
The degree of saturation
Kinetic parameters
The method of DPPH
Antioxidant activity*

Article history:

Received 02.02.2016
Received in revised form
16.02.2016
Accepted 12.03.2016

Corresponding author:

I. Radziewska
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The content of tocopherol isomers and their activity in oil of different refining degree (from pressed unrefined oil to refined deodorized oil) were studied. It is shown that the isomeric composition of tocopherols influences the rate and kinetics of elongation as well as termination of radical chain oxidation. The relationship between the fatty acid composition of the oil, in particular with the content of unsaturated fatty acids, the flow rate of peroxidation reactions and content of oxidation inhibitors is related. It is shown that the critical factor while breaking the oxidation reactions is the inhibitory effect of tocopherol, namely its total content over the maximum content of α -isomer.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕННОСТИ В ПРИСУТСТВИИ ТОКОФЕРОЛА

И.Г. Радзиевская, О.П. Мельник

Национальный университет пищевых технологий

В статье исследовано содержание изомеров токоферола и их активность в растительных маслах с разной глубиной рафинации — от прессовых нерафинированных до рафинированных дезодорированных. Показано, что изомерный состав токоферолов оказывает влияние на скорость и кинетику процессов удлинения и обрыва радикальных цепей окисления. Установлена связь между жирнокислотным составом масла, в частности содержанием ненасыщенных жирных кислот, скоростью протекания реакций пероксидации и содержанием ингибиторов окисления. Подчеркнуто, что решающим фактором при торможении окислительных реакций является ингибирующее влияние токоферола, а именно его общее содержание при наибольшем содержании α -изомера.

Ключевые слова: окисление, ингибиторы, степень насыщенности, кинетические параметры, метод DPPH, антиоксидантная активность.

Постановка проблемы. Важное место в физической химии занимают радикальные реакции окисления, лежащие в основе ряда технологий. Изучение

взаимосвязи реакционной способности реагентов в таких реакциях с их строением является одной из основных задач физической химии. Среди этих реакций немалое значение имеют реакции с участием пероксидных радикалов [1—4], вызывающие окислительную деструкцию органических соединений, предотвратить которую можно с помощью природных и синтетических ингибиторов [5—8].

С теоретической и практической точки зрения большой интерес представляют особенности процесса окисления ацилглицеролов жиров и закономерности, регулирующие скорость и направление этого процесса [4, 8—11], поэтому исследование процесса окисления растительных масел и жиров является актуальной задачей как для пищевой промышленности, так и для физической химии, что позволяет на практике решать основную задачу физической химии — предсказание хода химического процесса и конечного результата и дает возможность управлять этим процессом.

Скорость окисления растительных масел и жиров определяется строением радикалов жирных кислот, входящих в состав триглицеролов, температурными условиями, присутствием в жирах катализаторов и ингибиторов окисления, действием света и кислорода [11].

Несмотря на пристальное внимание ученых к проблеме защиты органических соединений от окислительной порчи, эта проблема далека от своего решения. Углубленное изучение механизма окислительных превращений безусловно необходимо и особенно актуально при поиске путей стабилизации пищевых жиров, что связано со сроками хранения, уменьшением потерь жирового сырья и готовой продукции при их добыче и переработке.

Проблема повышения устойчивости растительных масел к окислению связана с исследованием активности и механизма действия содержащихся в них антиоксидантов. Токоферолы представляют собой природные антиоксиданты масел и жиров. Проявление их действия заключается в увеличении индукционного периода и снижении скорости окисления [6, 7].

Цель статьи. Исследование связи между степенью ненасыщенности триглицерольного состава природных масел, содержанием в них комплекса натуральных антиоксидантов разной активности и скоростью окисления в условиях автоокисления.

Материалы и методы. Для проведения экспериментов выбраны образцы наиболее используемых растительных масел: подсолнечное, кукурузное, оливковое, грецкого ореха, пальмовое и пальмоядровое.

