

УДК 541.127

©Коллектив авторов

АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ К ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ЛЬНЯНОГО МАСЛА, ОБОГАЩЕННОГО АНТИОКСИДАНТАМИ

Д.А. Гусева¹, Н.Н. Прозоровская^{1*}, И.Ф. Русина², О.М. Ипатова¹

¹ГУ Научно-исследовательский институт биомедицинской химии
им. В.Н. Ореховича РАМН, 119121, Москва, ул. Погодинская, д. 10;
эл. почта: nat-prozorovskaya@yandex.ru

²ГУ Научно-исследовательский институт химической физики
им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

Методом хемилюминесценции (ХЛ) измерены эффективная концентрация антиоксидантов и их антирадикальная активность (АРА) в масле Убикато-лен (биологически активная добавка на основе льняного масла) и льняном масле, обогащенном экстрактом *Aronia melanocarpa*. Согласно полученным данным, самую высокую антирадикальную активность имеют антиоксиданты (АО), присутствующие в масле Убикато-лен, однако оно имеет самую низкую устойчивость к окислительным изменениям при хранении. Убикато-лен может служить источником АО при хранении не более 6 месяцев. Наиболее высокую устойчивость к окислительным изменениям проявляет льняное масло, обогащенное экстрактом аронии, который оказывает заметное ингибирующее действие на рост перекисного числа при хранении масла.

Ключевые слова: льняное масло, токоферол, бета-каротин, убихинон, *Aronia melanocarpa*, антирадикальная активность.

ВВЕДЕНИЕ. Льняное масло отличается высоким содержанием α -линоленовой кислоты семейства ω -3 ($C_{18:3} \omega 3$) и обладает целым рядом лечебно-профилактических свойств [1]. Помимо незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), льняное масло содержит композицию биологически активных минорных компонентов (включая токоферолы, каротиноиды, фосфолипиды, стерины) и представляет собой уникальный продукт со сбалансированным природой составом, обладающий высокой антирадикальной активностью [2]. Однако благодаря присутствию высокореактивных двойных связей ПНЖК легко окисляются, что, при недостатке в организме антиоксидантов (АО), может привести к увеличению потенциальных субстратов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и негативно отразиться на состоянии здоровья. Поэтому для обеспечения положительного эффекта длительное потребление льняного масла в лечебно-профилактических целях должно сопровождаться дополнительным приёмом АО, ингибирующих процесс ПОЛ [3]. С этой целью была разработана БАД “Масло Убикато-лен”, представляющая собой льняное масло, обогащенное ингибиторами ПОЛ: витамином Е, β -каротином и коферментом Q10 (Co Q10) [4]. Все эти соединения в малых количествах присутствуют в семенах льна, но в значительной степени или полностью теряются при отжиме масла.

* - адресат для переписки

Кроме того, высокая ненасыщенность льняного масла делает его чувствительным к окислительной порче при хранении. Введение в льняное масло АО может повысить его устойчивость и продлить сроки хранения. С этой целью льняное масло было обогащено экстрактом листьев аронии черноплодной, обладающим антиоксидантными свойствами [5-7].

В настоящей работе было проведено сравнительное исследование льняного масла, БАД на основе льняного масла (Убикато-1 и Убикато-2) и льняного масла, обогащенного экстрактом аронии, по таким показателям как эффективная концентрация антиоксидантов и их антирадикальная активность (АРА), измеряемым хемилюминесцентным методом (ХЛ-метод), и устойчивость к окислительным изменениям, которые оценивали по росту перекисного числа (ПЧ), определяемого йодометрическим титрованием.

МЕТОДИКА.

Материал. В работе использовали: льняное масло (ЛМ), полученное однократным прессованием целых очищенных семян льна [8]; БАД “Масло Убикато-лен”, далее обозначаемая как Убикато, представляющая собой льняное масло, обогащенное витамином Е (100 мг/100 г), Со Q10 (50 мг/100 г) и β-каротином (20 мг/100 г); **Убикато-1**, в котором использованы АО, полученные методом химического синтеза: Со Q10 (“Sumitomo Corporation”, Япония), β-каротин (“Hoffmann-La Roche”, Швейцария) и витамин Е в виде d,l-токоферил ацетата (“ICN”, США); **Убикато-2**, в котором использованы натуральные АО из растительного сырья на основе соевого масла: β-каротин; смесь токоферолов (80% d- α- и 0% β-, γ-, δ-токоферолы) и Со Q10 из морских водорослей (Япония); льняное масло, обогащенное экстрактом аронии “ЛМ+экстракт”; сухой очищенный экстракт листьев аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*), содержащий сумму фенольных соединений, включая проантоцианидины и флавоноловые гликозиды кверцетинового ряда [5-7].

