

ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ
PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

УДК 664.012.1:665.353.4
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-494-508>

Поступила в редакцию 12.07.2019
Received 12.07.2019

З. В. Ловкис, И. М. Почицкая, Е. М. Моргунова

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА
В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

Аннотация: В связи с широким применением в пищевой промышленности пальмового масла и рекомендациями Всемирной организации здравоохранения снизить его потребление из-за риска развития сердечно-сосудистых заболеваний весьма актуальным является контроль содержания его в продуктах питания. Проблемы, связанные с идентификацией и количественным определением жиров, жировых смесей в пищевых продуктах ввиду схожего их состава, полностью не решены. Цель работы – проведение комплексных исследований для разработки алгоритма идентификации и количественного определения компонентов жирового состава пищевых продуктов и выявления присутствия в них пальмового масла. В результате проведенных исследований компонентного состава пальмового масла и его фракций, различных видов растительных жиров, модельных смесей жиров были разработаны методические подходы к идентификации пальмового масла в пищевых продуктах. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования хроматографического и изотопно-спектрального методов анализа для решения прикладных задач в пищевой отрасли. В целях идентификации жировой основы пищевых продуктов установлены следующие маркеры присутствия пальмового масла: фитостерин; кампастерин, стигмастерин в количественном соотношении около 50:25:25; ситостерин – превалирующий компонент (66–200 мкг/г); следы либо отсутствие брасикостерина; вещества, обладающие Е-витаминной активностью (энантимеры витамина Е), представлены до 90 % токотриенолами, оставшиеся 10 % – токоферолами. Анализ изотопного состава позволил выявить различия в изотопном составе углерода и водорода в зависимости от вида масел и жиров, а также определить к какой группе фиксации атмосферного диоксида углерода при фотосинтезе (C_3 или C_4) относится растение, из которого изготовлено анализируемое масло. Результаты научных исследований могут быть использованы для идентификации и количественного определения пальмового масла и его фракций в пищевых продуктах, что позволит повысить продовольственную безопасность Республики Беларусь, обеспечить внутренний рынок качественными продуктами питания. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках Отдельного проекта фундаментальных и прикладных научных исследований Национальной академии наук Беларуси «Разработка научно-методических основ идентификации и количественной оценки пальмового масла как одного из составляющих растительных жиров в продуктах питания».

Ключевые слова: пищевая промышленность, продукты питания, масличные культуры, растительные масла, пальмовое масло, стериновый состав, жирнокислотный состав, токольный состав, изотопный состав

Для цитирования: Ловкис, З. В. Научно-методические основы идентификации пальмового масла в пищевых продуктах / З. В. Ловкис, И. М. Почицкая, Е. М. Моргунова // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2019. Т. 57, №4. – С. 494–508. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-494-508>

Z. V. Lovkis, I. M. Pochitskaya, E. M. Morgunova

The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs, Minsk, Belarus

RESEARCH AND METHODOLOGICAL BASIS FOR IDENTIFICATION OF PALM OIL IN FOOD

Annotation: In connection with the widespread use of palm oil in the food industry and the recommendations of the World Health Organization to reduce its consumption due to the risk of developing cardiovascular diseases and obesity, it is very important to control its content in food. The problems associated with the identification and quantification of fats, fat mixtures in food products due to their similar composition have not been completely resolved. The purpose of the work is to

conduct comprehensive studies to develop an algorithm for identifying and quantifying the components of the fat composition of food products and detecting the presence of palm oil in them. As a result of studies of the component composition of palm oil and its fractions, various types of vegetable fats, model mixtures of fats, methodological approaches to the identification of palm oil in food products have been developed. The feasibility of using chromatographic and isotope spectral analysis methods to solve applied problems in the food industry is theoretically substantiated and experimentally confirmed. In order to identify the fat base of food products, the following markers of the presence of palm oil have been established: phytosterols: sitosterol, campasterol, stigmasterol in a quantitative ratio of about 50:25:25; sitosterol – the prevailing component (66–200 µg/g); traces or lack of brassicosterol; substances with E-vitamin activity (enantiomers of vitamin E); up to 90 % are represented by tocotrienols, the remaining 10 % are represented by tocopherols. The analysis of the isotopic composition revealed differences in the isotopic composition of carbon and hydrogen depending on the type of oil and fat, and also determined which group of fixation of atmospheric carbon dioxide during photosynthesis (C_3 or C_4) belongs to the plant from which the analyzed oil is made. The results of scientific research can be used to identify and quantify palm oil and its fractions in food products, which will improve the food security of the Republic of Belarus and provide the domestic market with high-quality domestic food products. **Acknowledgments.** The work was carried out as part of a separate project of fundamental and applied research of the National Academy of Sciences of Belarus “Development of scientific and methodological foundations for the identification and quantification of palm oil as one of the constituents of vegetable fats in food products” (republican budget).

Keywords: vegetable oils, palm oil, sterol composition, fatty acid composition, tocotrienol composition, isotopic composition, test methods

For citation: Lovkis Z. V., Pochitskaya I. M., Morgunova E. M. Research and methodological basis for identification of palm oil in food. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no 4, pp. 494–508 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-4-494-508>

Введение. Пальмовое масло является наиболее широко потребляемым растительным маслом в мире, присутствующим во многих пищевых и потребительских продуктах, представленных в торговой сети [1–3]. Доминирование пальмового масла объясняется урожайностью масличной пальмы, в четыре раза превышающей урожайность других масличных культур [4], низкой стоимостью и универсальностью применения [5]. Производство пальмового масла во всем мире увеличилось от 15 млн т в 1995 г. до 66 млн т в 2017 г. [6]. Около 80 % мирового производства плодов масличной пальмы приходится на Индонезию и Малайзию [7].

Широкое использование пальмового масла в пищевой промышленности связано с высоким содержанием насыщенных жирных кислот, определяющих его способность оставаться в твердом и полутвердом состоянии при комнатной температуре в отличие от большинства масел растительного происхождения, улучшать вкус и внешний вид продукта и значительно увеличивать срок хранения.

В чистом виде пальмовое масло используется как фритюрный жир, а также для приготовления специальных жиров: заменителей молочного жира, эквивалентов масла какао, жиров для глазури и др. Для получения продуктов пальмового масла с различными характеристиками используется процесс фракционирования. Характеристика и химический состав фракций зависят от принятых методов фракционирования и разделения фаз.

Пальмовый олеин (жидкая фракция) широко используется в качестве компонента жировой основы для маргариновой продукции, а также как высокостабильное масло для обжарки различных пищевых продуктов, как салатное масло. Стеариновая (твердая) фракция находит применение в качестве компонента жировой основы кулинарных жиров, маргаринов, в производстве мыла, моющих и косметических средств. Пальмовый стеарин является незаменимым для таких продуктов, как разрыхлители и маргарины для слоеного теста.

По основным структурно-механическим свойствам и составу пальмовое масло и его фракции могут заменить модифицированные жиры, в том числе гидрированные растительные масла, для которых характерно высокое содержание транс-изомеров жирных кислот.

По данным ряда исследований, потребление насыщенных жирных кислот в большом количестве способствует проявлению заболеваний сердца и сосудов [8–12].

Еще в 2003 г. Всемирная организация здравоохранения официально рекомендовала уменьшить употребление пальмового масла из-за высокого содержания насыщенных жирных кислот и как одного из факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний¹.

¹ Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases [Electronic resources] : report of a joint WHO/FAO expert consultation / World Health Organization. Geneva, 2003. Mode of access: <https://apps.who.int/iris>. Date of access: 18.09.2019.

В связи с негативной оценкой влияния пальмового масла на здоровье человека все более актуальной является проблема ложной или вводящей в заблуждение маркировки пищевых продуктов. Как правило, изготовитель масложировой продукции выносит в маркировку состава своего продукта только надпись «Масла растительные рафинированные дезодорированные», что не противоречит требованиям ТР ТС 022. Состав продукта является коммерческой тайной и в большинстве случаев изготовитель его не раскрывает.