Хроматографические исследования состава метиловых эфиров жирных кислот проведены на газовом хроматографе Hewlett-Packard HP 6890 с пламенно-ионизационным детектором, инжектор S/S с выделением потоков, колонка Sp2380, длина 100 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина покрытия 0,2 мкм. Детекцию токоферолов осуществляли с помощью жидкостного хроматографа Hewlett-Packard HP1100 с флуоресцентным и диодно-матричным детекторами, возвратно-фазовая колонка Hypersil MOS диаметром 2,1 мм, длина 200 мм.

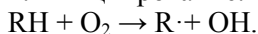
Активность природных антиоксидантов определяли методом со стабильным хромоген-радикалом DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) на спектро-

фотометре HeliosOmegaUV-VIS (Thermoscientific). Для приготування робочих розчинів застосовували 96-процентний метиловий спирт, початкова концентрація DPPH в реакційній сумішці становила $7 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Степень обесцвечування розчинів DPPH після внесення масел визначали спектрофотометрично при 515 нм. Реакцію проводили без доступу світла в кварцевих кюветах товщиною 10 мм.

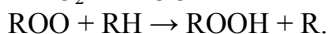
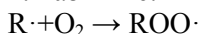
Результати та їх обговорення. В реальних умовах в маслах присутні гідропероксида, які накопчуються в жирах в процесі їх виробництва [11], тому основним джерелом радикалів в системі стає розпад гідропероксидів.

Процес окислення рослинних масел — ланцюговий вільнорадикальний процес, який може бути описаний наступними стадіями [3, 11—13]:

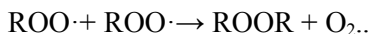
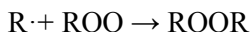
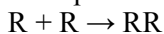
1. Ініціювання:



2. Розвиток:

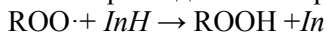


3. Обрив:



В першій ініціюючій фазі з ліпидного субстрату під дією ініціатора утворюється вільний радикал. Розгалуження ланцюгів відбувається в результаті радикального розпаду гідропероксидів, які є єдиними первинними продуктами окислення.

При умові присутності в маслах інгібітора з'являється додатковий канал витрати пероксидних радикалів:



В основі будови токоферолів — природних інгібіторів ланцюгових процесів — молекула 6-гідрокси-2-метил(4', 8', 12'-триметилтридецил)-хроману. Токоферолі відрізняються кількістю метильних груп в ядрі хроману (рис. 1).

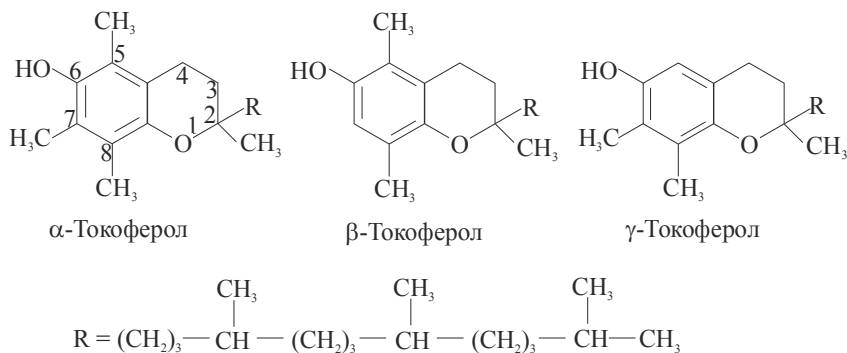


Рис. 1. Структура молекул ізомерів токоферолу

Изомеры токоферола не равнозначны по своей антирадикальной эффективности.