Для сравнительной оценки величины константы k_7 использовали: DL-α-токоферол (“Serva”, Германия) и β-каротин (“Hoffmann-La Roche”).

Методы.

Хемилюминесцентный метод (ХЛ-метод). Эффективную концентрацию антиоксидантов и их относительную активность измеряли ХЛ-методом, суть которого состоит в регистрации интенсивности хемилюминесценции (ХЛ) модельной цепной реакции инициированного окисления углеводорода (RH) при известной скорости инициирования после введения в систему антиоксиданта или ингибитора окисления [2, 7, 9].

В качестве субстрата окисления использовали кумол (50%) и этилбензол; инициатора - азо-бис-изобутиронитрил (АИБН); активатора - дибромантрацен (ДБА) или хелат Eu (трис-теноил трифторацетонат европия). Масло растворяли в хлорбензоле (1:1) или бензоле (1:5); небольшое количество раствора (0,05-0,1 мл) вводили в реакционную смесь (5-6 мл), помещенную в термостатируемый реакционный сосуд, и далее регистрировали изменение интенсивности свечения.

Скорость инициирования свободных радикалов (W_i) в каждом опыте контролировали по периодам торможения, обусловленным добавками стандартного сильного ингибитора - хромана C_1 (синтетический аналог α-токоферола), для которого стехиометрический коэффициент ингибирования (f) равен строго 2, что позволяет количественно измерить W_i до и после введения образца и выхода ХЛ на стационарный уровень.

Эффективную концентрацию антиоксидантов (АО) в исследуемом образце рассчитывали по формуле:

$$\Sigma f[AO]_{эфф} = \gamma T W_i (S_1/S_0) \quad (1),$$

где γ - фактор разбавления; T - период торможения (время в секундах от момента введения образца до выхода интенсивности свечения на исходный уровень); S_1 - площадь над кривой ХЛ, затупленной ингибиторами окисления образца; S_0 - нормировка, равная сумме площадей над (S_1) и под (S_2) кинетической

кривой ХЛ; f - стехиометрический коэффициент ингибирования, показывающий количество свободных радикалов, прореагировавших с молекулой ингибитора.

Эффективную константу скорости взаимодействия АО с перокси-радикалами определяли по значению интенсивности свечения в минимуме кинетической кривой ХЛ ($i_{\min} = I_{\min}/I_0$) при добавлении исследуемого образца по формуле:

$$k_7 = \frac{(1 - i_{\min}) \sqrt{W_i / k_6}}{\Sigma f[AO] \sqrt{i_{\min}}} \quad (2),$$

подставляя в формулу значение $\Sigma f[AO]$, вычисленное по формуле (1).

Определение степени ингибирования роста перекисного числа (ПЧ) при длительном хранении и в условиях ускоренного окисления. Условия длительного хранения масла: в емкостях темного стекла объемом 100 мл, заполненных на 98%, в холодильнике (3-5°C).

Условия ускоренного окисления: исследуемые образцы выдерживали в открытых стеклянных бюксах в термостате при 60°C, сохраняя постоянным соотношение масса продукта/площадь поверхности, контактирующей с воздухом, в течение нужного времени.

Степень ингибирования роста ПЧ экстрактом аронии рассчитывали следующим образом:

$$\text{степень ингибирования ПЧ (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100,$$

где А: (ПЧ льняного масла после обработки - ПЧ масла до обработки);
Б: (ПЧ льняного масла с экстрактом аронии после обработки - ПЧ масла до обработки).

Перекисное число определяли стандартным методом [10].

Содержание токоферолов в льняном масле определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [11].

