Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-133-144 Оригинальная статья/Research article
УДК 665.345.4 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Сравнительный анализ профиля жирных кислот льняного масла отечественного производства и поступающего по импорту

Людмила П. Нилова [1] nilova_l_p@mail.ru 0000–0002–5154–7095
Ольга В. Смирнова [2] loi_olga@bk.ru 0009–0009–2055–5437
Светлана М. Малютенкова [1] malutesha66@mail.ru 0000–0002–8081–6688

1 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия
2 Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, Софийская ул., д.52, лит. А, г. Санкт-Петербург ,192241, Россия

Аннотация. На потребительском рынке России реализуется преимущественно льняное масло отечественного производства, но присутствует также импортное масло в ограниченном количестве. В работе проведен сравнительный анализ профиля жирных кислот льняного масла отечественного производства и поступающего по импорту. Исследования проводили на примере нерафинированного льняного масла холодного отжима торговых марок «ВВ» и «Елея», выработанных в России, и поступающего по импорту из Австрии – «Pelzmann» и «Hamlitsch», и Франции – «La Tourangelle». Для анализа профиля жирных кислот использовали газовую хроматографию и хромато-масс-спектрометрию. Методом газовой хроматографии было идентифицировано 9 жирных кислот в отечественном и импортном льняном масле и дополнительно вакценовую кислоту в масле «Елея». Образцы льняного масла незначительно различались количественным составом жирных кислот с преобладанием α-линоленовой кислоты 53,45–60,36 % отн. Содержание ненасыщенных жирных кислот составляло 89,22–90,95 % отн., полиненасыщенных – 68,97–75,3 % отн., количество которых преобладало в масле «La Tourangelle» из Франции. По содержанию жирных кислот семейства ω-3 лидировало льняное масло «La Tourangelle», семейства ω-6 – «Елея» и семейства ω-9 – «ВВ». Соотношение ω-6: ω-3 варьировало от 1: 3,69 до 1: 4,04, и сформировало ряд льняного масла: La Tourangelle> Pelzmann> Hamlitsch> ВВ> Елея. Метод газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) подтвердил преобладание жирных кислот линоленового ряда, но качественный профиль показал присутствие нецелевых жирных кислот в минорных количествах, вносящих различия в профиль жирных кислот. В льняном масле «ВВ» присутствует 10(E),12(Z)-конъюгат линолевой кислоты, в австрийских маслах – 7,10,13-гексадекатриеновая кислота (C16:3), во французском масле «La Tourangelle» – 8-метил-6-ноненовая 5-гексадеценовая, 5-октадеценовая кислоты. Линоэлаидиновая (транс-9,12 кислота) отсутствовала только в масле «La Tourangelle». ГХ-МС профиль льняного масла путем сопоставления библиотечных совпадений позволяет идентифицировать минорные жирные кислоты, которые можно использовать в качестве маркеров страны происхождения

Ключевые слова: льняное масло, профиль жирных кислот, полиненасыщенные жирные кислоты, α-линоленовая кислота, газовая хроматография, газовая хромато-масс-спектрометрия.

Comparative analysis of the fatty acid profile of domestic and imported flaxseed oil

Liudmila P. Nilova [1] nilova_l_p@mail.ru 0000–0002–5154–7095
Olga V. Smirnova [2] loi_olga@bk.ru 0009–0009–2055–5437
Svetlana M. Malyutenkova [1] malutesha66@mail.ru 0000–0002–8081–6688

1 Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia
2 St. Petersburg branch of the Russian Customs Academy named after V.B. Bobkov, Sofiyskaya St., 52, lit. A, St. Petersburg, 192241, Russia

Abstract. Domestic flaxseed oil is predominantly sold on the Russian consumer market, although imported oil is also available in limited quantities. This study compares the fatty acid profiles of domestically produced and imported flaxseed oil. The study was conducted using unrefined cold-pressed flaxseed oil of the brands "BB" and "Eleya," produced in Russia, and imported flaxseed oils from Austria (Pelzmann and Hamlitsch), and France (La Tourangelle). Gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry were used to analyze the fatty acid profiles. Gas chromatography identified nine fatty acids in domestic and imported flaxseed oil, as well as vaccenic acid in the "Eleya" oil. Flaxseed oil samples differed slightly in the quantitative composition of fatty acids, with a predominance of α-linolenic acid 53.45–60.36% rel. The content of unsaturated fatty acids was 89.22–90.95% rel., polyunsaturated – 68.97–75.3% rel., the amount of which prevailed in the oil "La Tourangelle" from France. In terms of the content of fatty acids of the ω-3 family, linseed oil "La Tourangelle" was in the lead, linseed oil of the ω-6 family – "Eleya" and linseed oil of the ω-9 family – "BB". The ratio ω-6: ω-3 varied from 1: 3.69 to 1: 4.04, and formed a series of flaxseed oils: La Tourangelle> Pelzmann> Hamlitsch> BB> Eleya. Gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) confirmed the predominance of linolenic fatty acids, but the qualitative profile revealed the presence of minor amounts of non-target fatty acids, which contributed to the fatty acid profile. Flaxseed oil "BB" contained 10(E),12(Z)-conjugate linoelaidic acid, while Austrian oils contained 7,10,13-hexadecatrienoic acid (C16:3), and French oil "La Tourangelle" contained 8-methyl-6-nonenoic, 5-hexadecenoic, and 5-octadecenoic acids. Linoelaidic acid (trans-9,12 acid) was absent only in "La Tourangelle" oil. The GC/MS profile of flaxseed oil, through library match comparison, allows for the identification of minor fatty acids, which can be used as country-of-origin markers

Keywords: flaxseed oil, fatty acid profile, polyunsaturated fatty acids, α-linolenic acid, gas chromatography, gas chromatography-mass spectrometry.