Известно [6, 7, 11], что антирадикальная эффективность токоферолов, которая повышается от α - к γ -изомеру, непропорциональна к их витаминной активности, которая снижается в этом ряду. Ингибирующее действие токоферола обусловлено наличием в его структуре О-Н-группы, присоединенной к ароматическому ядру и экранированной метильными группами. Благодаря наличию системы π -электронов происходит смещение отрицательного заряда на кислород, результатом чего становится возможным достаточно легкий отрыв атома водорода в гидроксильной группе -ОН с образованием радикальной формы — (T \cdot) токоферола. Токоферолы могут отдавать атом водорода из 6-гидроксигруппы хроманового кольца пероксидному радикалу липида и нейтрализовывать его. Токоферол (T) с потенциалом восстановления 500 мВ отдаёт водород пероксидному радикалу липида ROO \cdot , имеющему потенциал восстановления 1000 мВ, образуя гидроперекись липида (ROOH) и окси-радикал токоферола (T \cdot), который более стабилен, чем радикал липида вследствие его резонансной структуры. Это приводит к замедлению скорости окисления на стадии разветвления цепи при автоокислении [14].

Для определения содержания токоферолов использовали метод жидкостной хроматографии высокораздельной способности [15] (табл. 1).

Таблица 1. Содержание токоферолов в образцах исследованных масел

Образец растительного масла	Общее содержание, мг%	Изомеры, % общего содержания			Суммарное количество, мг%, (по Codex Alimentarius)
		α	β	$\gamma + \delta$	
Подсолнечное нерафинированное	95	91,5	8,5	-	40,3—102,1
Грецкого ореха пресловое	109	46,4	48,0	5,6	56,0—113,0
Оливковое первого отжима	10	73,7	26,3	-	13,0—45,3
Подсолнечное рафинированное дезодорированное	61	92,2	-	7,8	44,0—152,0
Кукурузное рафинированное дезодорированное	655	49,1	42,4	8,5	31,4—347,2
Пальмовое	9	0,4	74,0	52,6	15,0—150,0
Пальмоядровое	56	27,0	73,0	-	30,0—180,0

Установлено, что содержание токоферолов зависит как от вида масла, так и от глубины его рафинации. Рафинация масел включает комплекс последовательных этапов обработки масла физическими (отстаивание, фильтрование, центрифугирование), химическими (нейтрализация) и физико-химическими методами (вымораживание восков, отбеливание, гидратация, дезодорация). Каждый их перечисленных этапов приводит, в частности, к снижению содержания токоферолов, что ускоряет процесс окисления масла при хранении.

Высокое содержание токоферолов среди исследуемых образцов обнаружено в кукурузном рафинированном масле. Наименьшее содержание токоферолов было зафиксировано в пальмовом масле. В подсолнечном нерафинированном масле общая концентрация токоферолов, которые на 91,5 %

представлены α -токоферолом, не превышает 95 мг%. γ - и δ -изомеры в исследуемых образцах представлены незначительным количеством — от 5,6 % в масле грецкого ореха до 52,6 % в пальмовом, что обусловлено природными особенностями масел.

Для исследования особенностей протекания окислительной деструкции триглицеролов масел был изучен их жирнокислотный состав методом хроматографии высокораздельной способности [16] (табл. 2).

Таблица 2. Содержание жирных кислот в образцах исследуемых масел

Жирная кислота	Содержание в маслах, %					
	Подсолнечное	Грецкого ореха	Оливковое	Кукурузное	Пальмовое	Пальмоядровое
Насыщенные жирные кислоты						
C 6:0	-		-	-	-	0,81
C 8:0	-		-	-	-	2,43
C 10:0 Capric	-		-	-	-	2,67
C 12:0	-		-	-	0,91	49,67
C 14:0	0,08	0,02	-	-	1,95	15,12
C 16:0	6,73	6,06	11,95	6,47	59,60	6,55
C 17:0	-	-	-	-	0,11	-
C 18:0	3,55	2,02	3,15	3,59	5,59	-
C 20:0	0,23	0,08	0,37	0,25	0,43	0,11
C 22:0	0,58	0,02	0,10	0,56	0,07	0,02
C 24:0	0,20	-	-	0,19	0,08	-
Всего	11,37	8,2	15,57	11,06	68,74	77,38
Мононенасыщенные жирные кислоты						
c9-C16:1	0,10	0,10	0,94	0,10	-	0,11
C 18:1w12t Petroselaidic	-	16,56	-	-	-	-
t9-C 18:1 Elaidic	-	-	-	-	0,16	-
C 18:1w9c Oleic	24,61	-	72,09	27,77	25,31	1,00
C 18:1w7c	1,05	-	-	-	0,70	18,99
C 20:1w9	0,17	0,18	-	-	0,07	-
C 24:1	-	-	0,36	-	-	-
Всего	25,93	16,84	73,39	27,87	26,24	19,99
Полиненасыщенные жирные кислоты						
9,12-c, t-C18:2	-	-	-	-	0,12	-
9,12- t, c-C18:2	-	-	-	-	0,12	-
C 18:2w6c Linoleic	62,59	61,36	7,13	59,99	4,78	2,54
C 18:3w3 a-Linolenic	0,10	13,60	0,60	0,12	-	-
C 22:2	-	-	0,10	-	-	-
Всего	62,69	74,96	7,83	60,11	5,02	2,54
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