Вместе с тем пальмовое масло и (или) его фракции могут входить в состав любой составной масложировой продукции, указанной выше. Таким образом, любой пищевой продукт, содержащий составную масложировую продукцию или непоименованные растительные масла и (или) их фракции, потенциально может содержать пальмовое масло или его фракции. Так, многие продукты, в состав которых входит пальмовое масло, не имеют четкой маркировки. Пальмовое масло и его производные могут появляться под многими названиями, в том числе: растительное масло, растительный жир, пальмовое ядро, пальмовое масло, пальматин, пальмитат, пальмолин, глицерин, стеарат, стеариновая кислота, *Elaeis Guineensis*, пальмитиновая кислота, пальмовый стеарин, пальмитоил оксостеарамида, пальмитоил тетрапептид-3, пальмитоил тетрапептид-3 Laureth Sulfate, лаурилсульфат натрия, Kernelate натрия, Kernelate пальмового натрия, Lauryl Lactylate / Sulphate натрия, гидратированные глицериды пальм, Etyl Palmitate, Octyl Palmitate, Palmityl Alcohol.

Для контроля содержания пальмового масла и его фракций применяются различные методы [13–18]. Поэтому идентификация и количественное определение пальмового масла и его фракций, находящихся в пищевых продуктах в смесях с другими жирами, является сложной аналитической задачей ввиду схожего жирнокислотного состава.

Цель исследований – проведение комплексных исследований для разработки алгоритма идентификации и количественного определения компонентов жирового состава пищевых продуктов и выявления присутствия в них пальмового масла.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили в лаборатории хроматографических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (далее лаборатории хроматографических исследований РКИК КБПП) в 2018–2019 гг. Объектами исследований служили различные растительные масла, животные жиры и масложировые композиционные смеси. В работе применяли следующие методы: выделение жира – по ГОСТ 31902–2012, определение жирнокислотного состава – СТБ ИСО 15304–2007.

Стериновый состав определяли на газовом хроматографе с масс-селективным детектированием Agilent 6890/5975 Series GC/MSD и капиллярной колонкой HP-5MS длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной пленки неподвижной фазы 0,25 мкм. В качестве газа-носителя использовали гелий. Осуществляли программирование температуры колонки (T_1 колонки 70 °С (выдержка 2 мин); повышение температуры со скоростью 20 °С/мин до T_2 230 °С (выдержка 0,5 мин). Температура инжектора составляла 250 °С, интерфейса – 280 °С, ионного источника – 230 °С, квадруполя – 150 °С, диапазон масс – 45–550 m/z ; объем вводимой пробы – 1 мкл. Масс-спектрометрический анализ проводили в режиме селективного сканирования характеристических ионов стерина. Значения масс характеристических ионов (молекулярный/подтверждающий) для холестерина устанавливали 275/386, 301; брассикастерина – 255/398, 300, кампастерина – 43/81, 400,0, стигмастерина – 55/412, 83, ситостерина – 145/414, 329. С использованием программного обеспечения прибора проводили количественное определение идентифицируемых стерина методом абсолютной градуировки.

Энантомеры витамина Е (токольного состава) жировой составляющей пищевых продуктов определяли с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа Acella с диодно-матричным и масс-селективным детекторами, колонкой Thermo Scientific Hypersil Gold 5 мкм, 4,6 мм, 100 мм. Условия хроматографирования: температура термостата колонки ($25 \pm 0,2$) °С; объем инъекции – 10 мкл; элюирование в изократических условиях – в течение 30 мин; состав элюента: смесь метанола и 5%-ной муравьиной кислоты – в объемном соотношении 95:5 соответственно; скорость подачи элюента – 200 мкл/мин; детектирование проводили при следующих длинах волн: альфа-токолы – 292 нм; бета-, гамма-, дельта-токолы – 296 нм.

Состав стабильных изотопов углерода в образцах определяли на аналитическом комплексе, состоящем из двухреакторного элементного анализатора органических и неорганических объектов Flash 2000 HT O/H-N/C, оснащенного автосамплером; универсального интерфейса ConfioIV; масс-спектрометра для анализа стабильных изотопов легких элементов IRMS DeltaV Advantage; системы подачи газов высокой очистки; специализированной рабочей станции DellOptiplex 960 для управления изотопным исследованием, регистрации и обработки результатов измерения с помощью высокоуровневого программного пакета Isodat 3.0 (ThermoFisherScientific, Германия).

Исследование масел и жировых составляющих пищевых продуктов с целью выявления маркеров присутствия пальмового масла либо его фракций проводили в несколько этапов. Первоначально был исследован стеринный состав. Отсутствие фитостеринов свидетельствовало о том, что исследуемый образец не растительного происхождения, следовательно, не содержит пальмовое масло.

На следующем этапе исследования определяли жирнокислотный состав, по которому можно установить, к какой группе масел относится анализируемый образец. Идентификацию пальмового масла осуществляли путем установления энантимеров витамина E, поскольку отличительной особенностью пальмового масла от других является высокое содержание токотриенолов. На заключительном этапе исследовали изотопный состав атомов молекулы липидов: водорода и углерода, поскольку соотношения изотопов имеют индивидуальные значения для каждого вида продукта. Данные исследования ранее в Беларуси не проводились.

Результаты и их обсуждение. В процессе экспериментальных исследований было установлено содержание стерина в анализируемых образцах пальмового масла, его фракций, различных растительных и сливочных масел (табл. 1). Так, в образцах пальмового масла и его фракций отмечалось невысокое количество стерина – от 130,94 до 384,58 мкг/г. Этот же количественный диапазон был характерен кокосовому маслу, возможно, именно в этом скрыта причина замены кокосового масла на пальмовое и его фракции при производстве мороженого и кондитерских изделий.

В исследуемых образцах какао-масла содержание стерина составляло 834,71 и 1122,91 мкг/г соответственно, что значительно превышало этот показатель для образцов пальмовых масел и его

Т а б л и ц а 1. Стеринный состав исследуемых образцов масел, лаборатория хроматографических исследований РКИК КБПП, 2018–2019 гг.

Table 1. Sterol composition of the studied oil samples, Laboratory for Chromatographic Research RKIK KBPP, 2018–2019

№№	Наименование образца	Содержание стерина, %					Суммарное содержание растительных стерина, %	Суммарное содержание стерина, мкг/г
		холестерин	брасикастерин	кампастерин	стигмастерин	ситостерин		
1	Пальмовое масло 1	17,6	н/о	20,8	22,3	39,3	82,4	384,58
2	Пальмовое масло 2	23,6	10,9	16,0	14,5	34,9	76,4	189,94
3	Пальмовое масло 3	н/о	н/о	18,0	16,9	65,1	100,0	301,36
4	Пальмовый олеин	16,4	9,2	16,2	17,6	40,6	83,6	207,97
5	Пальмовый стеарин	14,8	13,8	17,7	19,7	40,0	85,2	130,94
6	Какао-масло 1	6,4	н/о	11,2	34,8	47,6	93,7	1122,91
7	Какао-масло 2	2,2	2,6	7,5	31,2	56,5	97,8	834,71
8	Кокосовое масло	7,0	15,3	18,7	20,0	39,0	93,0	217,51
9	Льняное масло	11,6	н/о	22,7	18,3	47,5	88,4	1590,7
10	Масло авокадо	н/о	н/о	10,8	н/о	89,2	100,0	1920
11	Тыквенное масло	н/о	н/о	н/о	н/о	100,0	100,0	254,13
12	Подсолнечное масло	н/о	н/о	40,7	59,3	н/о	100,0	301,04
13	Рапсовое масло нерафинированное марки Р	н/о	18,5	29,3	н/о	52,2	100,0	1284,07
14	Сливочное масло 1	100,0	н/о	н/о	н/о	н/о	0	664,42
15	Сливочное масло 2	100,0	н/о	н/о	н/о	н/о	0	542,12
16	Сливочное масло 3	100,0	н/о	н/о	н/о	н/о	0	785,14

