

УДК 541.127

©Коллектив авторов

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С РАЗНЫМ СООТНОШЕНИЕМ ОМЕГА-6/ОМЕГА-3 ЖИРНЫХ КИСЛОТ

Д.А. Гусева¹, Н.Н. Прозоровская^{2}, А.В. Широнин², М.А. Санжаков²,
Н.М. Евтеева³, И.Ф. Русина⁴, О.Т. Касаикина⁴*

¹Московский государственный университет технологий и управления, 109004
Москва, ул. Земляной вал, 73.

²Учреждение Российской Академии Медицинских Наук,
Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича
РАМН, 119121 Москва, ул. Погодинская, 10

³Учреждение Российской Академии Наук Институт биохимической физики
им. Н.М. Эмануэля РАН, 119997 Москва, ул. Косыгина, 4

⁴Учреждение Российской Академии Наук Институт химической физики
им. Н.Н. Семенова РАН, 119997 Москва, ул. Косыгина, 4

Исследовано окисление масел льна, кунжута, расторопши и масел на основе смеси этих семян с разным соотношением ω -6/ ω -3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) кислородом воздуха, проведен анализ содержания антиоксидантов и их антирадикальной активности, используя кинетический метод добавок масла в модельную реакцию окисления кумола. Установлена корреляция между соотношением ПНЖК/ ω -9 и устойчивостью к окислительным изменениям при тепловой обработке (50°C) и влияние содержания γ -токоферола на устойчивость к окислительным изменениям масел при длительном хранении при (10 \pm 2)°C.

Ключевые слова: льняное, кунжутное, расторопши; масло из семенных смесей, антиоксиданты, антирадикальная активность, окислительные изменения.

ВВЕДЕНИЕ. Большое внимание исследователей и потребителей продолжают привлекать ω -3 полиненасыщенные жирные кислоты (ω -3 ПНЖК) как элемент питания, обладающий лечебно-профилактическими свойствами. [1]. Однако для поддержания оптимального состояния здоровья человеку необходима сбалансированность в диете содержания ω -3 и ω -6 ПНЖК. Избыточные количества ω -6 ПНЖК и очень высокое отношение ω -6/ ω -3 способствуют развитию целого ряда заболеваний, включая сердечно-сосудистые, онкологические, воспалительные и аутоиммунные, тогда как повышенные уровни ω -3 ПНЖК оказывают тормозящее действие [2]. Наиболее благоприятное соотношение этих кислот для разных возрастных групп и разного состояния здоровья (рацион здорового человека или диета профилактической и лечебной направленности) колеблется от 10/1 до 1/1 [1]. Так, согласно рекомендациям Института питания РАМН, соотношение ω -6/ ω -3 в рационе здорового человека должно быть 10/1, а для лечебного питания – от 3/1 до 5/1 [3]. Из других источников следует, что наиболее благоприятным соотношением в диете считается соотношение от 2/1 до 1/1 [1]. Важность соотношения ω -6/ ω -3 продемонстрирована

* - адресат для переписки

при целом ряде заболеваний. Например, в плане вторичной профилактики сердечно-сосудистого заболевания соотношение 4/1 ассоциируется с 70%-ным снижением смертности; отношение 2-3/1 оказывает ингибирующее действие на воспалительный процесс у лиц, страдающих ревматоидным артритом, а 5/1 оказывает благотворное действие при астме, тогда 10/1 дает нежелательные побочные эффекты [4]. В растительных маслах представителем ω -3 является α -линоленовая кислота, основным источником которой служит льняное масло. Между тем, наиболее широкое потребление у населения приходится на подсолнечное масло, содержащее в основном линолевую кислоту (ω -6). В настоящее время задача расширения спектра растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом решается посредством купажирования (т.е. смешивания) различных масел, чаще всего рафинированных и дезодорированных. Однако при рафинировании теряются аромат, вкус и значительная часть биологически активных минорных компонентов и витаминов. Между тем в сырых маслах, т.е. подвергнутых только фильтрации, полностью сохраняются биологически ценные минорные компоненты: фосфатиды, токоферолы, стерины, каротиноиды и другие, а также вкус и аромат. Поэтому представляется обоснованным получение масел непосредственно из смеси семян с заданным содержанием ω -3 и соотношением ω -6/ ω -3 жирных кислот.