В составе тропических масел преобладают насыщенные жирные кислоты, тогда как подсолнечное масло, масло грецкого ореха и кукурузное относятся к группе с наибольшей массовой долей полиненасыщенной линолевой кислоты C18:2, 62,59 %, 61,36 % и 59,99 % соответственно. Оливковое масло содержит наибольшее количество мононенасыщенной олеиновой кислоты C18:1 — 72,09 %.

Из литературы известно [11, 17], что скорость окисления мононенасыщенной олеиновой кислоты C18:1 превышает скорость окисления насыщенной стеариновой кислоты C18:0 в 11 раз, а полиненасыщенной линолевой кислоты C18:2 — в 114 раз, поэтому жидкие растительные масла в наибольшей степени подвергаются окислительной деструкции при повышенной температуре и последующем хранении пищевых продуктов.

Линолевая и линоленовая кислоты активно участвуют в реакциях изомеризации, циклизации и полимеризации. Линолевая кислота и более высоконенасыщенные кислоты начинают окисляться при температурах ниже 60 °С, а олеиновая кислота — при температуре выше 100 °С, поэтому олеиновая фракция пальмового масла получила широкое распространение как высоко-рентабельное масло для использования при повышенных температурах, т.к. обладает высокой стойкостью к окислению по сравнению с другими видами модифицированных жиров [17].

Кинетику окисления проб масел в каждой контрольной точке исследовали в условиях свободного доступа света и воздуха (автоокисление) при температуре 22±2 °С по накоплению в них гидропероксидов за изменением перекисного числа (ПЧ) по стандартной методике [18] (рис. 2).

