

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ / FOOD TECHNOLOGY

Оригинальная статья / Original article

УДК 665.333.5 : 543.421/424

DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-128-136

## ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СТОЙКОСТЬ К ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ РИСОВОГО МАСЛА

© Л.П. Нилова, Т.В. Пилипенко, А.А. Вытовтов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

*Цель исследования – изучение состава биологических активных веществ в рисовом масле разных производителей и их влияние на стойкость к окислительному стрессу. Объектами исследований явилось масло рисовое: рафинированное «Basso» производства «Basso Fedele & Figli S.R.L.», Италия; рафинированное «Mastr'Olivo» производства «Pietro Coricelli SPA», Италия; нерафинированное «Dial-Export» производства ООО «Бутас», Россия. Биологически активные вещества определяли хромато-масс-спектрометрией на газовом хроматографе «MAESTRO 7820A»,  $\gamma$ -оризанол – спектрофотометрически, предварительно растворенной навески в *n*-гептане; витамин E – методом Эммери-Энгеля с ортофенантролином. Окислительный стресс моделировали выдержкой рисового масла при температуре 120 °С в течение 5 ч и каждый час на ИК-Фурье спектрометре снимали ИК-спектры. Рисовые масла содержали разное количество  $\gamma$ -оризанола и витамина E. Содержание  $\gamma$ -оризанола в рисовых маслах составило, мг/100 г: «Basso» – 406,54; «Mastr'Olivo» – 516,92; «Dial-Export» – 565,49; витамина E, мг/100 г: 88,1; 85,6; 98,8 соответственно. Окислительная деструкция произошла только на 5-й ч термического воздействия. Использование ИК-спектроскопии дало возможность рассчитать коэффициенты окисленности, характеризующие процесс окисления рисовых масел по стадиям зарождения цепей ( $K_1$  и  $K_2$ ) и обрыва цепей ( $K_3$  и  $K_4$ ). Более высокие значения  $K_1$  и  $K_2$  (практически в 100 раз) по сравнению с  $K_3$  и  $K_4$  доказывают, что процессы окисления находятся в начальной стадии. Очень высокое содержание витамина E в рисовом масле даже при значительном количестве  $\gamma$ -оризанола вызывает более сильную окислительную деструкцию. Ключевые слова: рисовое масло, токоферолы, гамма-оризанол, жирно-кислотный состав, термический стресс, ИК-спектроскопия.*

**Формат цитирования:** Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Вытовтов А.А. Влияние биологически активных веществ на стойкость к окислительному стрессу рисового масла // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7, N 2. С. 128–136. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-128-136

## INFLUENCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE AGENTS ON RESISTANCE TO THE OXIDIZING STRESS OF RICE OIL

© L.P. Nilova, T.V. Pilipenko, A.A. Vytovtov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
29, Polytechnicheskaya St., Saint-Petersburg, 195251, Russian Federation.

*The aim of the work was to study the composition of biological active agents in rice oil of different producers, and their influence on resistance to an oxidizing stress. Objects of researches were rice oil: refined «Basso» (production of «Basso Fedele & Figli S.R.L.», Italy); refined «Mastr'Olivo» (production of «Pietro Coricelli SPA», Italy); natural «Dial-Export» (production of LLC Butas, Russia). Biologically active agents were determined by chromatography-mass spectrometry on a gas chromatograph «MAESTRO 7820A»,  $\gamma$ -oryzanole was detected by a spectrophotometry (solvent – *n*-heptane); vitamin E content was estimated by Emmery-Engel's method with orthophenantroline. Rice oils differed by  $\gamma$ -oryzanole and vitamin E content.  $\gamma$ -oryzanole content (mg/100 g) was found to be correspondingly in rice oils: «Basso» – 406.54, «Mastr'Olivo» – 516.92, «Dial-Export» – 565.49; vitamin E content (mg/100 g) – 88.1; 85.6; 98.8 respectively for oils. The oxidizing*

stress was modelled by rice oil holding at a temperature of 120 °C within 5 hours. IR-spectrums were recorded each hour. Oxidizing destruction has happened only for the 5th hour of thermal influence. Use of IR-spectroscopy has given the chance to calculate oxidizing coefficients of rice oil on the oxidation beginning stage ( $K_1$  and  $K_2$ ) and oxidation process end ( $K_3$  and  $K_4$ ).  $K_1$  and  $K_2$  were 100 times more, than  $K_3$  and  $K_4$  in all oils, that speaks about prevalence of initial processes of oxidation. Very high vitamin E content in rice oil even at high content of  $\gamma$ -oryzanole causes stronger oxidizing destruction.