Расчёт молярной концентрации токоферолов в льняном масле производили по сумме β - и γ -изомеров, исходя из молекулярной массы 416,7 и удельной плотности льняного масла ($d = 0,932$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Основным показателем эффективности действия АО является значение константы скорости взаимодействия ингибитора с пероксильными радикалами (k_7), определяющей антирадикальную активность (АРА). Результаты измерения ХЛ-методом показали, что по АРА в порядке ее убывания образцы масел можно расположить следующим образом: Убикато-2 > Убикато-1 > ЛМ+экстракт > льняное масло (табл. 1). Хотя по скорости взаимодействия АО с перокси-радикалами по сравнению с Убикато-1 имеет преимущество Убикато-2, в производстве которого использованы натуральные АО, между ними не было обнаружено достоверных различий. Величина k_7 АО льняного масла была значительно ниже, чем k_7 БАД на основе льняного масла.

Таблица 1. Перекисное число, концентрация антиоксидантов, присутствующих в образцах масла, и антирадикальная активность, определяемая константой скорости их взаимодействия с перокси-радикалами кумола.

Образец	n	ПЧ	$\Sigma k_7 (\text{max} + \text{min}) \times 10^{-4} (\text{Mc})^{-1}$	$\Sigma f[AO] (\text{max} + \text{min}) \times 10^3 \text{ M}$
Льняное масло	6	1,8 ± 0,04	2,79 ± 0,02	3,65 ± 0,16
Убикато-1	4	2,4 ± 0,29	6,9 ± 0,46	13,4 ± 0,78
Убикато-2	4	2,6 ± 0,46	8,7 ± 0,69	11,6 ± 1,22
ЛМ + экстракт*	6	1,9 ± 0,34	5,63 ± 0,48	13,6 ± 1,24

Примечание: Здесь и в таблице 2 данные представлены в виде средней арифметической ± m.

* - Льняное масло, обогащенное экстрактом аронии (1 мг/мл).

АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЬНЯНОГО МАСЛА

Во всех исследованных образцах масла присутствовали ингибиторы двух типов: более сильные и более слабые ингибиторы замедленного действия, характеризующиеся $k_7 \max$ и $k_7 \min$, соответственно. Об этом свидетельствует характер кинетических кривых свечения при введении в систему исследуемых масел (рис.). По мере расходования сильных ингибиторов наблюдается резкое возрастание свечения, а далее следует пологий участок кривой вплоть до достижения стационарного уровня, указывающий на присутствие более слабых ингибиторов. Величина k_7 более сильных и более слабых ингибиторов различается на порядок при измерениях в кумоле и на два порядка при измерениях в этилбензоле.

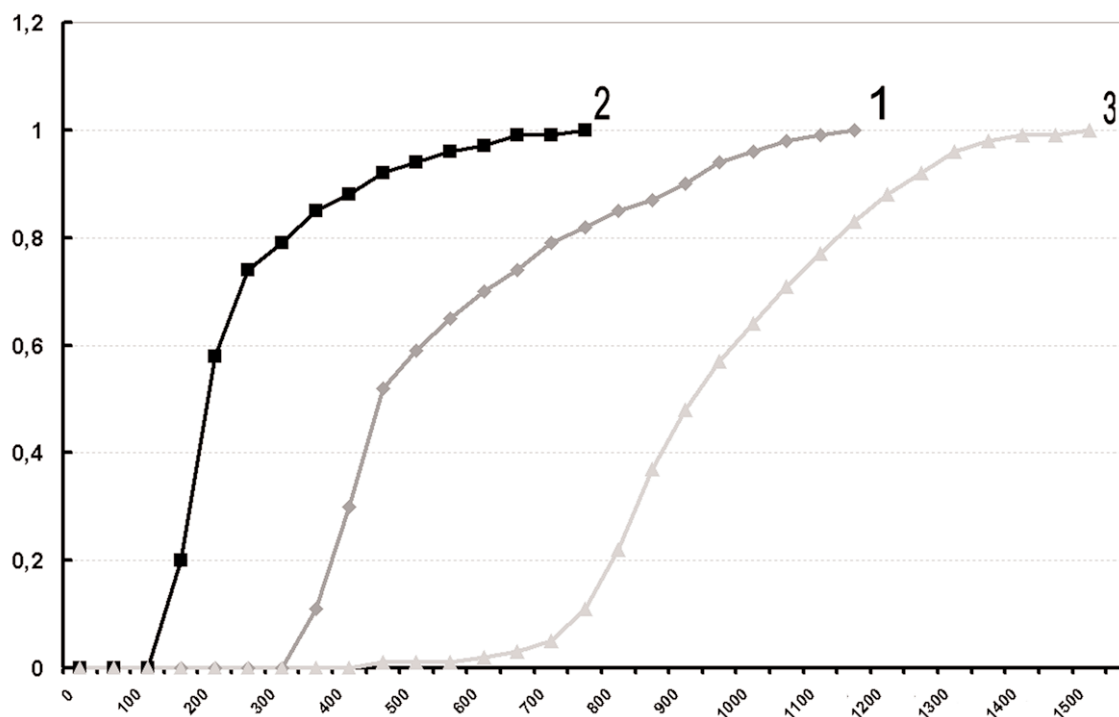


Рисунок.