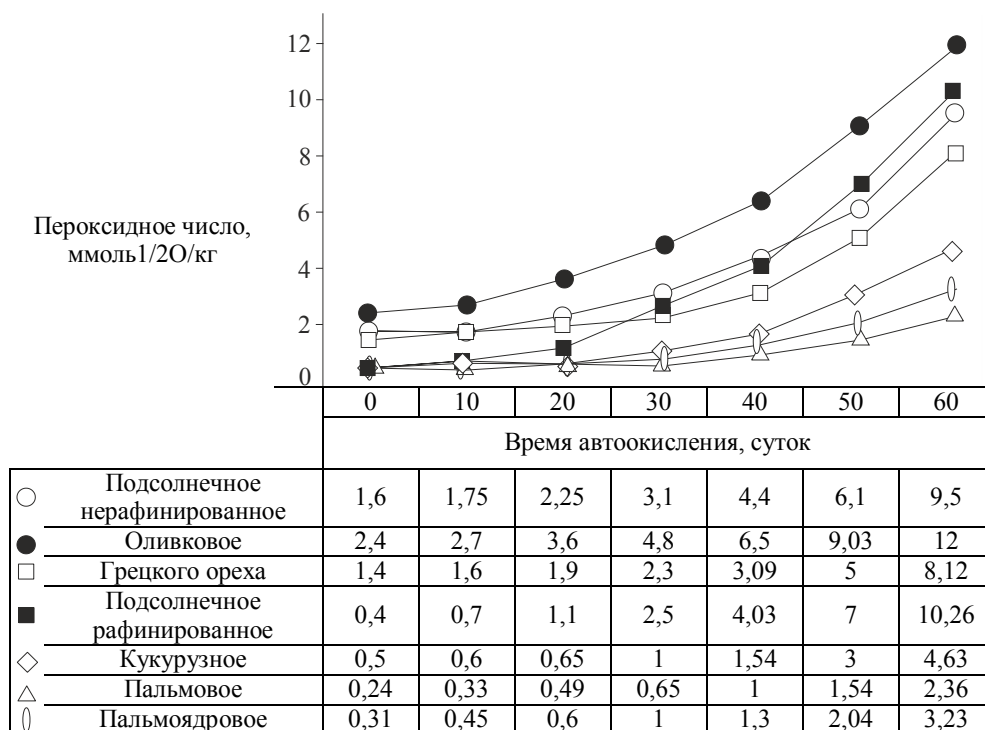


Рис. 2. Динамика автоокисления исследуемых масел

Общей особенностью окисления ацилглицеролов жиров молекулярным кислородом является своеобразный характер кинетики этого процесса. В начале контакта кислорода с неокисленными жирами окисление протекает с

весьма незначительной скоростью. Этот период действия кислорода, в разных случаях имеющий разную продолжительность, называется индукционным.

Так, наиболее стабильными оказались масла тропического происхождения — пальмовое и пальмоядровое: величина ПЧ в конце опыта для них составляет 2,36 и 3,23 ммоль^{1/2}O/кг, соответственно. Это можно объяснить как жирнокислотным составом масел, так и низким начальным значением ПЧ в маслах, которое находится в пределах периода индукции окисления. Аналогичные результаты получены для кукурузного масла — при низком начальном значении ПЧ выявлена высокая стабильность после 60 суток окисления. Ход окисления подсолнечного и орехового масла происходит подобным образом — наблюдается период индукции в течение 30 суток и быстрое накопление гидропероксидов к концу окисления.

Определение показателей окисляемости масел позволило применить графический метод Цепалова для расчета кинетических параметров процесса окисления. Согласно теории цепных радикальных процессов с участием ингибиторов уравнение скорости окисления имеет вид [19]:

$$W = \frac{k_{p2} \cdot [RH]}{k_7 \cdot f \cdot [InH]} \cdot W_i, \quad (1)$$

где k_7 — константа скорости реакции обрыва цепей (константа скорости взаимодействия пероксидных радикалов с природными антиоксидантами); f — коэффициент ингибирования (ёмкость ингибитора) — количество свободных радикалов, «погибающих» на одной молекуле ингибитора; $[InH]$ — концентрация антиоксиданта (ингибитора); W_i — скорость инициирования; k_{p2} — константа скорости удлинения цепи; $[RH]$ — концентрация продукта.

Концентрация ингибитора во времени изменяется по закону:

$$f \cdot [InH]_t = f \cdot [InH]_0 - W_i \cdot t, \quad (2)$$

где $[InH]_t$ — концентрация ингибитора в момент времени t ; $[InH]_0$ — концентрация ингибиторов вначале процесса.

Важной характеристикой цепного процесса является период индукции τ . Период индукции тем больше, чем выше константа скорости реакции обрыва цепей и меньше скорость удлинения цепей.

Величина периода индукции τ — время, в течение которого обрыв цепей проходит на молекулах ингибитора:

$$\tau = f \cdot [InH]_0 / W_i \quad (3)$$

при условии, что $[InH]_t = 0$ и $t = \tau$.

По кинетическим кривым (рис. 2) графически определен период индукции аппроксимацией касательных в начальной области для каждого образца продукта.

Для каждого момента времени в индукционном периоде рассчитано величину $\ln(1-t/\tau)$ и построено зависимость ПЧ- $\ln(1-t/\tau)$ (рис. 3).