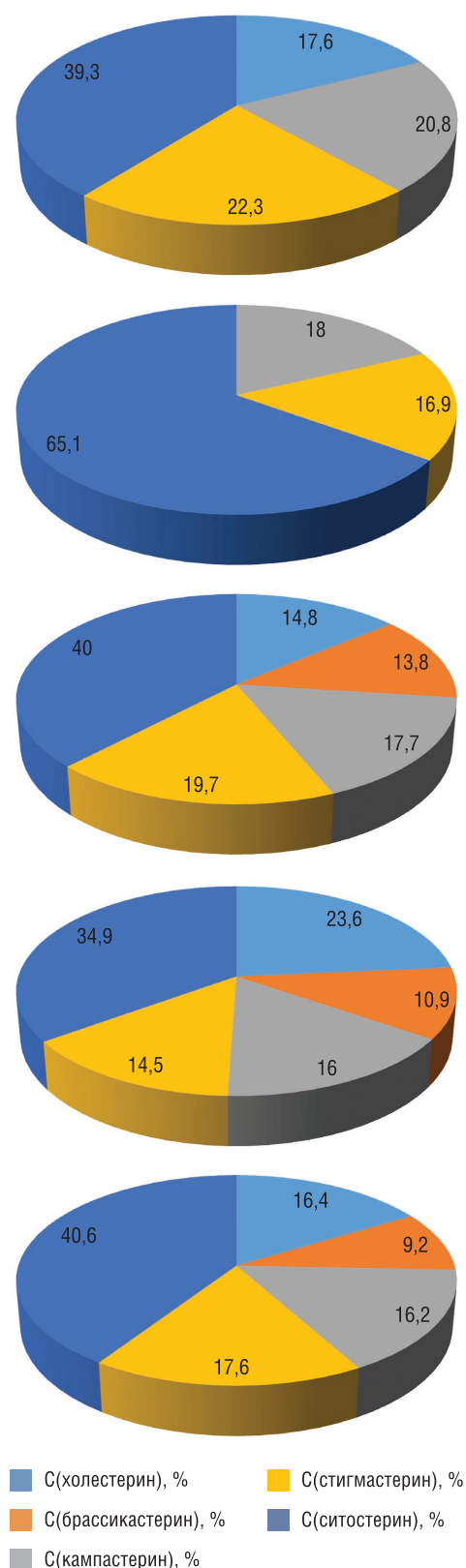


Рис. 1. Стериновый состав пальмового масла и его фракций, лаборатория хроматографических исследований РКИК КБПП, 2018–2019 гг.

Fig. 1. Sterol Sterol composition of palm oil and its fractions, Laboratory for Chromatographic Research RKIK KBPP, 2018–2019

фракций. Образцы льняного, рапсового масел отличались достаточно высоким содержанием стеринов – 1590,70 и 1284,07 мкг/г соответственно. Максимальное содержание стеринов обнаружено в образце масла авокадо в количестве 1920,00 мкг/г.

Как видно из табл. 1, образцы пальмового масла и его фракции содержали стеринны как растительного, так и животного происхождения. В одном из образцов пальмового масла холестерин не был обнаружен, в то время как в других его содержание составляло от 14,8 до 23,6 % от общего содержания стеринов. В образцах тыквенного, рапсового, подсолнечного масел и масла авокадо холестерин не был обнаружен. Максимальное содержание холестерина было установлено в образцах сливочного масла, что характерно для жиров животного происхождения.

Для всех образцов пальмового масла и его фракций характерно наличие ситостерина, стигмастерина и кампастерина (рис. 1). Экспериментальные данные свидетельствуют, что количественное содержание их находится приблизительно в соотношении 50:25:25 соответственно. Следует отметить, что брасикастерин не может быть использован в качестве маркера присутствия или отсутствия пальмового масла в пищевых продуктах, так как его содержание в пальмовом масле может существенно изменяться.

Результаты исследования стеринового состава других масел показали, что в образцах масла тыквенного, рапсового и авокадо стигмастерин не обнаруживался. По содержанию стигмастерина другие исследуемые масла можно расположить в следующем порядке по возрастанию: льняное – кокосовое – какао-масло – подсолнечное.

Для всех исследованных растительных масел характерно высокое содержание фитостерина ситостерина – около 50 % от всех стеринов. Исключение составляют: тыквенное масло, стеринны которого представлены только ситостерином; масло авокадо, в котором его обнаружено 89,2 %, и подсолнечное, в котором ситостерин отсутствует.

Полученные данные о содержании стеринов в исследуемых образцах сравнивали с литературными данными. Устанавливая содержание фитостеринов в таких растительных маслах, как пальмовое масло, кокосовое масло, рапсовое масло, пальмовый олеин и пальмовый стеарин, за истинные принимали данные, представленные в публикации [19]. Для анализа стеринового состава в пересчете в относительные единицы для сравнения принимали следующие данные: для тыквенного масла приведены в работах Р. О'Брайена, S. Bardaa et al. [20, 21], какао-масла – J. Romanczyk [22], сливочного масла – P.P. Manandar, A. Nagao, M. Yamazaki [23], масла авокадо – I. Berasategi [24], льняного масла – B. Piłat [25]. Полученные результаты в целом подтверждают тенденцию, представленную в литературных данных.

Для выявления и идентификации пальмового масла по стериновому составу были смоделированы 3 группы композиционных смесей на основе пальмового, какао, подсолнечного масел и молочного жира (табл. 2). Первая группа включала в себя смеси пальмового масла с какао-маслом в следующих процентных соотношениях: 50 % пальмового масла и 50 % какао-масла (композиция 1), 80 % пальмового масла и 20 % какао-масла (композиция 2); 20 % пальмового масла и 80 % какао-масла (композиция 3). Вторая группа – жировые смеси пальмового масла с подсолнечным маслом в тех же процентных соотношениях: 50 % пальмового масла и 50 % подсолнечного масла (композиция 4); 80 % пальмового масла и 20 % подсолнечного масла (композиция 5); 20 % пальмового масла и 80 % подсолнечного масла (композиция 6). Третья группа – жировые смеси пальмового масла с молочным жиром в тех же процентных соотношениях: 50 % пальмового масла и 50 % молочного жира (композиция 7); 80 % пальмового масла и 20 % молочного жира (композиция 8); 20 % пальмового масла + 80 % молочного жира (композиция 9).

Т а б л и ц а 2. Стериновые составы композиционных смесей с использованием пальмового масла, лаборатория хроматографических исследований РКИК КБПП, 2018–2019 гг.

Table 2. Sterol composition of composite mixtures with palm oil, Laboratory for Chromatographic Research, RKIK KBPP, 2018–2019

№№	Наименование образца	Содержание стеринов, мкг/г					Суммарное содержание фитостеринов, мкг/г
		холестерин	брассикастерин	кампастерин	стигмастерин	ситостерин	
1	Пальмовое масло	67,53	н/о	80,13	85,94	150,98	317,05
2	Какао-масло	71,63	н/о	125,74	391,22	534,32	1051,28
3	Подсолнечное масло	н/о	н/о	122,57	178,47	н/о	301,04
4	Молочный жир	1215,02	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
5	Композиция 1	45,54	н/о	92,47	226,60	367,55	686,61
6	Композиция 2	38,87	н/о	46,17	80,53	126,69	253,40
7	Композиция 3	32,31	н/о	74,38	235,11	362,63	672,12
8	Композиция 4	38,76	н/о	88,64	93,17	314,20	496,00
9	Композиция 5	112,73	н/о	99,06	120,82	443,50	663,38
10	Композиция 6	56,44	н/о	146,77	176,09	768,58	1091,44
11	Композиция 7	436,89	н/о	58,22	68,35	112,72	239,29
12	Композиция 8	1049,15	н/о	47,28	46,31	98,13	191,71
13	Композиция 9	1243,47	н/о	25,97	27,47	42,68	96,12

Для оценки результатов качественного и количественного состава стеринов композиционных смесей использовали расчетные данные по содержанию стеринового состава пальмового, какао, подсолнечного масел и молочного жира маслах, применяемых для созданных композиций.

Экспериментально установлено, что в композиции 1, состоящей из 50 % пальмового масла и 50 % какао-масла, содержание холестерина составляет 45,54 мкг/г, кампастерина – 92,47 мкг/г, стигмастерина – 226,60 мкг/г и ситостерина – 367,55 мкг/г. Как и предполагалось, ситостерин является доминантным компонентом, его относительное содержание составляет 50 % от всех стеринов. Относительное содержание холестерина составляет всего 6 %, что и подтверждает наличие только растительных масел в смеси. С учетом погрешностей определения экспериментальные данные полностью соответствуют расчетным.

Следует отметить, что больший вклад в стериновый состав композиции 2 вносит пальмовое масло (80 %), следовательно, относительные количества стеринов имеют аналогичную закономерность, как и в образце пальмового масла. Содержание холестерина составляет 38,87 мкг/г, т.е. 13 %. Концентрация кампастерина равна 46,17 мкг/г (16 %), стигмастерина – 80,53 мкг/г, или 28 %, ситостерина – 126,69 мкг/г, или 43 % от общего содержания стеринов. Экспериментальные значения были меньше расчетных, однако общая концепция стеринового состава смеси с преобладающими компонентами пальмового масла сохраняется.