Кинетические кривые свечения при введении масла Убикато-1 (2), Убикато-2 (1) и льняного масла, обогащенного экстрактом аронии (3): RH - этилбензол; T = 60°C; инициатор - АИБН; $W_i = 2,49 \times 10^{-8} \text{ (Mc}^{-1}\text{)}$, $W_i = 2,27 \times 10^{-8} \text{ (Mc}^{-1}\text{)}$ и $W_i = 2,78 \times 10^{-8} \text{ (Mc}^{-1}\text{)}$ соответственно; активатор - ДБА; растворитель - бензол (1:5).

Ордината - интенсивность свечения (относительные единицы); абсцисса - время (секунды)

Чётко прослеживается, особенно в опытах с кумолом, обратная зависимость между величиной k_7 и относительной долей эффективной концентрации АО, т.е. чем выше АРА, тем меньше относительная доля ингибиторов с данной активностью. Так, например, относительная доля ингибиторов с величиной k_7 , равной $8,7 \times 10^4 \text{ (Mc}^{-1}\text{)}$ и $2,83 \times 10^4 \text{ (Mc}^{-1}\text{)}$ составляет 13% и 79% соответственно. Расчеты показывают, что насыщенность АО льняного масла в 3-4 раза ниже ($p < 0,01$), чем насыщенность БАД на его основе (табл. 1).

Сравнительный анализ кинетических кривых (рис.) свидетельствует, что ингибиторы Убикато-2 имеют самую высокую скорость взаимодействия с пероксильными радикалами, при этом период индукции составляет 775 секунд, тогда как период индукции Убикато-1 составляет 1125 секунд, а льняного масла, обогащенного экстрактом аронии - 1500 секунд. Таким образом, ингибиторы Убикато-2 способны быстро остановить процесс окисления, но при этом и расходуются быстро. Ингибиторы экстракта аронии тормозят процесс окисления в течение более длительного времени.

Исследования, проведенные после шестимесячного хранения масел, продемонстрировали весьма значительную суммарную потерю (на 80-85%) АО в масле Убикато-лен ($p < 0,01$), тогда как в льняном масле + экстракт аронии она составила только 35%, почти столько же и в льняном масле 40% ($p < 0,01$) (табл. 2). Самая большая потеря сильных АО наблюдалась в Убикато-1, а наиболее высокая их сохранность имела место в Убикато-2 и в масле, обогащенном экстрактом.

Таблица 2. Влияние шестимесячного хранения масел при (3-5)°С на перекисное число и концентрацию антиоксидантов, исходные величины которых указаны в таблице 1.

Образец	n	ПЧ	$\Sigma[\text{АО}] \times 10^3 \text{ М}$	Потери АО (%)
Льняное масло	6	$5,1 \pm 0,37$	$2,19 \pm 0,19$	40
Убикато-1	4	$9,8 \pm 1,22$	$1,98 \pm 0,24$	85
Убикато-2	4	$11,7 \pm 1,43$	$2,29 \pm 0,39$	80
ЛМ + экстракт*	6	$3,7 \pm 0,51$	$8,8 \pm 0,43$	35

Примечание: * - Льняное масло, обогащенное экстрактом аронии (1 мг/мл).

Что касается окислительных изменений в процессе шестимесячного хранения масел, ПЧ льняного масла увеличилось в $\approx 2,8$ раза, Убикато-1 – в ≈ 4 раза и Убикато-2 – в $\approx 4,5$ раза ($p < 0,01$) (табл. 2).