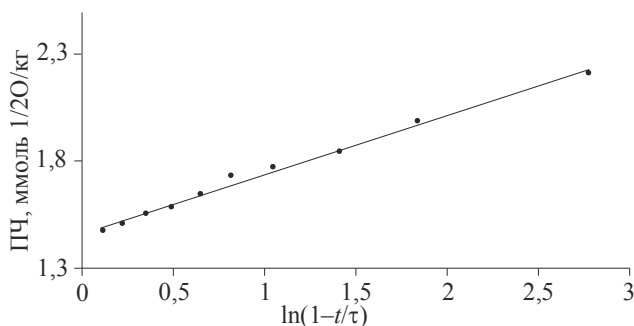


Рис. 3. Скорость окисления (на примере масла грецкого ореха)

Параметр k_{p2} / k_7 , что соответствует отношению констант скоростей реакций удлинение и обрыва цепей в периоде индукции, рассчитан как $\text{tg}\alpha$ угла наклона прямой ПЧ- $\ln(1-t/\tau)$. Результаты приведены в табл. 3

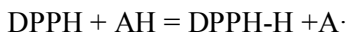
Таблица 3. Кинетические параметры окисления исследуемых масел

Образец масел	$(k_{p2} / k_7) \cdot 10^2$, (л/моль·с)
Подсолнечное нерафинированное	2,82
Грецкого ореха прессовое	3,07
Оливковое первого отжима	4,55
Подсолнечное рафинированное дезодорированное	2,93
Кукурузное рафинированное дезодорированное	3,88
Пальмовое	1,84
Пальмоядровое	2,66

Лучшие кинетические параметры имеют пальмовое и пальмоядровое масла: значения констант k_{p2} / k_7 равны 1,84 и 2,66 соответственно, что указывает на преобладание скорости реакции обрыва цепей на молекулах ингибитора перед реакциями удлинения. Скорость иницирования при автоокислении масел определяется их жирнокислотным составом (при прочих равных условиях), прежде всего содержанием моно- и полиненасыщенных кислот [5, 8, 11]. Итак, по мере увеличения содержания насыщенных жирных кислот в структуре триглицерола скорость иницирования W_i уменьшается.

Поскольку скорость реакции зарождения цепей (скорость иницирования) для линолевой кислоты примерно на порядок выше, чем для олеиновой [11, 12], то и скорость иницирования для масла с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот должна быть выше, а период индукции соответственно меньшим. Это и наблюдается при окислении насыщенных тропических масел.

Для определения активности природных антиоксидантов как ловушек свободных радикалов использован метод с DPPH [20, 21]. Стандартным веществом выступал α -токоферол. DPPH, растворимый в метаноле, реагирует с образцом антиоксиданта по схеме:



В результате восстановления DPPH антиоксидантом образца обесцвечивается пурпурно-синяя окраска DPPH, а реакция контролируется изменением оптической плотности. Определение проводили каждые 15 мин в течение 1 часа.

Антиоксидантную активность образцов масел рассчитывали по формуле:

$$AA = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \cdot 100\%, \quad (4)$$

где A_1 — величина поглощения раствора исследуемого образца с раствором DPP; A_2 — величина поглощения раствора исследуемого образца с раствором метанола; A_3 — величина поглощения раствора DPPH в метаноле.

Величину антиоксидантной активности образцов масел определяли по калибровочной кривой (рис. 4).

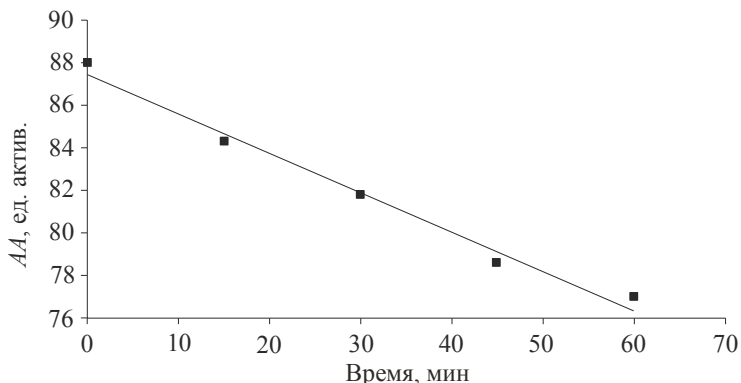


Рис. 4. Калибровочная кривая антиоксидантной активности
(на примере пальмового масла)