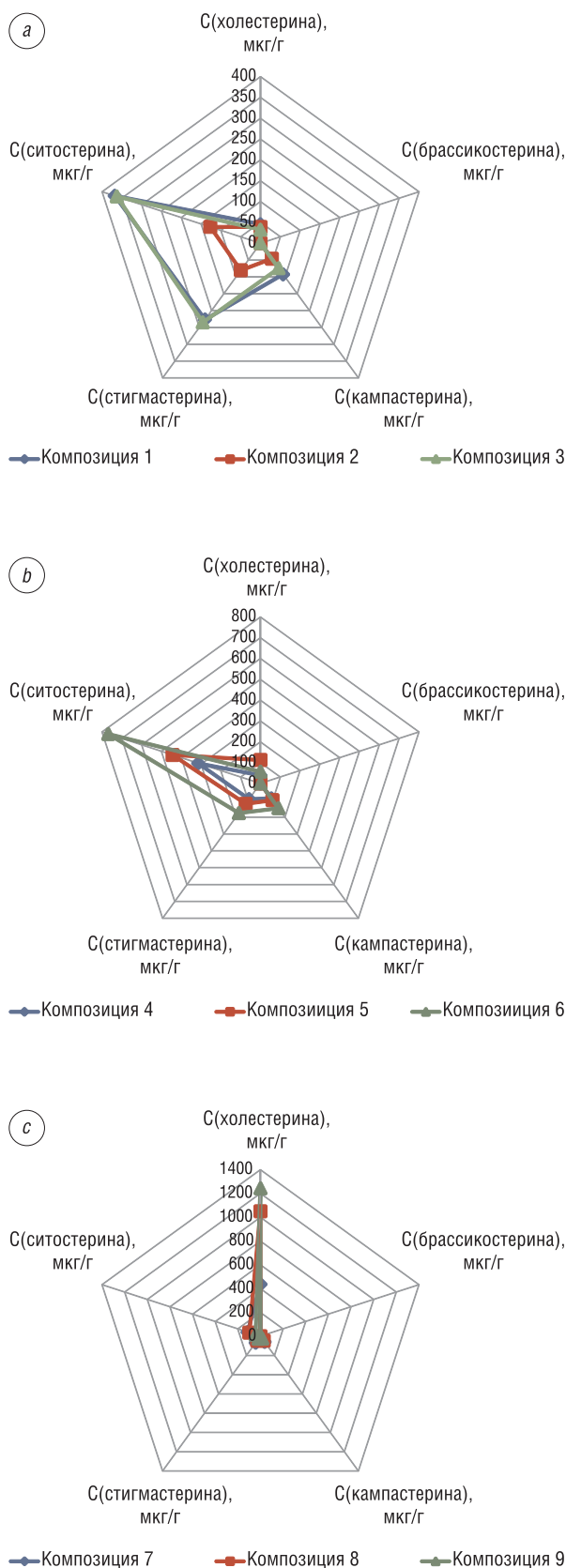


Рис. 2. Диаграмма стеринового состава композиционных смесей: *a* – I группы; *b* – II группы; *c* – III группы

Fig. 2. Diagram of the sterol composition of composite mixtures: *a* – group I; *b* – group II; *c* – group III

В составе композиции 3, состоящей из 20 % пальмового масла и 80 % какао-масла, количество холестерина равнялось 32,31 мкг/г, кампастерина – 74,38 мкг/г, стигмастерина – 235,11 мкг/г и β -ситостерина – 362,63 мкг/г, что значительно отличалось от расчетных данных.

Однако относительное содержание идентифицируемых компонентов находилось в соотношениях, близких к расчетным, характерным для какао-масла как основного компонента композиции.

Как видно на рис. 2, *a*, стериновый состав приготовленных композиций идентичен по соотношениям индивидуальных стеринов, при этом значительно отличается лишь композиция 2, в которой превалирующим компонентом является пальмовое масло.

Анализ стеринового состава композиционных смесей II группы показал (рис. 2, *b*), что композиция 4 состоит из пальмового масла и подсолнечного масла, где основным компонентом является пальмовое масло (соотношение 80:20), основным компонентом является ситостерин в количестве 314,20 мкг/г.

Композиция 5 состоит из пальмового и подсолнечного масла в соотношении 50:50. Полученный стериновый состав полностью соответствует расчетному количеству кампастерина и стигмастерина – стеринов, характерных подсолнечному маслу. Количество других стеринов стеринов значительно превышает расчетные величины.

Аналогичная ситуация наблюдалась с композицией 6, которая состоит из пальмового масла и подсолнечного масла в соотношении 20:80. Полученный стериновый состав также полностью соответствует предполагаемому по количеству кампастерина и стигмастерина (в пределах погрешности), но полученное количество оставшихся стеринов значительно превышает расчетные величины.

Как видно на рис. 2, *b*, все полученные стериновые составы приготовленных композиций идентичны друг другу по соотношению индивидуальных стеринов в каждом образце.

Композиционные смеси III группы представляют собой смеси пальмового масла с молочным жиром в различных соотношениях. Содержание холестерина во всех трех композиционных смесях данной группы превышает рассчитанные значения концентраций. Это можно объяснить высокой концентрацией холестерина в образце молочного жира. По со-

держанию фитостеринов все исследуемые композиции данной группы полностью соответствующим рассчитанным значениям с учетом предела погрешности определения.

На рис. 2, с представлена диаграмма стериновых составов исследуемых композиций III группы, которая наглядно показывает, что холестерин является мажорным компонентом данных смесей независимо от соотношения компонентов.

Одной из важных характеристик масел является токольный состав, поскольку все растительные масла богаты витамином Е. Результаты исследований токольных составов растительных масел и молочного жира представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Токольный состав растительных масел и молочного жира, лаборатория хроматографических исследований РККК КБПП, 2018–2019 гг.

Table 3. Terminal composition of vegetable oils and milk fat, Laboratory for Chromatographic Research RKIK KBPP, 2018–2019

Наименование образца	Массовая концентрация, мкг/г								
	α-TF	β+γ-TF	δ-TF	α-TTE	β+γ-TTE	δ-TTE	ΣTF	ΣTTE	Вит. Е
Какао-масло 1	17,49	127,48	10,92	н/о	н/о	н/о	155,89	н/о	155,89
Какао-масло 2	13,58	96,62	9,97	н/о	н/о	н/о	120,17	н/о	120,17
Какао-масло 3	14,53	147,65	6,42	н/о	н/о	н/о	168,60	н/о	168,60
Пальмовое масло 1	178,75	н/о	н/о	158,60	128,77	н/о	178,75	287,37	466,12
Пальмовое масло 2	125,46	н/о	н/о	115,60	86,17	7,60	125,46	209,37	334,83
Пальмовое масло 3	154,52	н/о	н/о	113,50	103,34	11,99	154,52	228,83	383,35
Пальмовое масло 4	114,00	н/о	н/о	103,51	71,08	5,12	114,00	179,71	293,71
Пальмовое масло 6	150,54	н/о	н/о	150,86	153,40	12,83	150,54	317,09	467,63
Пальмовое масло 7	33,43	5,06	н/о	24,57	30,96	н/о	38,49	55,53	94,02
Пальмовое масло 8	39,96	н/о	н/о	30,46	32,31	н/о	39,96	62,77	102,73
Пальмовое масло 9	144,37	13,33	н/о	99,65	106,52	8,44	157,70	214,61	372,31
Пальмовое масло рафинированное дезодорированное	34,68	–	–	50,79	22,36	н/о	34,68	73,15	107,83
Пальмовый олеин	18,72	–	–	11,68	34,09	н/о	18,72	45,77	64,49
Пальмовый стеарин	4,87	–	–	8,34	4,06	н/о	4,87	12,40	17,27
Подсолнечное масло 1	619,28	27,44	н/о	н/о	н/о	н/о	646,72	н/о	646,72
Подсолнечное масло 2	49,63	–	–	н/о	н/о	н/о	49,63	н/о	49,63
Оливковое масло 1	119,68	17,11	н/о	н/о	н/о	н/о	136,79	н/о	136,79
Оливковое масло 2	449,31	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	449,31	н/о	449,31
Оливковое масло 3	13,98	–	–	н/о	н/о	н/о	13,98	н/о	13,98
Рапсовое масло	3,63	–	–	н/о	н/о	н/о	3,63	н/о	3,63
Тыквенное масло	3,82	–	–	н/о	н/о	н/о	3,82	н/о	3,82
Масло авокадо	2,90	–	–	н/о	н/о	н/о	2,90	н/о	2,90
Молочный жир	2,83	–	–	н/о	н/о	н/о	2,83	н/о	2,83

Примечание. TF – токоферол; TTE – токотриенол; н/о – не обнаружено (<5 мкг/г); знак «–» – исследование не проводилось.