Степень ингибирования роста ПЧ экстрактом аронии составила в среднем $(40,9 \pm 1,5)\%$ без значимых различий в условиях длительного хранения и в условиях ускоренного окисления. Следует отметить, что ингибирующая способность экстракта практически не зависела от его концентрации в диапазоне от 0,1 мг до 1,0 мг/мл масла. Однако имела место обратная зависимость между исходной величиной ПЧ и ингибирующей способностью экстракта ($r = -0,91 \pm 0,25$; $p < 0,05$).

Таким образом, добавление экстракта листьев аронии приводит к повышению устойчивости льняного масла к окислительным изменениям. Масло Убикато-лен хотя и обладает высокой АРА и имеет высокую концентрацию АО, но проявляет низкую устойчивость. Почему дополнительное насыщение льняного масла АО не привело к повышению устойчивости его к окислению? Почему в процессе хранения масла Убикато-лен имела место значительная потеря антиоксидантов? Причин тому может быть несколько.

Во-первых, следует учитывать исходные величины ПЧ. Жирнокислотные компоненты триглицеридов полиненасыщенного ЛМ особенно подвержены окислению. В процессе хранения происходит накопление гидроперекисей, которые являются инициаторами свободных радикалов. При начальном повышенном уровне пероксидов процесс окисления идет быстрее. Исходные величины ПЧ масла Убикато-лен были заметно выше, чем ЛМ, что могло ускорить окислительный процесс и привести к быстрому расходованию ингибиторов.

Во-вторых, известно, что при наличии смеси различных ингибиторов в цепных реакциях свободнорадикального окисления в первую очередь расходуются ингибиторы, обладающие максимальной АРА [12]. Роль сильного ингибитора в льняном масле играет γ -токоферол. Судя по данным ВЭЖХ-анализа, содержание токоферола в льняном масле составляет в среднем $56,3 \pm 3,3$ мг/100 г ($n = 14$) и колеблется в интервале 0,9-1,9 мМ, при этом токоферол бывает представлен только γ -изомером или, чаще всего, β - и γ -изомерами, на долю которых в сумме приходится 98-99%, а на долю δ -изомера - не более 2% [2]. Если принять $f = 2$ (что характерно для токоферола), тогда содержание более сильных ингибиторов в

масле, измеренное ХЛ-методом, составит 1,44 мМ (или 64 мг/100 г), что попадает в интервал концентраций токоферола, определенных методом ВЭЖХ.

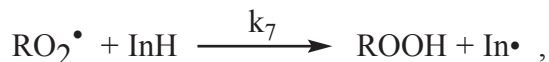
Константа k_7 для АО льняного масла, определённая ХЛ-методом при использовании в качестве субстрата окисления этилбензола, составляет $1,28 \times 10^6$ (Мс)⁻¹. Это согласуется с литературными данными по γ -токоферолу [13]. Так, константы скорости ингибирования, измеренные в этилбензоле как субстрате окисления, имеют величины для α -, β -, γ - и δ -изомеров $3,1 \times 10^6$; $1,9 \times 10^6$; $1,4 \times 10^6$ и $0,85 \times 10^6$ (Мс)⁻¹ соответственно [13]. При наличии в системе одновременно нескольких изомеров токоферола их суммарный эффект будет ниже, чем ингибирующая активность, проявляемая ими в отдельности, т.е. простая сумма эффектов, производимых индивидуальными АО порознь, значительно выше, чем действие их в смеси [12]. Поэтому добавление смеси ингибиторов не приводит к повышению антирадикальной активности. Кроме того, измеренная в моделях автоокисления антиокислительная активность α -токоферола ниже активности γ -токоферола [12], который, главным образом, и содержится в льняном масле.

В-третьих, антиоксидантный пул Убикато-лен формируется как за счёт добавленных в масло витамина Е, Со Q10 и β -каротина, так и за счет естественно присутствующих в льняном масле токоферолов. К сильным ингибиторам относятся токоферолы, эффективное значение константы скорости взаимодействия которых составляет $(2,4-3,2) \times 10^6$ (Мс)⁻¹; каротиноиды и убихинон (СоQ10) относятся к умеренным ингибиторам: $k_7 = (3,5-5,0) \times 10^4$ (Мс)⁻¹ [14]. Однако добавленный в Убикато-1 витамин Е в виде сложного эфира (α -токоферилацетата) практически не реагирует со свободными радикалами, между тем в организме он дезэстерифицируется, переходя в α -токоферол, который активно взаимодействует со свободными радикалами. Кофермент Q10 в хинонной форме обладает низкой антирадикальной активностью: $k_7 = (2,8 \pm 0,2) \times 10^2$ (Мс)⁻¹ [15]. Величина антирадикальной активности β -каротина ("Hoffmann-La Roche"), согласно нашим измерениям, составляет $1,47 \times 10^4$ (Мс)⁻¹. Так что, по сравнению с Убикато-2, содержащим натуральные АО, антиоксидантный пул Убикато-1 заметно слабее. Величина $k_{7 \text{ max}}$ для Убикато-2, измеренная в кумоле ($8,7 \times 10^4$), совпадает с таковой для α -токоферола ($8,5 \times 10^4$).