Цель настоящей работы состояла в сравнительном исследовании антиоксидантной активности и устойчивости к окислению масел с разным соотношением ω -6/ ω -3 ПНЖК, полученных из семян льна, кунжута, рапсуса и масел на основе трех вариантов смеси этих семян. Выбор компонентов смеси обусловлен несколькими обстоятельствами. Семена льна отличаются высоким содержанием альфа-линоленовой кислоты и потому в смеси являются практически единственным источником ω -3 ПНЖК [5]; лигнаны, присутствующие в семенах кунжута, повышают термическую устойчивость и стабильность при хранении растительных масел [6]; семена рапсуса содержат сильные антиоксиданты: флаволигнанный комплекс ("силимарин") и большое количество α -токоферола [7].

Для определения содержания и относительной активности антирадикальных антиоксидантов использовали кинетический метод добавок масла в модельную реакцию окисления кумола. Окисляемость масел характеризовали по накоплению пероксидных продуктов окисления.

МЕТОДИКА. Объектом исследования служили льняное и кунжутное масло, масло рапсуса, а также масла, полученные на основе смеси семян.

В качестве сырья для получения масел использовали зрелые очищенные семена льна, светлого кунжута и рапсуса, а также смесь этих семян в разных соотношениях по массе. Масло получали методом однократного холодного отжима при низкой скорости вращения вала без предварительного отшелушивания семян. Далее масло подвергали фильтрации на вакуум-филт্রে.

Были получены масла из следующих трёх смесей, составленных в процентных соотношениях по весу семян льна, кунжута и рапсуса соответственно [8-10]:

Смесь 1: (40+30+30); Смесь 2: (20+40+40); Смесь 3: (10+50+40).

Жирнокислотный состав: метилирование и хроматографический анализ проводили по прописи JUPAC 2.301 и 2.302 [11]. Состав метиловых эфиров жирных кислот определяли методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ).

Содержание токоферолов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) [12].

Перекисное число (ПЧ) определяли стандартным методом [13].

Для определения содержания и относительной антирадикальной активности антиоксидантов использовали кинетический метод добавок масла в модельную реакцию окисления кумола [14]. Содержание антиоксидантов (АО) определяли по величине периода индукции (τ , мин) на кинетических кривых поглощения кислорода, получаемых при добавлении масла в кумол. Окисление кумола происходит при постоянной скорости инициирования радикалов (W_i)

благодаря добавке инициатора азо-бис-изобутиронитрила (АИБН). Содержание АО вычисляли по формуле:

$$\Sigma f [AO] = \alpha (W_i \times \tau) / m \text{ (моль/г)} \quad (1),$$

где m (г) – навеска масла, α (л), коэффициент, учитывающий разбавление масла кумолом, f – стехиометрический коэффициент ингибирования, показывающий сколько обрывов цепей приходится на одну молекулу ингибитора (для токоферола $f = 2$ [15]. В большинстве опытов навеску масла (~0,03 г) растворяли в ~0,8 мл хлорбензола, так что концентрация масла в базовом растворе составляла ~37,5 г/л. Затем 20 мкл базового раствора масла добавляли к 2 мл реакционной смеси кумол + АИБН, которую окисляли при 50°C и $pO_2 = 1$ атм в термостатируемом стеклянном сосуде, соединенном с газометрической установкой. При $W_i = 1,5 \times 10^{-8}$ моль/л $[AO] = 2,5 \times \tau$ (мкмоль/г); здесь τ – время (мин) выхода кинетической кривой на постоянную скорость окисления, указывающее на полное израсходование антиоксидантов.