Keywords: rice oil, tocopherol, gamma-oryzanole, composition of fatty acids, thermal stress, IR-spectroscopy

**For citation:** Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A. Influence of biologically active agents on resistance to the oxidizing stress of rice oil. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimia i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol 7, no. 2, pp. 128–136 (in Russia). DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-128-136

## ВВЕДЕНИЕ

В России основными источниками биологически активных веществ (БАВ) липидной природы являются растительные масла. Дефицита в потреблении растительных масел не наблюдается на протяжении последних лет. Напротив их потребление превышает рекомендуемые рациональные нормы от 8% в 2009 г. до 37% в 2014 году согласно официальным статистическим данным [1]. Более 80% нативного и промышленного потребления приходится на подсолнечное масло рафинированное дезодорированное. Но использование высоких температур при рафинации и дезодорации может снизить содержание в маслах БАВ, например, токоферолов от 30 до 70%. [2] Отсутствие жирорастворимых антиоксидантов или их незначительное содержание в маслах при дальнейшем их использовании во время жарки пищевых продуктов способствует образованию продуктов окисления вредных для здоровья человека. [3, 4]

Ассортимент растительных масел в последние годы расширяется, в том числе за счет масел нового поколения с высоким содержанием БАВ. Их используют не только в нативном виде, но и для разработки пищевых продуктов функционального назначения. [5, 6] К числу таких растительных масел можно отнести рисовое масло, которое в странах Юго-Восточной Азии, и особенно в Японии, используют как продукт для здоровья «Heart oil». Оно содержит такие БАВ, как токолы (токоферолы и токотриенолы) и  $\gamma$ -оризанол (смесь эфирных соединений, полученных реакцией трансферуловых кислот с фитостеролами и тритерпеновыми спиртами) [7–10]. В 1999 г. удалось идентифицировать в рисовом масле 10 компонентов  $\gamma$ -оризанола, из которых 80 % приходится на три компонента (циклоартенол ферулат, 24-метиленциклоартенол ферулат и кампестерол ферулат) [9, 10]. Совместное присутствие  $\gamma$ -оризанола и токолов обуславливают синергетический эффект в проявлении антиокси-

дантных свойств рисового масла, как при употреблении в нативном виде, так и в составе функциональных пищевых продуктов [11, 12].

Содержание  $\gamma$ -оризанола в рисовом масле зависит от используемых технологических операций в процессе производства. Наибольшие потери (83–95%) происходят при щелочной очистке. В результате его содержание может снизиться до 0,15%, что ниже почти в 10 раз по сравнению с нерафинированным маслом. Повысить содержание  $\gamma$ -оризанола в рисовом масле до 4 % можно, используя двухступенчатую нанофильтрацию [13].

Ассортимент рисового масла в России незначителен и представлен 2–3 наименованиями в основном итальянского производства. Но в последние годы началось производство отечественного нерафинированного рисового масла, что позволит усилить позиции государства в области импортозамещения.

Цель работы – изучить состав биологически активных веществ в рисовом масле разных производителей и их влияние на стойкость к окислительному стрессу.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследований явились масло рисовое:

– рафинированное «Basso» производства «Basso Fedele & Figli S.R.L.», Италия; дата производства масла 14.03.2016;

– рафинированное «Mastr'Olivo» производства «Pietro Coricelli SPA», Италия; дата производства масла 26.01.2016;

– нерафинированное «Dial-Export» производства ООО «Бутас», Россия; дата производства масла 02.03.2016.

Образцы рисовых масел «Basso» и «Mastr'Olivo» были приобретены в магазине фирменной сети «Olivia» ООО «Совместное Российско-Финское предприятие «Паритет ММ»; рисового масла «Dial-Export» – в гипермаркете «Окей», г. Санкт-Петербург.

Жирно-кислотный состав рисового масла

определяли методом газовой хроматографии на хроматографе Agilent 6890 Series в соответствии с требованиями ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот». Настоящий стандарт устанавливает метод определения массовых долей жирных кислот к их общему содержанию в триглицеридах масел. Подготовку проб проводили по п.5, выполнение измерения по п.6. Для расчета хроматограмм использовали интегрирующее устройство. Расчет состава метиловых эфиров жирных кислот масла проводили методом внутренней нормализации. За окончательный результат принимали среднеарифметическое значение результатов двух последовательных измерений.

Стандартные погрешности не превышали метрологических характеристик, указанных в п.8.1. ГОСТ 31663-2012.