Как видно из полученных данных, пальмовое масло является единственным из исследуемых масел, содержащих токотриенольные формы витамина Е. Диапазон содержания токотриенольных форм витамина Е составляет 55–17 мкг/г, а токоферольных – 34–178 мкг/г, при этом во всех исследованных образцах пальмового масла относительное содержание токотриенольных форм составляет не менее 58 %.

Токольный состав фракций пальмового масла (пальмового олеина и пальмового стеарина) достаточно близок к токольным составам исследованных пальмовых масел. Относительное содержание токотриенольных форм составляет 71 % в образце пальмового олеина и 72 % – в образце пальмового стеарина.

В иных изученных растительных маслах, а также в образце молочного жира витамин Е представлен только изомерами токоферола.

В отдельную группу можно выделить образцы какао-масла, поскольку только в них обнаружен δ -токоферол в количестве 6,42–10,92 мкг/г, кроме того в них мажорным компонентом является ($\beta+\gamma$)-токоферол, что отличает данное масло от остальных.

В образцах подсолнечного, оливкового, рапсового, тыквенного масел, а также в образце масла авокадо и в образце молочного жира мажорным компонентом является α -токоферол, который характеризуется наиболее высокой антиоксидантной активностью по сравнению с иными изомерами токоферола.

Полученные токольные составы коррелируют с токольными составами индивидуальных растительных масел, представленных в литературных источниках.

Поскольку при производстве пищевых продуктов редко используют индивидуальные масла, были созданы и исследованы композиционные смеси растительных масел. Для приготовления смесей использовали индивидуальные масла пальмовое масло 1 (ПМ) и какао-масло 1 (КМ). Смеси готовились весовым методом в следующих соотношениях: смесь 1 – ПМ+КМ = 50:50, смесь 2 – ПМ+КМ = 80:20, смесь 3 – ПМ+КМ = 20:80, смесь 4 – ПМ+КМ = 10:90.

Изучив полученные токольные составы композиционных смесей растительных масел, можно сказать о высокой антиоксидантной активности данных смесей, поскольку в исследованных образцах обнаружено высокое общее содержание витамина Е (84–285 мкг/г), а мажорным компонентом во всех смесях является α -токоферол (11–94 мкг/г). На рис. 3 представлены диаграммы, демонстрирующие токольные составы модельных смесей. Полученные результаты свидетельствуют о зависимости содержания токотриенолов от процентного содержания пальмового масла в смеси: при увеличении количества пальмового масла в жировой составляющей наблюдается и увеличение содержания токотриенолов как индивидуальных, так и их суммы.

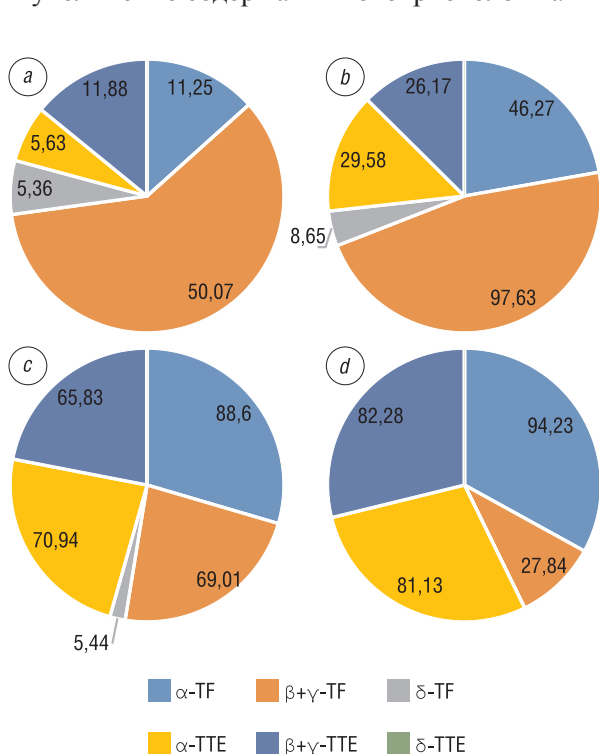


Рис. 3. Токольные составы образцов смеси ПМ+КМ = 10:90 (а), смеси ПМ+КМ = 20:80 (б), смеси ПМ+КМ = 50:50 (с), смеси ПМ+КМ = 80:20 (д), количество токолов указано в [мкг/г]

Fig. 3. The terminal compositions of samples of a mixture of PM+KM 10:90 (a), a mixture of PM+KM 20:80 (b), a mixture of PM+KM 50:50 (c), a mixture of PM+KM 80:20 (d). Note: the quantities of tocols are indicated in µg/g

При проведении сравнительного анализа полученных экспериментальным путем результатов токольных составов смесей с теоретическими токольными составами, рассчитанными в соответствии с индивидуальными составами масел и их соотношений, установлено, что полученные экспериментальным путем результаты коррелируют с теоретическими значениями для следующих образцов: ПМ+КМ = 20:80 и ПМ+КМ = 0:50. Для оставшихся смесей (ПМ+КМ = 10:90 и ПМ+КМ = 80:20) ситуация иная: экспериментальные значения ниже теоретических, что можно объяснить неравномерным распространением минорных компонентов по объему смеси.

Проанализировав полученные данные, установлено, что токольный состав является обязательным показателем при исследовании масел и одним из основополагающих критериев при идентификации пальмового масла/фракций пальмового масла.

Для исследования изотопного состава растительных масел наибольшее значение имеет фракционирование изотопов углерода при фотосинтезе. В настоящее время известны так называемые C_3 - и C_4 -пути фиксации атмосферного диоксида углерода, а также фотосинтез по типу толстянковых растений (САМ-метаболизм и фотодыхание).

C_3 -путь фиксации диоксида углерода характерен для растений, в которых ассимиляция CO_2 протекает по циклу Кальвина, состоящему из трех основных этапов: карбоксилирование, восстановление и регенерация акцептора CO_2 . В качестве первичных продуктов цикла Кальвина выступают трехуглеродные соединения, например 3-фосфоглицериновая кислота (3-ФГК), 3-фосфоглицериновый альдегид (3-ФГА) и фосфодиоксиацетон (ФДА). C_3 -путь – фиксации атмосферного диоксида углерода является основным для высших растений (например, для citrusовых деревьев, ягод, яблочных и грушевых деревьев и др.). 85 % всех растений относятся к C_3 -типу.

Около 500 видов покрытосеменных растений ассимилируют CO_2 по C_4 -пути. В данных растениях фотосинтез осуществляется по так называемому циклу Хетча и Слэка, первичными продуктами фиксации диоксида углерода и восстановления в котором являются четырехуглеродные соединения, например яблочная и аспарагиновая кислоты. К C_4 -растениям относится ряд культурных растений, преимущественно тропического и субтропического происхождения: кукуруза, просо, сорго, сахарный тростник. Как правило, это высокопродуктивные растения, устойчиво осуществляющие фотосинтез при значительных повышениях температуры и в засушливых условиях.

Значительная разница в изотопной метке C_3 - и C_4 -растений (и в получаемом при их переработке или преобразовании углеводе во всех формах) открывает широкие возможности для исследований [26–28].

Результаты исследований растительных масел по изотопному составу кислорода, водорода и углерода представлены на рис. 4, а их композиционных смесей – на рис. 5.