Устойчивость масел к окислению исследовали в условиях ускоренного окисления и при 6-месячном хранении в холодильнике в закрытом контейнере, температура в котором составляла $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$. При ускоренном окислении образцы выдерживали в открытых стеклянных бюксах в термостате при 50°C в течение одной и двух недель. Бюксы заполняли на 98%, сохраняя постоянным соотношение массы масла и площади поверхности, контактирующей с воздухом.

Все данные представлены в таблицах в виде среднего значения исследования трех образцов \pm стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. После определения жирнокислотного состава исследуемых масел для наглядности жирные кислоты были разделены на 4 группы: ненасыщенные; ω -9, представленные главным образом олеиновой кислотой; ω -6, представленные в основном линолевой кислотой, и ω -3, представленные α -линоленовой кислотой (таблица 1). Льняное масло отличается высоким содержанием ω -3; кунжутное масло – почти равным содержанием ω -9 и ω -6 и масло расторопши – содержанием ω -6 жирных кислот. Все масла, отжатые из смеси семян, различаются по содержанию ω -3 ПНЖК и, соответственно, по соотношению ω -6 и ω -3 жирных кислот, которое в смесях 1-3 составляет соответственно 1,4/1; 3,5/1 и 7/1. Таким образом представлен широкий диапазон соотношений ω -6/ ω -3: от 67/1 до 0,3/1 при практически полном отсутствии α -линоленовой кислоты в масле расторопши.

Таблица 1. Состав масел, отжатых из семян льна, кунжута и расторопши и смесей этих семян.

Масло из семян	Жирные кислоты, % от суммы				ω -6/ ω -3
	насыщенные	ω -9	ω -6	ω -3	
Льна	11,0	20,1	15,2	53,7	0,3/1
Кунжута	16,2	42,8	40,4	0,6	67/1
Расторопши	16,5	22,3	61,2	Следы	
Смесь 1*	13,8	30,4	32,5	23,3	1,4/1
Смесь 2*	15,2	32,9	40,5	11,4	3,5/1
Смесь 3*	14,9	35,1	43,8	6,2	7,1/1

Примечание. Здесь и в таблицах 2 и 3: * - Состав смеси приведен в разделе "Методика".

Результаты анализа общего содержания токоферола и его изомеров, представленные в таблице 2, показывают, что наибольшее суммарное количество токоферолов присутствует в масле расторопши и наименьшее в кунжутном масле (64,4 мг и 27,7 мг/100 г или 1,5 мкмоль и 0,64 мкмоль/г, соответственно).

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Масло расторопши отличается также высоким содержанием α -токоферола, тогда как в льняном масле он не обнаружен. Не выявлено различий в суммарном содержании токоферолов в маслах, полученных из смесей семян 1-3, однако пересчёт токоферолов на ω -3 ПНЖК показал различия между маслами: 1,9 мг/г; 4,0 мг/г и 7,5 мг/г α -линоленовой кислоты соответственно. Все три масла на основе смеси семян содержали α -изомер. Не обнаружено достоверной связи между ω -6/ ω -3 соотношением и концентрацией токоферолов в исследованных маслах.

Таблица 2. Содержание токоферолов в маслах, полученных из семян льна, кунжута, расторопши и на основе трёх вариантов смеси этих семян

Масло из семян	α -изомер, мг/100 г масла	$\beta + \gamma$ изомеры, мг/100 г масла	Σ токоферолов, мг/моль/г
Льна	Не обнаружен	$39,3 \pm 3,3$	0,91
Кунжута	$0,8 \pm 0,1$	$25,9 \pm 2,8$	0,67
Расторопши	$55,8 \pm 2,6$	$8,6 \pm 1,0$	1,50
Смесь 1*	$8,8 \pm 0,6$	$34,7 \pm 2,8$	1,04
Смесь 2*	$9,5 \pm 1,0$	$36,1 \pm 3,1$	1,09
Смесь 3*	$10,9 \pm 0,9$	$35,9 \pm 2,8$	1,11