Из БАВ определяли  $\gamma$ -оризанол спектрофотометрически с максимумом поглощения 315 нм, предварительно растворенной навески в н-гептане; витамин Е – методом Эммери-Энгеля с ортофенантролином спектрофотометрически при длине волны 520 нм. [14,15]

Качественный состав БАВ определяли хромато-масс-спектрометрией на газовом хроматографе «MAESTRO 7820A» с масс-селективным детектором модели «5975». Регистрацию масс-спектров проводили в интервале масс от 40 до 800 m/z. Полученные масс-спектры идентифицировали с помощью электронных библиотечных масс-спектров прибора (библиотеки NIST11.L., DD2011.L.).

Для моделирования окислительного стресса использовали термическое воздействие с выдержкой в течение 5-ти ч при температуре 120 °С. Окислительную деструкцию фиксировали каждый час окислительного стресса на ИК-Фурье спектрометре «ФСМ 1202» ООО «Мониторинг», Россия, с автоматическим обсчетом пиков относительно базовой линии.

Параметры регистрации спектров: спектральный диапазон – 400–4000 см<sup>-1</sup>; количе-

ство сканов – 20; разрешение 4 см<sup>-1</sup>; режим – интерферограмма. Полученные интерферограммы преобразовывали в спектры поглощения. Идентификацию пиков проводили согласно [16]. Рассчитывали коэффициенты окисленности по Tokassado M. [17]:  $K_1=A_{2850}/A_{3030}$ ;  $K_2=A_{1465}/A_{3030}$ ;  $K_3=A_{3450}/A_{2850}$ ;  $K_4=A_{3450}/A_{1455}$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследуемые образцы рисового масла имели типичный жирно-кислотный состав для масла линолево-олеинового типа (табл. 1). В составе жирных кислот преобладали олеиновая, линолевая и пальмитиновая. Рисовое масло отечественного производства содержало больше линолевой кислоты и меньше пальмитиновой, что позволяет предположить использование не только липидов, содержащихся в оболочках зерна риса, но и в эндосперме.

Использование рафинации в производстве рисового масла оказало влияние на качественный и количественный состав БАВ, в частности на содержание  $\gamma$ -оризанола и витамина Е. В результате рафинированные масла Basso и Mastr'Olivo содержали меньше этих компонентов, чем нерафинированное Dial-Export отечественного производства (рис.1). При этом рафинированные рисовые масла отличались между собой количественным составом  $\gamma$ -оризанола и витамина Е. В масле Basso было самое низкое содержание  $\gamma$ -оризанола 406,5 мг/100г, что на 27,1% меньше, чем в масле Mastr'Olivo. Напротив содержание витамина Е было на 3% больше.

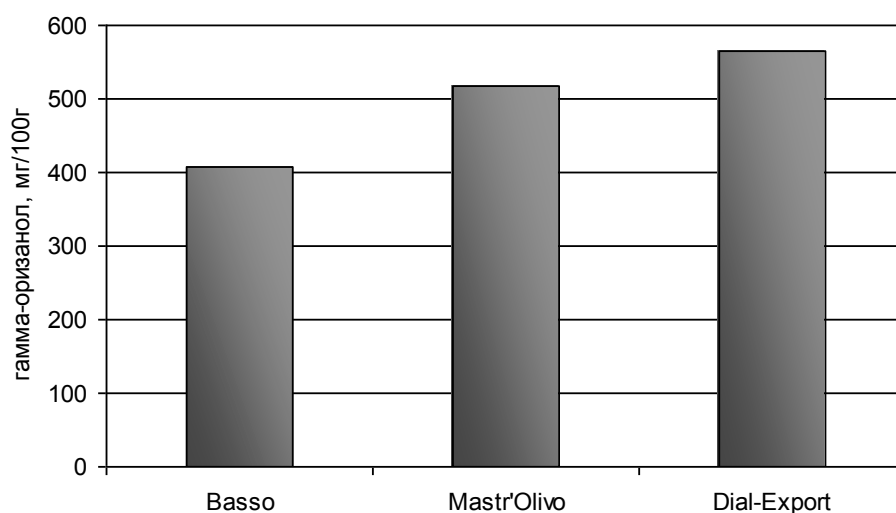
Все образцы содержали значительное количество БАВ, хотя их качественный состав был различным (табл. 2).