В-четвёртых, следует отметить, что использование антиоксидантных комплексов сопряжено с известными трудностями, поскольку необходимо учитывать межмолекулярные взаимодействия АО в процессе окисления, которые могут привести как к синергизму, так и к антагонизму [16]. В случае Убикато-лен нельзя исключить возможность антагонизма между токоферолом и убихиноном, поскольку показано, что в действиях смесей, содержащих АО двух типов - фенольного (токоферол) и хинонного (убихинон), - экспериментально наблюдается антагонизм. Результаты других исследований свидетельствуют, что кофермент Q и витамин Е при защите биологических мембран от окисления действуют не независимо, а объединены в регенеративный цикл, в котором более мощный антиоксидант, витамин Е, переходящий при окислении в токофероксильный радикал, превращается восстановленными формами кофермента Q в исходное состояние [15]. Возможен также антагонизм между α -токоферолом и бета-каротином [16]. На возможность явлений антагонизма в масле Убикато-лен указывают результаты исследований с долгосрочным хранением масел (табл. 2).

Приведенные выше данные свидетельствуют об истощении масла Убикато-лен по АО после 6 месяцев хранения. Суммарная эффективная концентрация АО перестает отличаться от таковой льняного масла, хотя АРА антиоксидантов Убикато-лен продолжает превышать АРА антиоксидантов льняного масла. Отсюда следует, что после 6-месячного хранения масло Убикато-лен уже не может играть предназначенной ему роли по адекватному снабжению организма АО одновременно с поступлением ПНЖК, присутствующих в льняном масле. Более низкая устойчивость к окислению масла Убикато-лен по сравнению с льняным маслом и быстрое истощение по АО указывает на развитие антагонизма между введенными в масло антиоксидантами.

Таким образом, высокая АРА масла Убикато-лен совсем не означает высокую устойчивость к окислительным изменениям при хранении, поскольку АРА характеризует способность соединений реагировать со свободными радикалами и определяет скорость только одной элементарной реакции общепринятой модели ингибированного окисления:



тогда как антиоксидантная активность отражает способность соединений тормозить процесс окисления в целом, являясь брутто характеристикой процесса, скорость которого определяется соотношением скоростей элементарных реакций [13]. Поэтому измерение ХЛ-методом эффективной концентрации АО и их антирадикальной активности информативно в плане оценки эффективности продукта как носителя антиоксидантов, но недостаточно для оценки устойчивости продукта к окислительным изменениям.

Что касается экстракта аронии, добавление его в льняное масло приводит не только к повышению АРА, но и повышению устойчивости к окислительным изменениям. Согласно ХЛ-анализу, экстракт аронии имеет ту же самую величину константы k_7 , что указывает на присутствие того же самого сильного ингибитора в масле, обогащенном экстрактом [7]. Маловероятно проявление антагонизма между АО льняного масла и АО экстракта аронии, поскольку и те, и другие имеют фенольную природу. Экстракт листьев аронии представляет собой сумму фенольных соединений и, как показали исследования, обладает высокой антиоксидантной активностью [7]. Таким образом, представляется перспективным использование данного экстракта или отдельных его фракций для стабилизации льняного масла [17].

ВЫВОДЫ.