На рисунках 1 и 2 и в таблице 3 представлены результаты кинетической оценки антиоксидантной активности исследуемых масел. На рисунке 1 (кривая 1) и рисунке 2 (кривая 1) видно, что добавки льняного масла и масла, выделенного из смеси 1 с наибольшим содержанием семян льна, приводят к появлению чётко выраженных периодов индукции на кинетических кривых поглощения кислорода при окислении кумола. После выхода из периода индукции скорость окисления равна скорости неингибированного процесса, что указывает на инертность продуктов превращения по отношению к пероксильным радикалам. Такое влияние микродобавки на модельную реакцию характерно для масла, содержащего сильный антиоксидант антирадикального действия, взаимодействие которого с пероксильными радикалами (RO_2^*) характеризуется высокой константой скорости реакции, $k_{inh} > 10^5 (M \cdot c)^{-1}$:



а образующийся радикал ингибитора AO^* неактивен в реакции с углеводородом (RH):



Таблица 3. Кинетические характеристики окисления кумола с добавкой масел.

Масло	τ , мин	$\Sigma f[AO]$ мг/моль/г	k_{inh} , л/моль с
Льняное	65	162	$\approx 10^6$
Кунжутное	120	300	$2,8 \times 10^3$
Расторопши	55	137	$2,3 \times 10^3$
Из смеси семян 1*	52	130	$\approx 10^6$
Из смеси семян 2*	55	137	$8,0 \times 10^3$
Из смеси семян 3*	55	137	$2,3 \times 10^3$

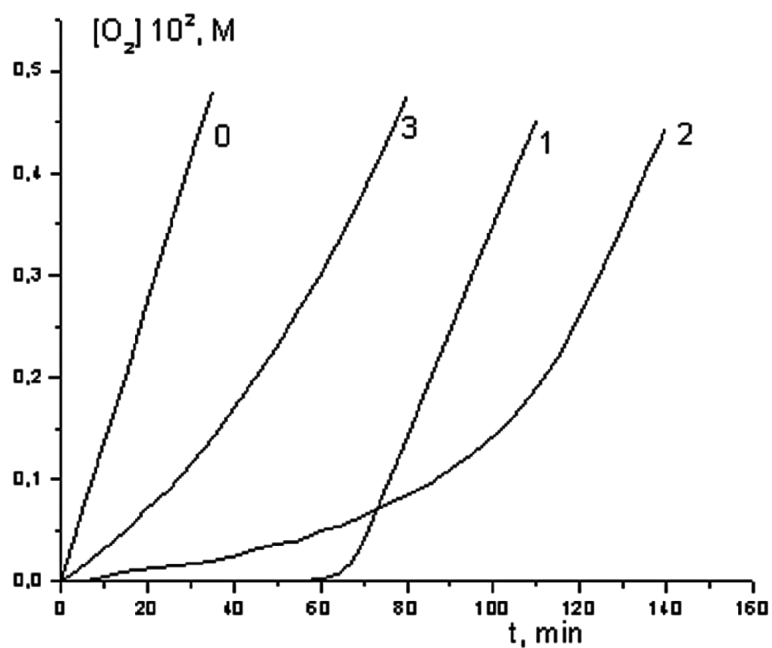


Рисунок 1.

Кинетические кривые поглощения кислорода при окислении кумола, инициированного АИБН, с добавками льняного (1), кунжутного (2) и масла расторопши (3); 0 - без добавки масла; 50°C; скорость инициирования радикалов $W_i = 1,5 \times 10^{-8}$ моль/л·с. Ордината: $[O_2] \cdot 10^2, M$. Абсцисса: период индукции, минуты.