С помощью газовой хроматографии с хромато-масс-детектором удалось идентифицировать с использованием электронной библиотеки только три фракции токоферолов ( $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -), сквален и различные фитостеролы. Причем  $\alpha$ -токоферол был идентифицирован во всех образцах, а  $\beta$ - и  $\gamma$ -токоферолы – только в маслах Mastr'Olivo и Dial-Export, соответственно.

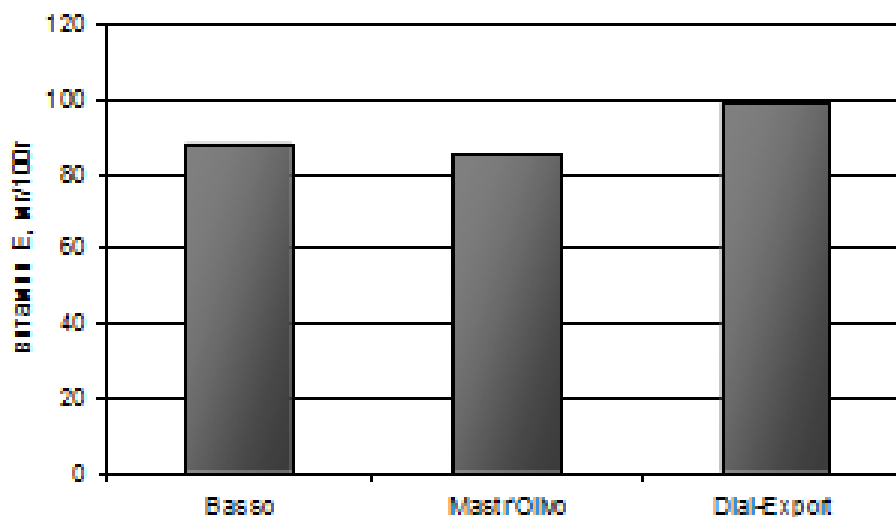
**Таблица 1**

**Жирно-кислотный состав исследуемых образцов рисового масла, % к сумме жирных кислот**

Торговая марка	Жирные кислоты									
	C 14:0	C 16:0	C 16:1	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	C 20:0	C 20:1	C 20:2
Basso	0,58	19,39	0,19	2,40	42,55	31,28	1,11	0,70	0,48	1,32
Mastr'Olivo	0,01	19,68	0,21	2,37	43,87	30,90	1,20	0,76	0,44	0,56
Dial-Export	0,89	17,35	0,19	2,05	43,71	33,10	1,01	0,60	0,53	0,57



а



б

Рис. 1. Содержание  $\gamma$ -оризанола и витамина E в рисовых маслах, мг/100г: а –  $\gamma$ -оризанол; б – витамин E

Таблица 2

Качественный состав биологически активных веществ рисового масла

Торговая марка	Токоферолы (ТФ)			Стеролы				Сква-лен
	$\alpha$ -ТФ	$\beta$ -ТФ	$\gamma$ -ТФ	$\beta$ -сито-стерол	кампе-стерол	стигма-стерол	Лано-стерол	
Basso	+	-	-	+	+	+	+	-
Mastr'Olivo	+	+	-	+	+	+	+	+
Dial-Export	+	-	+	+	+	+	-	-