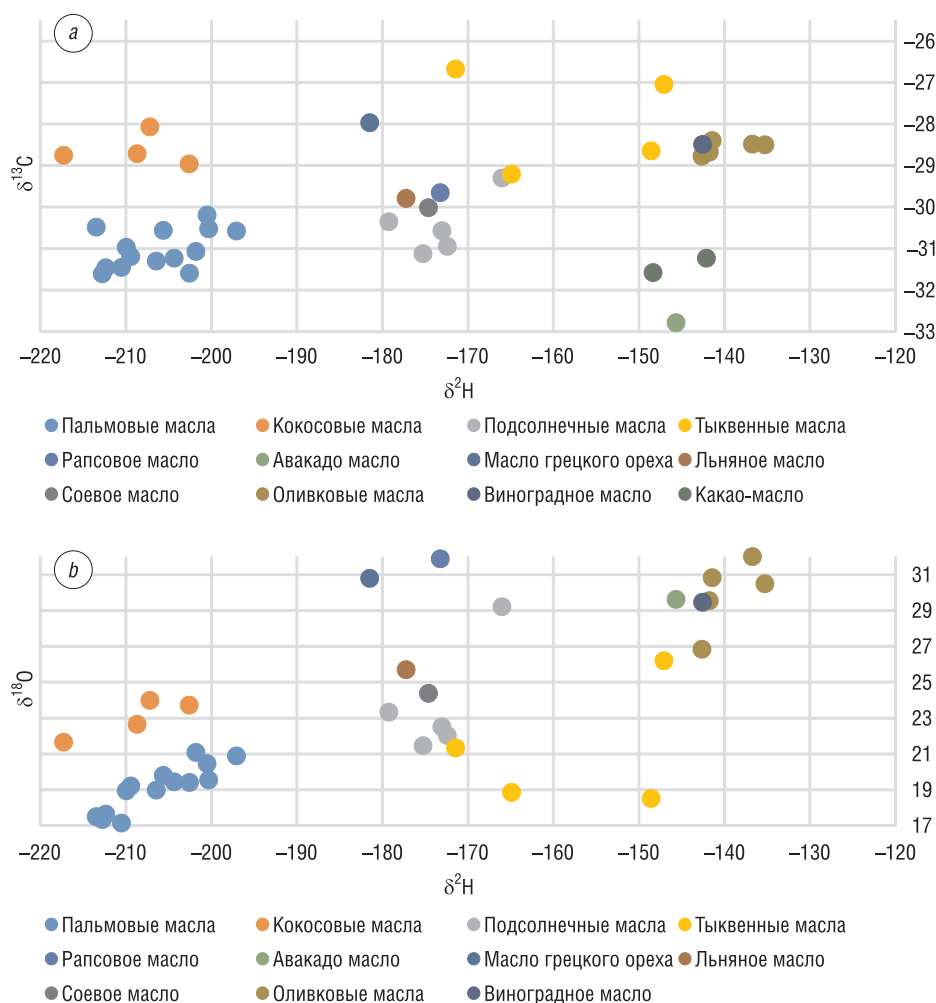


Рис. 4. Изотопный состав растительных масел: *a* – углерода и водорода; *b* – кислорода и водорода
 Fig. 4. Isotopic composition of vegetable oils: *a* – carbon and hydrogen; *b* – oxygen and hydrogen

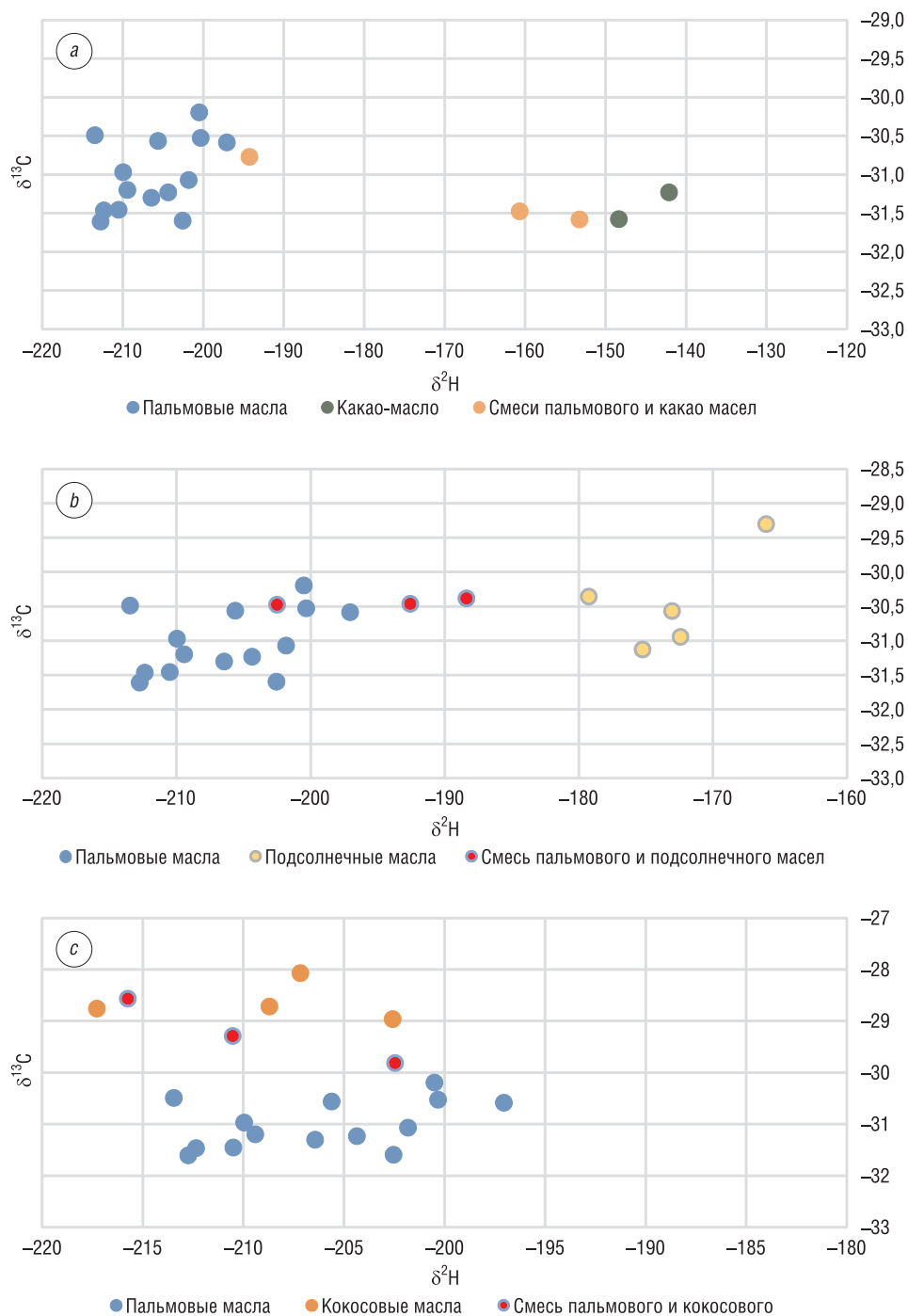


Рис. 5. Изотопный состав композиционных смесей растительных масел: *a* – пальмового и подсолнечного; *b* – пальмового и какао; *c* – пальмового и кокосового

Fig. 5. Isotopic composition of composite mixtures of vegetable oils: *a* – palm and sunflower; *b* – palm and cocoa; *c* – in palm and coconut

Из полученных данных видно, что изотопный состав углерода растительных масел находится в пределах $-32,79 \dots -26,68$ ‰. Для пальмового масла и его фракций (олеина и стеарина) отмечен изотопный состав углерода в диапазоне $-31,61 \dots -30,20$ ‰. В данный интервал по $\delta^{13}\text{C}$ также попадают подсолнечное, соевое, льняное и какао-масло, поэтому идентификация пальмового масла только лишь по изотопному составу углерода невозможна.

Изотопный состав водорода растительных масел установлен в диапазоне $-217,27 \dots -135,25$ ‰. Пределы изотопного состава водорода пальмового масла, олеина и стеарина составляют $-213,45 \dots -197,04$ ‰. В этот интервал по $\delta^2\text{H}$ попадает также кокосовое масло. В то же время подсолнечное,

соевое, льняное и какао-масла, которые по изотопному составу углерода невозможно отличить от пальмового масла, отличаются по изотопному составу водорода. Как показывают результаты исследований, данные масла имеют в своем составе больше изотопов дейтерия, следовательно, изотопный состав водорода в них варьирует от $-179,24$ ‰ и выше. Поэтому по изотопному составу водорода пальмовое масло можно перепутать с кокосовым, однако по изотопному составу углерода, который находится в интервале $-28,96 \dots -28,07$ ‰, кокосовое масло можно отличить от пальмового.

Из вышеизложенного следует, что по изотопному составу одного элемента ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) идентифицировать пальмовое масло не представляется возможным, но, сопоставляя данные изотопных составов углерода и водорода, можно достоверно идентифицировать пальмовое масло.

Анализируя результаты, полученные в композиционных смесях, можно сделать вывод о том, что по изотопному составу углерода обнаруживается присутствие пальмового масла в смеси с кокосовым при его содержании 50 % и выше. То же самое можно сказать о смесях пальмового масла с подсолнечным. Наряду с этим наличие пальмового масла в смеси с какао-маслом обнаруживается при добавлении его в количестве 20 %, что возможно благодаря тенденции уменьшения изотопов дейтерия в сочетании с протием.

Выводы

1. Разработан алгоритм идентификации и количественного определения пальмового масла и его фракций в пищевых продуктах.