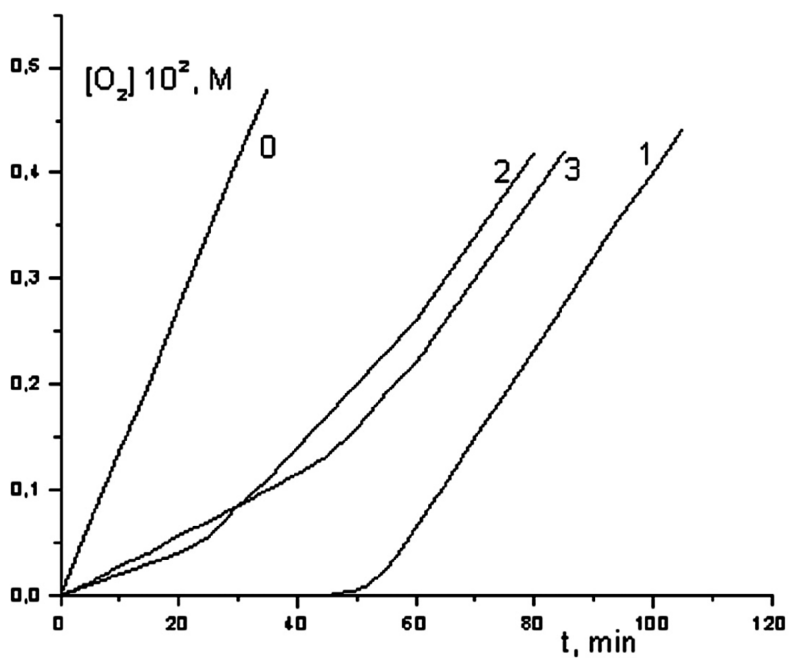


Рисунок 2.

Кинетические кривые поглощения кислорода при окислении кумола, инициированного АИБН, с добавками масла из смеси семян 1 (1). Масла из смеси семян 2 (2) и масла из смеси семян 3 (3); 0 - без добавки масла; 50°C; скорость инициирования радикалов $W_i = 1,5 \times 10^{-8}$ моль/л·с. Ордината: $[O_2] \cdot 10^2, M$. Абсцисса: период индукции, минуты.

В случае добавок в окисляющийся кумол масел кунжута, расторопши и масел из смесей семян 2 и 3 наблюдаются периоды индукции, но менее чёткие с постепенным выходом кинетической кривой на скорость неингибированного процесса. Такие кривые позволяют оценить эффективную величину константы скорости реакции (2) k_{inh} по наклону их анаморфоз в координатах интегрального уравнения кинетической кривой в периоде индукции ($t < \tau$) [14, 16]:

$$\Delta [O_2] = (k_p/k_{inh}) [RH] \ln \{ \tau / (\tau - t) \} \quad (4),$$

где $\{RH\} = 7,2$ моль/л – концентрация углеводорода, τ – период индукции, $k_p = 0,31$ л/моль с – константа скорости продолжения цепи окисления кумола при 50°C.

Полученные значения k_{inh} невелики и, по-видимому, отражают сложный состав минорных компонентов масел; наличие в маслах, особенно в масле расторопши веществ, образующих комплексы с токоферолами, уменьшающие их реакционную способность в реакции с пероксильными радикалами. Примечательно, что общее содержание антиокислительных компонентов ($\Sigma f [AO]$, таблица 3), определенное кинетическим методом, значительно превышает содержание токоферолов, определённое хроматографически (таблица 2), что также указывает на разнообразие антиокислительных компонентов масел. Так, кунжутное масло может содержать до 600 мг/100 г масла сезамина и около 200 мг /100 г масла сезамолина, обладающих высокой антирадикальной активностью, а масло расторопши – сильный антиоксидантный комплекс “силимарин” [6, 7, 17]. Из таблицы 3 видно, что масло расторопши и масла из семенных смесей 2 и 3, включающих 40% семян расторопши, демонстрируют практически одинаковые антиокислительные свойства. Наиболее высокую антирадикальную активность демонстрируют антиоксиданты масла из семян льна и семенной смеси 1 с наибольшим содержанием льняных семян. Антиоксидантный пул льняного масла формируется за счет его минорных компонентов, включая токоферолы, β -каротин, лютеин, зеаксантин и фосфолипиды, которые сами не обладают антиоксидантными свойствами, но как синергисты усиливают и пролонгируют ингибирующую способность токоферолов и каротиноидов, причем с увеличением ненасыщенности субстрата окисления величина синергизма возрастает [5, 18]. Из всех исследованных масел льняное масло является самым ненасыщенным.