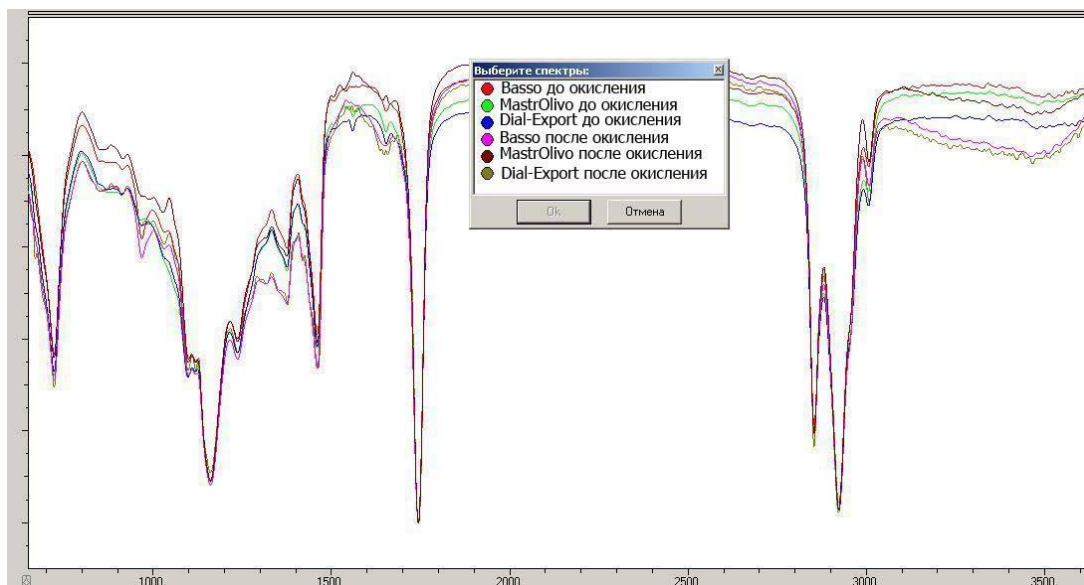


Рис. 2. ИК-спектры исследуемых образцов рисового масла до и после термоокисления в течение 5 ч

Основные стеролы присутствовали во всех маслах, но ланостерол (тетрациклический три-терпеноид) в масле Dial-Export отсутствовал, что могло быть связано с региональными особенностями выращивания сырья. Сквален был идентифицирован только в масле Mastr'Olivo.

Широкий спектр БАВ в исследуемых рисовых маслах способствовал его стойкости к окислительному стрессу. В течение 4-х ч термоокисления при 120 °С изменений, характеризующих процесс окисления, в ИК-спектрах рисового масла практически не происходило (рис. 2) не смотря на то, что изолированный (химически чистый) витамин Е стоек к окислению при температуре до 100 °С.

Только на 5-й ч термоокисления началась окислительная деструкция, которая зафиксирована изменениями в ИК-спектрах рисовых масел: уменьшение интенсивности полосы поглощения при 3007 см<sup>-1</sup>, появление широкой полосы поглощения в области 3200–3650 см<sup>-1</sup> с максимумом при 3450 см<sup>-1</sup>. Изменения в этих областях Tokassado M. [17] связывает с окислительными процессами в жирах. В области 3000-3090 см<sup>-1</sup> проявляются валентные колебания C–H в цис-связи –HC=CH–, которые легко отличить от частот –CH<sub>2</sub> и –CH<sub>3</sub>, имеющих значения ниже 3000 см<sup>-1</sup>. Рядом авторов установлено [16], что полоса поглощения =CH– находится в более узком интервале 3000–3030 см<sup>-1</sup>, интенсивность которой растет с увеличением числа двойных связей в молекуле. Причем, если >C=CH–, то полоса поглощения смещается в сторону низких частот. Преобла-

дание в жирно-кислотном составе рисовых масел олеиновой и линолевой кислот с одной и двумя двойными связями, соответственно (см. табл. 1), смещает эту полосу и ее интенсивность проявляется при 3007 см<sup>-1</sup>. На рис. 3 представлен увеличенный фрагмент этой полосы с демонстрацией высоты пиков исследуемых масел по отношению к базовой линии. До окисления интенсивность этой полосы поглощения была наиболее выражена в нерафинированном масле Dial-Export, содержащем большее количество линолевой кислоты, имеющей неразветвленную цепь углеродных атомов и две изолированные двойные связи, одна из которых расположена между 9-м и 10-м, а вторая между 12-м и 13-м углеродными атомами. В рафинированных маслах Basso и Mastr'Olivo интенсивность полосы 3007 см<sup>-1</sup> была ниже, что согласуется с их жирно-кислотным составом.

Но через 5 ч термоокисления интенсивность этой полосы поглощения в масле Dial-Export стала меньше, чем в масле Mastr'Olivo, так как глубина и скорость окисления находятся в прямой зависимости от количества полиненасыщенных жирных кислот и степени их ненасыщенности. В первую очередь окисляется группа =CH–, соседняя с двойной связью, а с наибольшей скоростью — расположенная между двумя двойными связями. Поэтому процесс окисления линолевой кислоты идет интенсивнее за счет раскрытия двойных связей и более раннего образования окисленных молекулярных продуктов, чем в олеиновой кислоте.