Значение результатов выражено через значения параметров EC_{50} — концентрации антиоксиданта, при которой происходит 50 % ингибирование радикала DPPH. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4. Антиоксидантная активность исследуемых образцов

Образец масла	AA, ед. акт.
Подсолнечное нерафинированное	50,0
Грецкого ореха пресловое	53,2
Оливковое первого отжима	73,1
Подсолнечное рафинированное дезодорированное	58,2
Кукурузное рафинированное дезодорированное	45,0
Пальмовое	81,8
Пальмоядровое	77,3

По данным реакции с DPPH, наиболее стабильным к процессам окисления является кукурузное рафинированное масло, поскольку примерно половина его витаминной активности реализуется за счет α -токоферола, который выступает ингибитором реакций окисления. Тропические масла, содержащие незначительное количество природного антиоксиданта, быстро окисляются уже на начальных стадиях реакции с DPPH, что хорошо видно при сравне-

нии: пальмовое масло с содержанием 9 мг% токоферола портится скорее пальмоядрового с содержанием токоферолов 56 мг%. Общее содержание токоферола в оливковом и пальмовом маслах практически не отличается, однако в изомерном составе оливкового масла преобладает высокоактивный α -токоферол, что и объясняет большую антиоксидантную активность оливкового масла при примерно равных скоростях окисления рассматриваемых масел. Подсолнечное и ореховое масло мало отличаются по скорости начальных этапов окисления, что можно объяснить как аналогичным методом добычи (прессовым), так и близким значением содержания ингибитора.

Выводы

Изучена зависимость величины периода индукции окисления растительных масел с природным содержанием ингибиторов в условиях автоокисления. Показано, что решающим фактором при торможении окислительных реакций является ингибирующее влияние токоферола — его общее содержание при наибольшем содержании α -изомера по сравнению со степенью ненасыщенности жирнокислотного состава масел. Полученные результаты автоокислительной стабильности масел коррелируют с параметром антиоксидантной активности, который учитывает взаимное влияние факторов удлинения и обрыва цепей окисления. Перспективным является продолжение исследований химизма взаимодействия пероксидных радикалов на молекулах жирных кислот в условиях ингибированного процесса.

Литература

1. *Сахаутдинова Р.А.* 5-амино-6-метилурацил и его производные как ингибиторы радикально-цепного окисления 1,4-диоксана: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. хим. наук: спец. 02.00.04 «Физическая химия» / Р.А. Сахаутдинова. — Уфа, 2014. — 20 с.
2. *Стромберг А.Г.* Физическая химия / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. — Москва: Высшая школа, 1988. — 496 с.
3. *Фомин В.М.* Радикально-цепное окисление органических соединений и его торможение ингибиторами фенольного типа / В.М. Фомин. — Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2010. — 37 с.
4. *Храпова Н.Г.* Кинетические характеристики природных антиоксидантов растительных масел / Н.Г. Храпова, И.П. Скибида, В.М. Мисин // Химическая физика. — 2010. — 29, № 6. — С. 76—80.
5. *Гусева Д.А.* Антиоксидантная активность растительных масел с разным соотношением омега-6/омега-3 жирных кислот / Д.А. Гусева, Н.Н. Прозоровская, А.В. Широин, М.А. Санжаков, Н.М. Евтеева, И.Ф. Русина, О.Т. Касаикина // Биомедицинская химия. — 2010. — 56, № 3. — С. 342—350.
6. *Ковтун Г.А.* Химия ингибиторов окисления органических соединений / Г.А. Ковтун, В.А. Плужников. — Киев: Наук. думка, 1995. — 296 с.
7. *Надилов Н.К.* Токоферолы — биологически активные вещества / Н.К. Надилов. — Москва: Знание, 1981. — 64 с.
8. *Denisov E.T.* Handbook of Antioxidants / E.T. Denisov, T.G. Denisova. — CRC Press Boca Raton, 2000. — P. 289.
9. *Півень О.М.* Технологія стабілізації харчових жирів щодо окиснювального псування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.06 «Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів» / О.М. Півень. — Харків, 2007. — 21 с.