Общее содержание антиоксидантов, определенное кинетическим методом (табл. 3), было самым высоким в кунжутном масле, имеющем соотношение ω -6/ ω -3 жирных кислот 67/1, и в льняном масле с соотношением ω -6/ ω -3 = 0,3/1 (табл. 1). Таким образом, не было выявлено связи между соотношением ω -6/ ω -3 жирных кислот и общим содержанием антиоксидантов в исследованных растительных маслах.

Результаты исследования устойчивости к окислительным изменениям растительных масел представлены в таблице 4. Наиболее устойчивым к окислительным изменениям при тепловой обработке (50°C) и при длительном хранении было кунжутное масло, наименее устойчивым – масло расторопши, однако в том и другом случае в масле практически отсутствовала α -линоленовая кислота.

Устойчивость к окислительным изменениям масел к нагреванию достоверно зависела только от соотношения полиненасыщенных и мононенасыщенных жирных кислот (ПНЖК/ ω -9): $r = 0,89 \pm 0,23$ ($p < 0,01$). При длительном хранении масел (6 месяцев) одну из главных ролей играло присутствие в масле γ -токоферола. Чем выше было его содержание, тем меньше были окислительные изменения, определяемые перекисным числом: $r = -0,72 \pm 0,34$ ($p < 0,1$). Меньшее значение, по-видимому, имело общее содержание антиоксидантов: $r = -0,57$ ($p < 0,5$).

Устойчивость к окислению растительных масел определяется их жирнокислотным составом и эндогенными антиоксидантами, чаще всего в этой роли выступают α - и γ -токоферолы и токотриенолы. Величина константы ингибирования, установленная на модели инициированного окисления

углеводорода, для α -токоферола в два раза выше, чем для γ -изомера, однако в моделях автоокисления антиокислительная активность α -токоферола будет ниже активности γ -изомера [18]. Вообще антиоксидантное поведение токоферолов – явление весьма сложное. Так, они эффективны в малых концентрациях, в больших же могут оказывать “про-оксидантное действие” [19]. Уровень токоферолов в растительных маслах, по-видимому, близок к оптимальному уровню, необходимому для стабилизации этих масел. Например, самое ненасыщенное льняное масло содержит практически только γ -токоферол, обладающий самыми сильными антиокислительными свойствами. В кунжутном масле, содержащем много флаволигнанов, обладающих высокой антирадикальной активностью [20], токоферола относительно мало. В работе [21] отмечено, что у человека лигнаны кунжута повышают концентрации γ -токоферола в плазме и ингибируют его деградацию до метаболита. Примечательно, что лигнаны кунжута изменяют в разной степени метаболизм γ -токоферола у женщин и мужчин.

Следует отметить, что из всех компонентов смеси семена рапсостебли требовали особого внимания, поскольку на качество масла большое влияние оказывал срок хранения семян. Так, масло, полученное из семян со сроком хранения 6 месяцев и более, имело исходное перекисное число 6,4-6,8, более низкое содержание токоферола, меньшую константу скорости взаимодействия антиоксидантов с радикалами $1,5 \times 10^3$, тогда как масло, отжатое из свежих семян, отличалось высоким значением константы – порядка 10^6 л/моль \cdot с. Исследования показали, что масло рапсостебли из семян с большим сроком хранения содержит собственные иницирующие системы и поглощает кислород без добавления кумола и инициатора