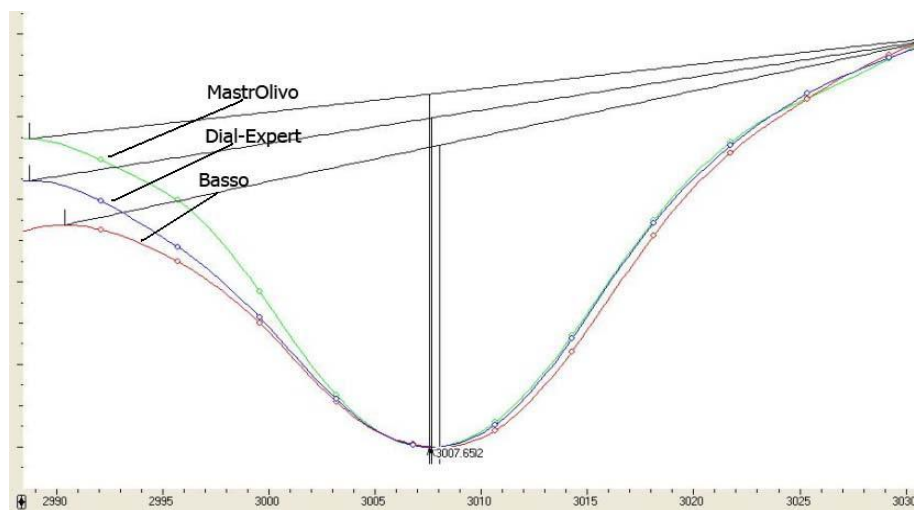


Рис. 3. Увеличенный фрагмент области поглощения валентных колебаний =CH- в рисовых маслах после 5 ч термоокисления

Область поглощения 3200–3650 см<sup>-1</sup> с максимумом при 3450 см<sup>-1</sup> характерна для валентных колебаний свободной группы OH, отсутствие которой в первые 4 ч термоокисления и появление через 5 ч, можно связать с образованием продуктов окисления липидов, например, гидропероксидов и окисоединений. [16] По интенсивности максимума поглощения 3450 см<sup>-1</sup> через 5 ч термоокисления рисовые масла можно расположить следующим образом: Basso > Dial-Expert > Mastr'Olivo (рис. 2).

Для сравнения степени окисленности рисовых масел, отличающихся исходным составом жирных кислот и БАВ, используют коэффициенты окисленности, сопоставляющие интенсивность полос поглощения наиболее лабильных при окислении компонентов по отношению со стабильными, так называемых «скелетных» колебаний триглицеридов. В качестве «скелетных» Tokassado M. [17] предложил использовать деформационные и валентные колебания C-H в группе CH<sub>2</sub> при частотах 1465 и 2850 см<sup>-1</sup>. Коэффициенты окисленности исследуемых образцов рисового масла через 5 ч термоокисления представлены в табл. 3.

Коэффициенты окисленности для полосы 3007 см<sup>-1</sup> (K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub>) характеризуют стадию цепного процесса - зарождения цепей, а для поло-

сы 3450 см<sup>-1</sup> (K<sub>3</sub> и K<sub>4</sub>) - стадию обрыва цепей, приводящую к исчезновению свободной валентности и образованию молекулярных продуктов спиртов, оксикислот, кетонов и др. Процессы образования вторичных продуктов окисления (K<sub>3</sub> и K<sub>4</sub>) в исследуемых маслах идут с меньшей интенсивностью практически в 100 раз по сравнению с процессом зарождения цепей (K<sub>1</sub> и K<sub>2</sub>). Наиболее эти процессы были выражены в масле Basso, имеющем самые высокие коэффициенты, как для полосы 3007 см<sup>-1</sup>, так и полосы 3450 см<sup>-1</sup>. Объяснением может служить самое низкое содержание в нем комплекса природных антиоксидантов - витамина E и γ-оризанола. В маслах Mastr'Olivo и Dial-Expert прямой зависимости степени окисленности от содержания антиоксидантов не установлено. Так, в масле Dial-Expert содержится больше всего, как витамина E, так и γ-оризанола, но значения всех коэффициентов окисленности самыми низкими были в масле Mastr'Olivo. Это может быть связано с особенностью антиоксидантного действия витамина E, который первым вступает в реакцию со свободными радикалами, образуя токоферильные радикалы. Образованные радикалы могут быть

Таблица 3

Коэффициенты окисленности рисового масла через 5 ч термоокисления

Торговая марка	Для полосы 3007 см <sup>-1</sup> , *(10 <sup>-2</sup> )		Для полосы 3450 см <sup>-1</sup> , *(10 <sup>-4</sup> )	
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
Basso	486,74	369,31	141,02	235,44
Mastr'Olivo	414,95	310,35	89,95	156,04
Dial-Expert	417,39	327,53	136,06	231,96

восстановлены  $\gamma$ -оризанолом или другими БАВ, например фитостеролами и скваленом. В масле *Mastr'Olivo* представлен более широкий спектр БАВ (таблицы 1) по сравнению с другими маслами. По-видимому, при очень высоком количестве витамина Е в масле *Dial-Export*  $\gamma$ -оризанола и других БАВ недостаточно для его восстановления. Напротив в масле *Mastr'Olivo* за счет более высокого относительного содержания  $\gamma$ -оризанола и сквалена процесс восстановления витамина Е сбалансирован.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состав жирных кислот и биологически активных веществ рисового масла зависит от технологии и стран-производителей. Широкий