1. Обогащение льняного масла АО значительно повышает его антирадикальную активность, однако несмотря на высокую антирадикальную активность “Масло Убикато-лен” проявляет низкую устойчивость к окислительным изменениям при хранении.
2. В процессе хранения наблюдается значительное истощение масла Убикато-лен по антиоксидантам и после шести месяцев оно уже не может служить источником антиоксидантов.
3. Экстракт аронии может быть использован для повышения устойчивости льняного масла к окислительным изменениям.
4. Для приготовления БАД следует использовать только свежеспрессованное льняное масло.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ипатова О.М., Прозоровская Н.Н., Баранова В.С., Гусева Д.А. (2004) Биомед. химия, №1, 25-43.
2. Прозоровская Н.Н., Русина И.Ф., Лупинович В.Л., Бекетова Н.А., Сорокин И.В., Ипатова О.М., Левачев М.М. (2003) Вопр. питания, №2, 13-18.
3. Карагодина З.В., Розанова И.А., Погожева А.В., Левачев М.М. (1998) Биоантиоксидант. Сб. трудов V Международной конференции. - М., с. 220-221.
4. ТУ 9146-002-49964614-01. Масло Убикато-лен. Биологически активная добавка.
5. ТУ 9317-009-01897373-99. Экстракт аронии сухой.
6. Ипатова О.М., Прозоровская Н.Н., Прозоровский В.Н., Княжев В.А., Баранова В.С., Груздьева А.Е. (2000) ПАТЕНТ № 2171111. Экстракт листьев аронии, обладающий биологической активностью, и способ его получения.
7. Ипатова О.М., Прозоровская Н.Н., Русина И.Ф., Прозоровский В.Н. (2003). Биомед. химия, №2, 165-176.

АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЬНЯНОГО МАСЛА

8. *Прозоровская Н.Н., Баранова В.С., Сорокин И.В., Черезов О.И.* (2001) ПАТЕНТ RU 2219784 С2. Масло льняное, пригодное для употребления в пищу и способ его получения.
9. *Русина И.Ф., Морозова И.С., Гагарина А.Б.* (1990) Известия Академии Наук СССР, Серия биологическая, №3, 399-405.
10. ГОСТ 26593-85. Масла растительные. Метод определения перекисного числа.
11. *Якушина Л.М., Лыкова Н.М., Рындакова И.А.* (1987) Вопр. питания № 6, 59-61.
12. *Бурлакова Е.Б., Крашаков С.А., Храпова Н.Г.* (1998) Биол. мембраны, **15**(2), 137-167.
13. *Кухтина Е.Н., Бурлакова Е.Б., Храпова Н.Г.* (1983) Доклады АН СССР, **272**, 729-732.
14. *Сторожок М.Н.* (1996) Межмолекулярные взаимодействия компонентов природных липидов в процессе окисления. Автореф. дисс. докт. наук, НИИ химической физики РАН, Москва.
15. *Quinn P.J., Fabisiak J.P., Kagan V.E.* (1999) BioFactors, **9**, 149-154.
16. *Сторожок Н.М., Кутузова И.В.* (1995) Хим. фарм. ж., №12, 37-41.
17. *Ипатова О.М., Русина И.Ф., Проzorовский В.Н., Проzorовская Н.Н.* (2003) В: Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов. Материалы II Российской научно-практической конференции (2-3 июня 2003 г.), М, сс. 203-204.

Поступила: 12. 09. 2007.

ANTIRADICAL ACTIVITY AND RESISTANCE OF FLAXSEED OIL, ENRICHED WITH THE ANTIOXIDANTS TO OXIDATIVE CHANGES

D.A. Guseva¹, N.N. Prozorovskaya¹, I.F. Rusina², O.M. Ipatova¹

¹Orekhovich Institute of Biomedical Chemistry, Russian Medical Academy of Sciences, Pogodinskaya ul., 10, Moscow, 119121 Russia; e-mail: nat-prozorovskaya@yandex.ru

²Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow

Using the chemiluminescence technique, the effective concentration of antioxidants (AO) and its reactivity towards peroxyl radicals (constant k_7) have been measured for the oil "Ubicato-flax" (biological active supplement) and flaxseed oil, enriched with *Aronia melanocarpa* extract. Ubicato-flax exhibited the highest antiradical activity but it was less resistant to oxidative changes as compared with flaxseed oil + extract. Ubicato oil produced on basis of natural AO exhibited higher antiradical activity in comparison with Ubicato oil produced on basis of the chemical synthetic AO. Aronia extract added to flaxseed oil caused marked inhibition of the increase in the peroxide value. Ubicato-flax may serve as a source of AO for not more than 6 months.

Key words: flaxseed oil, tocopherol, beta-carotene, ubiquinol, *Aronia melanocarpa*, antiradical activity.