Таким образом, проведенные исследования продемонстрировали возможность получения масел с заданным содержанием ω -3 ПНЖК и соотношением ω -3/ ω -6 ПНЖК на основе смеси специально подобранных семян. Все масла, полученные на основе трех вариантов смеси, содержали α - и γ -токоферолы, имели высокую концентрацию антиоксидантов, обладающих антирадикальной активностью со значительным периодом индукции; отличались более высокой устойчивостью к окислительным изменениям при тепловой обработке по сравнению с льняным маслом и маслом рапсостебли. Не было выявлено выраженного преимущества какого-либо из масел по суммарному содержанию антиоксидантов и по концентрации токоферолов. Однако наиболее высокая антирадикальная активность наблюдалась у масла из смеси 1 по сравнению с маслами из других смесей (табл. 3). Следует отметить, что относительно небольшие значения эффективных констант ингибирования ($\sim 10^3$ (М \cdot с) $^{-1}$) могут быть связаны с образованием комплексов антиоксидантов с амфифильными компонентами масел (фосфолипидами, ди- и моноацилглицеридами, свободными жирными кислотами и спиртами) и окислением антиоксидантов в этих комплексах. Масло из смеси 3 проявило более высокую устойчивость к окислению при тепловой обработке по сравнению с маслами из других смесей ($p < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенное исследование свежеполученных растительных масел с разным содержанием α -линоленовой кислоты не выявило тесной связи между соотношением ω -6/ ω -3 жирных кислот и ни общим содержанием антиоксидантов, ни содержанием токоферолов, ни антирадикальной активностью, ни устойчивостью к окислительным изменениям при тепловой обработке и при длительном хранении масел. Показано, что для устойчивости к окислительным изменениям масел большее значение имеют соотношение ПНЖК/ ω -9, т.е. соотношение суммы линолевой и α -линоленовой кислот и олеиновой кислоты; общее содержание антиоксидантов и содержание γ -токоферола.

ВЫВОДЫ.

1. На примере исследованных масел не выявлено заметного влияния соотношения ω -6/ ω -3 жирных кислот ни на антирадикальную активность, ни на устойчивость к окислительным изменениям.

2. Обнаружена достоверная корреляция между устойчивостью к окислительным изменениям при тепловой обработке масел и соотношением ПНЖК/ ω -9 ($r = -0,89$). На устойчивость к окислительным изменениям при длительном хранении заметное влияние оказывало содержание γ -токоферола ($r = -0,72$) и в меньшей степени общее содержание антиоксидантов, обладающих антирадикальной активностью ($r = -0,57$).

3. Получены растительные масла на основе трех вариантов смеси семян льна, кунжута и расторопши с заданным содержанием α -линоленовой жирной кислоты.

4. Полученные масла имеют разные соотношения ω -6/ ω -3 жирных кислот и могут быть использованы как в лечебно-профилактических целях (масла из смесей 1 и 2 с соотношением 1,4/1 и 3,5/1, соответственно), так и в рационе здорового человека (масло из смеси 3 с соотношением 7/1).