спектр биологически активных веществ в исследованных рисовых маслах способствовал его стойкости к окислительному стрессу, который наступил только через 5 ч термоокисления. Использование ИК-спектроскопии дало возможность рассчитать коэффициенты окисленности, характеризующие процесс окисления рисовых масел по стадиям - зарождения цепей ( $K_1$  и  $K_2$ ) и обрыва цепей ( $K_3$  и  $K_4$ ). Более высокие значения  $K_1$  и  $K_2$  (практически в 100 раз) по сравнению с  $K_3$  и  $K_4$  доказывают, что процессы окисления находятся в начальной стадии. Для интенсивности протекания окислительных процессов в маслах важное значение имеет соотношение витамина Е и восстанавливающих его компонентов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Здравоохранение в России. 2015: статистический сборник. М.: Росстат, 2015. 174 с.
2. Золочевский В.Г. Изменение состава и свойств растительных масел при дезодорации в схемах физической рафинации // *Масла и жиры*. 2009. N 10. С. 8–11.
3. Пилипенко Т.В., Нилова Л.П., Мехтиев В.С., Науменко Н.В. Актуальные вопросы управления качеством растительного масла // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2011. N 28 (245). С.183–188.
4. Симакова И.В., Перкель Р.Л., Куткина М.Н., Воловей А.Г. Проблемы обеспечения безопасности продукции быстрого питания, жаренной во фритюре // *Вопросы питания*. 2015. Т. 84, N 5. С.112–120.
5. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Маркова К.Ю., Сикоев З.Х. Функциональные и технологические свойства растительных масел нового поколения // *Масложировая промышленность*. 2013. N 6. С. 22–27.
6. Долголюк И.В., Терещук Л.В., Трубникова М.А., Старовойтова К.В. Растительные масла – функциональные продукты питания // *Техника и технология пищевых производств*. 2014. N 2 (33). С.122–125.
7. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Маркова К.Ю. Масло из рисовых отрубей – ценный источник функциональных ингредиентов антиоксидантного действия // *Товаровед продовольственных товаров*. 2012. N 12. С. 34–44.
8. Patel M., Naik S.L. Gamma-oryzanol from rice bran oil // *Journal of Scientific and Industrial research*. 2004. N 63. P. 569–578.
9. Xu Z., Godber J.S. Purification and identification of components of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil // *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 1999. N 47. P. 2724–2728.
10. Lerma- Garcia M.J., Simo-Alfonso J.M., Mendonsa E.F., Ramis-Ramos C.R.B. Composition, industrial processing and applications of rice bran  $\gamma$ -oryzanol // *Food Chemistry*. 2009. N 115. P. 389–404.
11. Нилова Л.П. Масло из рисовых отрубей. Функциональные свойства и использование в пищевых технологиях // *Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности*. 2014. N S1. С. 64–72.
12. Nyström L., Achrenius T., Lampi A.M., Moreau R.A., Piironen V. A comparison of the antioxidant properties of steryl ferulates with tocoferol at high temperatures // *Food Chemistry*. 2007. N 101. P. 947–954.
13. Sereewatthanawut I., Baptista I.I.R., Viam A.T., Hodgson A., Livingston A.G. Nanofiltration process for the nutritional enrichment and refining of rice bran oil // *Journal of Food Engineering*. 2011. N 102. P. 16–24.
14. Srisaipet A., Nuddagul M. Influence of Temperature on Gamma-Oryzanol Stability of Edible Rice Bran Oil during Heating // *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2014. V. 5, N. 4. P. 303-306.
15. Тринеева О.В. Методы анализа витамина Е // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2013. N 1. С. 212–224.
16. Сильверштейн Р., Вебер Ф., Кимп Д. Спектрофотометрическая идентификация органических соединений. М.: Изд-во «Бином. Лаборатория знаний», 2011. 557 с.
17. Tokassado M., Horikawa K., Masayma S. A new spectral measuring oxidative stability of oil fat // *J. Jap. Oil Chem*. 1979. N 4 (28). P. 291–299.