2. Установлены маркеры присутствия пальмового масла:

1) фитостерины: ситостерин, кампестерин, стигмастерин в количественном соотношении около 50:25:25; ситостерин – преобладающий компонент (66–200 мкг/г); следы либо отсутствие брассикостерина;

2) вещества, обладающие Е-витаминной активностью (энантимеры витамина Е); представлены до 90 % токотриенолами, оставшиеся 10 % – токоферолами.

3. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования данных изотопного состава углерода и водорода, полученных методом изотопной масс-спектрометрии, для определения происхождения и подлинности пищевых продуктов.

На основании результатов исследований изотопного состава липидов установлены:

1) по изотопному составу углерода – отличие пальмового масла от кокосового, рапсового, оливкового, виноградного, тыквенного, масла грецкого ореха и авокадо, и схожесть с подсолнечным, соевым, льняным и какао-маслом;

2) по изотопному составу водорода – отличие пальмового масла от подсолнечного, соевого, льняного, тыквенного, рапсового, оливкового, виноградного, какао, масел грецкого ореха и авокадо, и схожесть с кокосовым маслом;

3) параметры изотопов углерода, позволяющие определить к какой группе фиксации атмосферного диоксида углерода при фотосинтезе (C_3 или C_4) относится растение, из которого изготовлено анализируемое масло.

Научно-методические основы идентификации и количественной оценки пальмового масла как одного из составляющих растительных жиров в продуктах питания используются при контроле качества и безопасности пищевых продуктов, для установления происхождения продукции, подтверждения подлинности и выявления фальсификации.

Благодарности. Работа выполнена в рамках отдельного проекта фундаментальных и прикладных научных исследований Национальной академии наук Беларуси «Разработка научно-методических основ идентификации и количественной оценки пальмового масла как одного из составляющих растительных жиров в продуктах питания» (республиканский бюджет).

Список использованных источников

1. Алексеев, А. Ю. Белково-жировые эмульсии с красным пальмовым маслом в вареных колбасах для школьников / А. Ю. Алексеев, М. П. Артамонова, У. У. Перепелкина // Мяс. индустрия. – 2008. – № 1. – С. 39–41.
2. Рудаков, О. Б. Пальмовое масло – актуальный объект пищевой химии / О. Б. Рудаков, К. К. Полянский, Л. В. Рудакова // Перераб. молока. – 2017. – № 8. – С. 32–33.
3. Терещук, Л. В. Продукты фракционирования пальмового масла в производстве спредов / Л. В. Терещук, А. С. Мамонтов, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых пр-в. – 2014. – № 3 (34). – С. 79–83.

4. Yield gaps in oil palm: a quantitative review of contributing factors / L. S. Woittieza [et al.] // *Europ. J. of Agronomy.* – 2017. – Vol. 83, iss. 2. – P. 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
5. Schmidt, J. H. Shift in the marginal supply of vegetable oil / J. H. Schmidt, B. P. Weidema // *The Intern. J. of Life Cycle Assessment.* – 2008. – Vol. 13, iss. 3. – P. 235–239. <https://doi.org/10.1065/lca2007.07.351>
6. Kadandale, S. The palm oil industry and noncommunicable diseases / S. Kadandale, R. Marten, R. Smithc // *Bull. of the World Health Organisation.* – 2019. – Vol. 97, iss. 2. – P. 118–128. <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.18.220434>
7. The palm oil global value chain: implications for economic growth and social and environmental sustainability / P. Pacheco [et al.]. – Bogor : Center for Intern. Forestry Research (CIFOR), 2017. – 44 p. – (Working Paper ; 220). <https://doi.org/10.17528/cifor/006405>
8. Palm oil consumption increases low-density lipoprotein cholesterol compared with vegetable oils low in saturated fat in a meta-analysis of clinical trials / Y. Sun [et al.] // *The J. of Nutrition.* – 2015. – Vol. 145, iss. 7. – P. 1549–1558. <https://doi.org/10.3945/jn.115.210575>
9. Mukherjee, S. Health effects of palm oil / S. Mukherjee, A. Mitra // *J. of Human Ecology.* – 2009. – Vol. 26, iss. 3. – P. 197–203. <https://doi.org/10.1080/09709274.2009.11906182>
10. Multi-country analysis of palm oil consumption and cardiovascular disease mortality for countries at different stages of economic development: 1980–1997 / B. K. Chen [et al.] // *Globalization a. Health.* – 2011. – Vol. 7, iss. 1. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/1744-8603-7-45>
11. Влияние пальмового масла на риск развития сердечно-сосудистых заболеваний / Л. В. Янковская [и др.] // *Журн. Гродн. гос. мед. ун-та.* – 2016. – № 4 (56). – С. 6–11.
12. Медведев, О. С. Научное обоснование использования растительных масел (включая пальмовое) в детском питании – результаты последних международных исследований / О. С. Медведев, З. О. Медведева // *Педиатр.* – 2017. – Т. 8, № S1. – С. M214–M215.
13. Никулина, А. В. Применение ферментативно-алкалометрического способа для идентификации сливочного и пальмового масел / А. В. Никулина, Т. И. Парыгина, Т. А. Кучменко // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий.* – 2018. – Т. 80, № 1. – С. 240–244. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-240-244>
14. Буданина, Л. Н. Определение состава спредов сливочного масла с пальмовым методами термического анализа / Л. Н. Буданина, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // *Техника и технология пищевых пр-в.* – 2015. – № 3 (38). – С. 133–138.
15. Экспериментальное обоснование выбора идентификационного признака пальмовых масел / Ж. В. Кадолич [и др.] // *Приборы и методы измерений.* – 2015. – № 1 (10). – С. 99–104.
16. Рудаков, О. Б. Контроль содержания пальмового масла в смесях с молочным жиром методом ДСК / О. Б. Рудаков, И. А. Саранов, К. К. Полянский // *Аналитика и контроль.* – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 127–135. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.010>
17. Буданина, Л. Н. Идентификация пальмового масла в майонезе методом дифференциальной сканирующей калориметрии / Л. Н. Буданина, А. Л. Верещагин, Н. В. Бычин // *Пища. Экология. Качество : тр. XII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 19–21 марта 2015 г. : в 2 т. / ФАНО России [и др.] ; отв. ред. О. К. Мотовилов.* – Новосибирск, 2015. – Т. 1. – С. 147–151.
18. Калинин, А. В. Спектрометрия изомеров триглицеридов жирных кислот в жирах масел: сливочном и пальмовом маслах / А. В. Калинин, В. Н. Крашенинников, В. Н. Титов // *Клин. лаб. диагностика.* – 2018. – Т. 63, № 5. – С. 260–267. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-5-260-267>
19. Жиры, масла и производные продукты : сб. стандартов / Всемир. орг. здравоохранения, Продовольств. и с.-х. орг. ООН ; науч. ред. К. И. Эллер ; пер. с англ. Е. О. Акципетрова. – М. : Весь мир, 2007. – 65 с. – (Codex Alimentarius. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты).
20. О'Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайен ; пер. с англ. 2-го изд.: Д. В. Широкова [и др.]. – СПб. : Профессия, 2007. – 752 с.
21. Oil pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds: evaluation of its functional properties on wound in rats / S. Bardaa [et al.] // *Lipids in Health and Diseases.* – 2016. – Vol. 15. – Art. 73. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0237-0>
22. Analysis of free and esterified sterols in vegetable oils / T. Verleyena [et al.] // *J. of the Amer. Oil Chemists' Soc.* – 2011. – Vol. 79, iss. 2. – P. 117–122. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0444-3>
23. Manandhar, P. P. Detection and estimation for composition of linseed oil in edible rapeseed oil / P. P. Manandar, A. Nagao, M. Yamazaki // *J. of Japan Oil Chemists' Soc.* – 1986. – Vol. 35, iss. 5. – P. 359–366. <https://doi.org/10.5650/jos1956.35.359>
24. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil / I. Berasategi [et al.] // *Food Chemistry.* – 2012. – Vol. 132, iss. 1. – P. 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.018>
25. Pilat, B. Physicochemical characteristics of linseed oil and flour / B. Pilat, R. Zadernowski // *Pol. J. of Natural Sciences.* – 2010. – Vol. 25, iss. 1. – P. 106–113. <https://doi.org/10.2478/v10020-010-0008-8>
26. Панасюк, А. Л. Теоретические основы применения метода изотопной масс-спектрометрии с целью идентификации пищевой продукции / А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, А. А. Шилкин // *Вопросы современной науки: новые достижения : материалы междунар. (заоч.) науч.-практ. конф., 18 февр. 2018 г., г. София, Болгария / под общ. ред. А. И. Востречева.* – Нефтекамск, 2018. – С. 31–37.
27. Portarena, S. Geographical discrimination of extra-virgin olive oils from the Italian coasts by combining stable isotope data and carotenoid content within a multivariate analysis / S. Portarena, C. Baldacchini, E. Brugnoli // *Food Chemistry.* – 2017. – Vol. 215. – P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.135>
28. Detection of corn oil in adulterated olive and soybean oil by carbon stable isotope analysis / J. Huang [et al.] // *J. of Consumer Protection a. Food Safety.* – 2017. – Vol. 12, iss. 3. – P. 201–208. <https://doi.org/10.1007/s00003-017-1097-x>