5. Наиболее высокой антирадикальной активностью обладает масло, полученное из смеси семян льна, кунжута, расторопши в процентном соотношении по весу (40+30+30)% соответственно, а более устойчивым к тепловой обработке является масло из смеси (10+50+40)%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ипатов О.М., Прозоровская Н.Н., Баранова В.С., Гусева Д.А.* (2004) Биомед. химия, №1, 25-43.
2. *Simopoulos A.P.* (2002) Biomed. Pharmacother, **56**, 365-379.
3. *Левачев М.М.* (2002) Значение жира в питании здорового и больного человека: Справочник по диетологии (ред. В.А. Тутельян, М.А. Самсонов). М.: Медицина.
4. *Simopoulos A.P.* (2008) Exp.Biol.Med., **233**, 674-688.
5. *Прозоровская Н.Н., Русина И.Ф., Лупинович В.Л., Бекетова Н.А., Сорокин И.В., Ипатов О.М., Левачев М.М.* (2003) Вопросы питания, №2, 13-18.
6. *Hemalatha S., Ghafoorunissa* (2007) Food Chemistry, **105**, 1076-1085.
7. *El-Mallah M.H., El-Shami S.M., Hassanein M.M.* (2003) Grasas y Aceites, **54**, 397-402.
8. *Прозоровская Н.Н., Гусева Д.А., Широнин А.В., Санжаков М.А., Тихонова Е.Г., Ипатов О.М.* (2009) Масло растительное особое на основе смеси семян льна, кунжута и расторопши с соотношением ПНЖК ω -3 и ω -6 (1:1,4–1:1,6) и способ его получения. Заявка на изобретение № 2009120222/027859 от 28.05.2009.
9. *Прозоровская Н.Н., Гусева Д.А., Широнин А.В., Санжаков М.А., Тихонова Е.Г., Ипатов О.М.* (2009) Масло растительное особое на основе смеси семян льна, кунжута и расторопши с соотношением ПНЖК ω -3 и ω -6 (1:3–1:4) и способ его получения. Заявка на изобретение № 2009120222/027860 от 28.05.2009.
10. *Прозоровская Н.Н., Гусева Д.А., Широнин А.В., Санжаков М.А., Тихонова Е.Г., Ипатов О.М.* (2009) Масло растительное особое на основе смеси семян льна, кунжута и расторопши с соотношением ПНЖК ω -3 и ω -6 (1:6–1:8) и способ его получения. Заявка на изобретение № 2009120222/027861 от 28.05.2009.
11. *IUPAC* (1979) Standart metods for the analysis of oil, fats and derivatives. -2.301. -2.302. Pergamon Press.
12. *Якушина Л.М., Харитончик Л.А., Бендер Е.Д.* (1993) Вопросы питания, №3, 51-55.
13. ГОСТ 26593 Масла растительные. Метод определения перекисного числа.
14. *Харитонов Л.А., Козлова З.Г., Цепалов В.Ф., Гладышев Г.П.* (1979) Кинетика и катализ, №3, 593-599.
15. *Denisov E.T., Denisova T.G.* (2000) Handbook of antioxidants, CRC Press.
16. *Гладышев Г.П., Цепалов В.Ф.* (1975) Успехи химии, **44**, 1830-1850.

17. *Shahidi F., Amarowicz R., Abou-Gharbia H.A., Shehata A.A.Y.* (1997) J. Am. Oil Chemists Soci., **74**, №26 143-148.
18. *Бурлакова Е.Б., Крашаков С.А., Храпова Н.Г.* (1998) Биол. мембраны, **15**, 137-167.
19. *Gazak R., Sedmera P., Vrbacky M. et al.* (2009) Free Rad. Biol. Med., **46**, 745-758.
20. *Afaf Kamal-Eldin* (2006) Eur. J. Lipid Sci. Technol., **108**, 1051-1061.
21. *Lee Sangeum* (2007) Sesame oil increases plasma γ -tocopherol and inhibits γ -tocopherol metabolism in humans. Thesis for the degree of Master of Science. Oregon State University.

Поступила: 19. 02. 2010.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF VEGETABLE OILS WITH DIFFERENT OMEGA-6/OMEGA-3 FATTY ACIDS RATIO

*D.A. Guseva¹, N.N. Prozorovskaya², A.V. Shironin², M.A. Sanzhakov², N.M. Evteeva³,
O.T. Kasaikina⁴, I.F. Rusina⁴*

¹Moscow State University of Technique and Control, 73 Zemlaynoy val str., Moscow, 109004, Russia

²Institute of Biomedical Chemistry, Russian Medical Academy of Sciences, 10 Pogodinskaya str.,
Moscow, 119121 Russia, e-mail: nat-prozorovskaya@yandex.ru

³Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow

⁴Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow

Antioxidant activity and the oxidative stability were investigated in flax, sesame, silybum oils and oils with different ω -6/ ω -3 fatty acid ratio. The content of antioxidants (AO) in crude oils and their reactivity towards peroxy radicals were studied using kinetic method for addition of oil in a model reaction of cumol oxidation. There were correlations between PUFA/ ω -9 and thermal stability (50°C); between γ -tocopherol content and resistance to oxidative changes after storage at (10 \pm 2)°C for 6 months.

Key words: flax oil, sesame oil, silybum oil, seed blend oils, antioxidant content, antiradical activity, oxidative stability.