REFERENCES

1. *Zdravookhranenie v Rossii. 2015: statisticheskii sbornik* [Health care in Russia. 2015: statistical collection]. Moscow, Rosstat Publ., 2015, 174 p. (in Russian)
2. Zolocheskii V.G. Change of structure and properties of oils at deodorization in schemes of physical refining. *Masla i zhiry* [Oils and fats]. 2009, no. 10, pp. 8–11. (in Russian)
3. Pilipenko T.V., Nilova L.P., Mekhtiev V.S., Naumenko N.V. Actual questions of vegetable oil quality management. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Bulletin of the South Ural state university. Food and biotechnology]. 2011, no. 28 (245), pp. 183–188. (in Russian)
4. Simakova I.V., Perkel R.L., Kutkina M.N., Volovei A.G. Problems of ensuring the safety of deep-fried fast food products. *Voprosy pitaniya* [Problems of nutrition]. 2015, vol. 84, no. 5, pp. 112–120. (in Russian)
5. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Markova K.Yu., Sikoev Z.H. Functional and Technological Properties of a New Generation Oils. *Maslozhirnyaya promyshlennost'* [Fat and oil processing industry]. 2013. N6. P.22-27. (in Russian)
6. Dolgoluk I.V., Terechuk L.V., Trubnikova M.A., Starovoitova K.V. Vegetable oils as functional food. *Tekhnika i tekhnologiya pishchsevykh proizvodstv* [Food processing: Techniques and technology]. 2014, no. 2 (33), pp. 122–125. (in Russian)
7. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Markova K.Yu. Rice bran oil – the valuable source of functional components with the antioxidative action. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Goods manager of food products]. 2012, no. 12, pp. 34–44. (in Russian)
8. Patel M., Naik S.L. Gamma-oryzanol from rice bran oil. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2004, no. 63, pp. 569–578.
9. Xu Z., Godber J.S. Purification and identification of components of  $\gamma$ -oryzanol in rice bran oil. *Journal Agriculture and Food Chemistry*. 1999, no. 47, pp. 2724–2728.
10. Lerma-Garcia M.J., Simo-Alfonso J.M., Mendonsa E.F., Ramis-Ramos C.R.B. Composition, industrial processing and applications of rice bran  $\gamma$ -oryzanol. *Food Chemistry*. 2009, no. 115, pp. 389–404.
11. Nilova L.P. Rice bran oil. Functional properties and use in food technologies. *Problemy ekonomiki i upravleniya v torgovle i promyshlennosti* [Problems of Economics and Management in the Trade and Industry]. 2014, no. S1, pp. 64–72. (in Russian)
12. Nyström L., Achrenius T., Lampi A.M., Moreau R.A., Piironen V. A comparison of the antioxidant properties of steryl ferulates with tocopherol at high temperatures. *Food Chemistry*. 2007, no. 101, pp. 947–954.
13. Sereewatthanawut I., Baptista I.I.R., Boam A.T., Hodgson A., Livingston A.G. Nanofiltration process for the nutritional enrichment and refining of rice bran oil. *Journal of Food Engineering*. 2011, no. 102, pp. 16–24. (in Russian)
14. Srisaipet A., Nuddagul M. Influence of Temperature on Gamma-Oryzanol Stability of Edible Rice Bran Oil during Heating. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2014, vol. 5, no. 4, pp. 303–306.
15. Trineeva O.V. Methods of vitamin E analysis. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2013, no. 1, pp. 212–224. (in Russian)
16. Silverstain P., Veber F., Kimp D. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2011, 557 p. (in Russian)
17. Tokassado M., Horikawa K., Masayma S. A new spectral measuring oxidative stability of oil fat. *J. Jap. Oil Chem*. 1979, no. 4 (28), pp. 291–299.

**Критерии авторства**

Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Вытовтов А.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Вытовтов А.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Contribution**

Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.



**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Людмила П. Нилова**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
К.т.н., доцент,  
nilova\_l\_p@mail.ru

**Татьяна В. Пилипенко**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
К.т.н., профессор,  
pilipenko\_t\_w@mail.ru

**Анатолий А. Вытовтов**

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
К.т.н., доцент,  
avytovtov@yandex.ru

*Поступила 01.11.2016*

**AUTHORS' INDEX**

**Lyudmila P. Nilova**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic  
University  
Ph.D. (Engineering), Associate Professor  
nilova\_l\_p@mail.ru

**Tat'yana V. Pilipenko**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic  
University  
Ph.D. (Engineering), Professor  
pilipenko\_t\_w@mail.ru

**Anatolii A. Vytovtov**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic  
University  
Ph.D. (Engineering), Associate Professor  
avytovtov@yandex.ru

*Received 01.11.2016*