References

1. Alekseev A. Yu., Artamonova M. P., Perepelkina U. U. Protein-fat emulsions with red palm oil in cooked sausages for schoolchildren. *Myasnaya industriya = Meat Industry*, 2008, no. 1, pp. 39–41 (in Russian).
2. Rudakov O. B., Polyanskii K. K., Rudakova L. V. Palm oil as an actual subject of food chemistry. *Pererabotka moloka* [Milk Processing], 2017, no. 8, pp. 32–33 (in Russian).
3. Tereshchuk L. V., Mamontov A. S., Starovoitova K. V. Products of palm-oil fractionation in production of spreads. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2014, no. 3 (34), pp. 79–83 (in Russian).
4. Woittieza L. S., van Wijk M. T., Slingerlanda M., van Noordwijka M., Gillera K. E. Yield gaps in oil palm: a quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 2017, vol. 83, iss. 2, pp. 57–77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
5. Schmidt J. H., Weidema B. P. Shift in the marginal supply of vegetable oil. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2008, vol. 13, iss. 3, pp. 235–239. <https://doi.org/10.1065/lca2007.07.351>
6. Kadandale S., Marten R., Smith R. The palm oil industry and noncommunicable diseases. *Bulletin of the World Health Organisation*, 2019, vol. 97, iss. 2, pp. 118–128. <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.18.220434>
7. Pacheco P., Gnych S., Dermawan A., Komarudin H., Okarda B. *The palm oil global value chain: implications for economic growth and social and environmental sustainability. Working Paper 220*. Bogor, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2017. 44 p. <https://doi.org/10.17528/cifor/006405>
8. Sun Y., Neelakantan N., Wu Y., Lote-Oke R., Pan A., van Dam R. M. Palm oil consumption increases low-density lipoprotein cholesterol compared with vegetable oils low in saturated fat in a meta-analysis of clinical trials. *The Journal of Nutrition*, 2015, vol. 145, iss. 7, pp. 1549–1558. <https://doi.org/10.3945/jn.115.210575>
9. Mukherjee S., Mitra A. Health effects of palm oil. *Journal of Human Ecology*, 2009, vol. 26, iss. 3, pp. 197–203. <https://doi.org/10.1080/09709274.2009.11906182>
10. Chen B. K., Seligman B. K., Farquhar J. W., Goldhaber-Fiebert J. D. Multi-country analysis of palm oil consumption and cardiovascular disease mortality for countries at different stages of economic development: 1980–1997. *Globalization and Health*, 2011, vol. 7, iss. 1, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1186/1744-8603-7-45>
11. Yankovskaya L. V., Kezhun L. V., Slobodskaya N. S., Belous Yu. I., Morgunova E. M. Effects of palm oil on the risk of cardiovascular diseases (literature review). *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University*, 2016, no. 4 (56), pp. 6–11 (in Russian).
12. Medvedev O. S., Medvedeva Z. O. A scientific basis for the use of vegetable oils (including palm oil) in infant foods: the results of recent international studies. *Pediatr = Pediatrician*, 2017, vol. 8, no. S1, pp. M214 – M215 (in Russian).
13. Nikulina A. V., Parygina T. I., Kuchmenko T. A. Application of enzymatic alkalimetric method for identification of cream and palm oils. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2018, vol. 80, no. 1, pp. 240–244 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-240-244>
14. Budanina L. N., Vereshchagin A. L., Bychin N. V. Determination of butter-palm oil spread composition using methods of thermal analysis. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, no. 3 (38), pp. 133–138 (in Russian).
15. Kadolich Zh. V., Zotov S. V., Gol'dade V. A., Tsvetkova E. A., Ovchinnikov K. V., Ukhartseva I. Yu. Experimental justification of identity feature choice of palm oils. *Pribory i metody izmerenii = Devices and Methods of Measurements*, 2015, no. 1 (10), pp. 99–104 (in Russian).
16. Rudakov O. B., Saranov I. A., Polyanskii K. K. Control of palm oil content in the mixtures with milk fat by the Differential Scanning Calorimetry (DSC). *Analitika i kontrol' = Analytics and Control*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 127–135 (in Russian). <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.010>
17. Budanina L. N., Vereshchagin A. L., Bychin N. V. Identification of palm oil in mayonnaise by differential scanning calorimetry. *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo: trudy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 19–21 marta 2015 g.* [Food. Ecology. Quality: proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 19–21, 2015]. Novosibirsk, 2015, vol. 1, pp. 147–151 (in Russian).
18. Kalinin A. V., Krashennnikov V. N., Titov V. N. The spectrometry of isomers of tryglycerides of fatty acids in fatty buttery products: butter and palm oil. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika = Russian Clinical Laboratory Diagnostics*, 2018, vol. 63, no. 5, pp. 260–267 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-5-260-267>
19. *Codex Alimentarius. Vol. 8. Fats, oils and related products*. 2nd ed. Rome, Food and Agriculture Organization, 2001. 81 p.
20. O'Brien R. D. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, 2004. 592 p.
21. Bardaa S., Halima N. B., Aloui F., Mansour R. B., Jabeur H., Bouaziz M., Sahnoun Z. Oil pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds: evaluation of its functional properties on wound in rats. *Lipids in Health and Diseases*, 2016, vol. 15, art. 73. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0237-0>
22. Verleyen T., Forcades M., Verhe R., Dewettinck K., Huyghebaert A., De Greyt W. Analysis of free and esterified sterols in vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2011, vol. 79, iss. 2, pp. 117–122. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0444-3>
23. Manandar P. P., Nagao A., Yamazaki M. Detection and estimation for composition of linseed oil in edible rapeseed oil. *Journal of Japan Oil Chemists' Society*, 1986, vol. 35, iss. 5, pp. 359–366. <https://doi.org/10.5650/jos1956.35.359>
24. Berasategi I., Barriuso B., Ansorena D., Astiasarán I. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil. *Food Chemistry*, 2012, vol. 132, iss. 1, pp. 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.018>

25. Piłat B., Zadernowski R. Physicochemical characteristics of linseed oil and flour. *Polish Journal of Natural Science*, 2010, vol. 25, iss. 1, pp. 106–113. <https://doi.org/10.2478/v10020-010-0008-8>

26. Panasyuk A. L., Kuz'mina E. I., Shilkin A. A. Theoretical basis for the application of isotope mass spectrometry to identify food products. *Voprosy sovremennoi nauki: novye dostizheniya: materialy mezhdunarodnoi (zaochnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii, 18 fevralya 2018 g., g. Sofiya, Bolgariya* [Issues of modern science: new achievements: proceedings of the international (correspondence) scientific-practical conference, February 18, 2018, Sofia, Bulgaria]. Neftekamsk, 2018, pp. 31–37 (in Russian).

27. Portarena S., Baldacchini C., Brugnoli E. Geographical discrimination of extra-virgin olive oils from the Italian coasts by combining stable isotope data and carotenoid content within a multivariate analysis. *Food Chemistry*, 2017, vol. 215, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.135>

28. Huang J., Norgbey E., Nkrumah P. N., Opoku P. A., Apreku T. O. Detection of corn oil in adulterated olive and soybean oil by carbon stable isotope analysis. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 2017, vol. 12, iss. 3, pp. 201–208. <https://doi.org/10.1007/s00003-017-1097-x>

Информация об авторах

Ловкис Зенон Валентинович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com

Почицкая Ирина Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Моргунова Елена Михайловна – кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь). E-mail: mti67@rambler.ru

Information about authors

Lovkis Zenon V. – Corresponding Member, D.Sc. (Engineering), Professor. The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com

Pochitskaya Irina M. – Ph.D. (Agriculture). The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Morgunova Elena M. – Ph.D. (Engineering), Associate Professor. The Research and Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs (29 Kozlova Str., Minsk 220037, Republic of Belarus). E-mail: mti67@rambler.ru