10. *Kulisic T.* Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil / T. Kulisic, A. Radonic, V. Katalinic, M. Milos // *Food Chemistry*. — 2004. — 85. — P. 633—640.
11. *Хімія жирів* / Б.Н. Тютюнников, З.І. Бухштаб, Ф.Ф. Гладкий, І.М. Демидов. — Харків: НТУ «ХПІ», 2002. — 452 с.
12. *Денисов Е.Т.* Циклические механизмы обрыва цепей в реакциях окисления органических соединений / Е.Т. Денисов // *Успехи химии*. — 1996. — Т. 65, № 6. — С. 547—563.
13. *Семенов Н.Н.* Цепные реакции / Н.Н. Семенов. — Москва: Наука, 1986. — 535 с.
14. *Liebler D.C.* Oxidation of vitamin E: evidence for competing autoxidation and peroxy radical trapping reaction of the tocopheroxyl radical / D.C. Liebler, P.F. Baker, K.L. Kaysen // *JACS*. — 1990. — № 112. — P. 6995—7000.
15. *ДСТУ ISO 9936:2004* «Жиры животные и растительные и масла. Определение содержания токоферолов и токотриенолов методом жидкостной хроматографии высокораздельной способности (ISO 9936: 1997, IDT)». — Киев: Госпотребстандарт Украины, 2004. — 12 с.
16. *ДСТУ ISO 5509:2002* «Жиры и масла животные и растительные. Приготовление метиловых эфиров жирных кислот (ISO 5509: 2000, IDT)». — Киев: Госпотребстандарт Украины, 2003. — 26 с.
17. *Демидов И.Н.* Жиры, используемые для фритюра, проблемы качества и безопасности / И.Н. Демидов, Л.Н. Кузнецова // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. — 2011. — № 5. — С. 146—152.
18. *ДСТУ 4570:2006* «Растительные жиры и масла. Метод определения перекисного числа». — Киев: Госпотребстандарт Украины, 2007. — 8 с.
19. *Цепалов В.Ф.* Определение константы скорости и коэффициентов ингибирования стабилизаторов с помощью модельной реакции / В.Ф. Цепалов, А.А. Харитонов, Г.П. Гладышев, Н.М. Эммануэль // *Кинетика и катализ*. — 1977. — № 6. — С. 1395—1402.
20. *Goupy P.* Quantitative Kinetic Analysis of Hydrogen Transfer Reactions from Dietary Polyphenols to the DPPH Radical / P. Goupy, C. Dufour, M. Loonis, O. Dangles // *J. Agric. Food Chem.* — 2003. — 51. — P. 615—622.
21. *Scherer R.* Antioxidant activity index (AAI) by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method / R. Scherer, H. Godoy // *Food Chem.* — 2009. — 112. — P. 654—658.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКИСНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЙ РІЗНОГО СТУПЕНЯ НАСИЧЕНОСТІ ЗА НАЯВНОСТІ ТОКОФЕРОЛУ

І.Г. Радзієвська, О.П. Мельник

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вміст ізомерів токоферолу і їх активність у рослинних оліях з різною глибиною рафінації — від пресових нерафінованих до рафінованих дезодорованих. Показано, що ізомерний склад токоферолів впливає на швидкість і кінетику процесів подовження й обриву радикальних ланцюгів окиснення. Встановлено зв'язок між жирнокислотним складом олії, зокрема вмістом ненасичених жирних кислот, швидкістю перебігу реакцій пероксидації і змістом інгібіторів окиснення. Зазначено, що вирішальним фактором при гальмуванні окислювальних реакцій є інгібуючий вплив токоферолу, а саме: його загальний вміст при найбільшому вмісті α -ізомеру.

Ключові слова: окислення, інгібітори, ступінь насиченості, кінетичні параметри, метод DPPH, антиоксидантна активність.