Для цитирования
Нилова Л.П., Смирнова О.В., Малютенкова С.М. Сравнительный анализ профиля жирных кислот льняного масла отечественного производства и поступающего по импорту // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 133–144. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-133-144

For citation
Nilova L.P., Smirnova O.V., Malyutenkova S.M. Comparative analysis of the fatty acid profile of domestic and imported flaxseed oil. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 133–144. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-133-144

© 2026, Нилова Л.П. и др. / Nilova L.P. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В последнее время льняное масло привлекает все больше внимания потребителей благодаря своей потенциальной пользе для здоровья, играя важную роль в снижении рисков, связанных с воспалительными и аутоиммунными, сердечно-сосудистыми заболеваниями, диабетом, заболеваниями молочной железы, толстой кишки, яичников и предстательной железы [1, 2]. Пользу для здоровья и профилактический эффект льняного масла обеспечивает α-линоленовая кислота из группы ω-3, содержание которой может доходить до 70 % отн. [3–7]. Установлено, что во время переваривания высокожирного мяса циклолинопептиды льняного масла снижают окисление липидов, таким образом повышая его питательную ценность [8]. Кроме того, возможно, что употребление льняного масла будет способствовать снижению массы тела, что было установлено при исследовании на лабораторных животных, в рационе которых использовали разные жиры, но только добавление льняного масла снизило их массу на 4% за 15 дней [9].

Льняное масло чаще всего получают холодным прессованием при температуре +60 °С. В сыром льняном масле идентифицировано 335 фенольных соединений, преимущественно в свободной (49,4%) и связанной (31,9%) формах. Их общее количество составляет 99,0 мг/100 г, а флавоноидов 90,7 мг/100 г, что повышает его антиоксидантную активность [10]. Но даже такого количества антиоксидантов может не обеспечить окислительную стабильность льняного масла. При его производстве и хранении может произойти полное разрушение биоактивных соединений, содержащихся в сыром масле, а также снизиться количество α-линоленовой кислоты [11, 12].

При сравнении разных способов извлечения и степеней рафинации (частичной или полной) Jing с соавторами [11] установили, что масло, полученное методом горячего прессования (обжаривание семян в течение 20 минут при 180–200 °С с прессованием при +150 °С), хотя имеет более темный цвет, но проявляет относительно самую высокую окислительную стабильность при производстве и хранении. При этом было идентифицировано три альдегида: бутеналь, нональ и транс, транс – 2,4-декадиеналь. Частичная (отбелка) рафинация льняного масла приводит к более значительным потерям биоактивных соединений, а полная рафинация полностью исключает их наличие. Потери α-линоленовой кислоты происходят только при использовании полной рафинации и составляют 3,48–4,47%, а также увеличиваются концентрации большинства альдегидов, образуются трансжирные кислоты и акролеин [11].

По данным [13] в льняном масле, полученном предварительным обжариванием семян и дальнейшем горячем прессовании, окислительную стабильность поддерживают продукты реакции Майяра, в том числе регенерируют окисленные токоферолы. В таком масле было идентифицировано десять продуктов реакции Майяра, которые могут захватывать алкильные радикалы (R·) на стадии инициирования. Однако на стадии распространения все соединения, за исключением N-ацетил-5-гидрокситриптамин, проявляли ограниченную способность к захвату ROO·, фактически не препятствуя образованию вторичных продуктов окисления [13].

Влияние термической обработки на выход масла из семян льна, содержание ПНЖК и продуктов окисления подтверждают исследования [14–16]. Предварительная обработка семян льна микроволновым излучением (560 Вт, до 3 мин) увеличила выход масла до 36,37–39,71 % обеспечили более низкий уровень окисления липидов и более высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) по сравнению с пропариванием при +100 °С или обжаркой при +120 °С [14].

По другим данным [16] обжарка при температуре + 160 °С в течение 20–30 минут семян льна, пророщенных в течение 2-х суток, снизила содержание ПНЖК на 0,44%, а α-линоленовой кислоты – на 0,22–0,28%. Содержание α- и γ-токоферолов в обжаренном льняном масле из пророщенных семян было значительно ниже, чем в необжаренном, что авторы объясняют повреждением структуры двойных связей во время обжарки. При этом умеренное обжаривание может повысить содержание фитостеролов и фенольных соединений за счет повреждения клеточной стенки и клеточной мембраны льняного семени. При длительном обжаривании 30–50 минут количество общих фенольных соединений возрастает в 5 раз, а фитостеролов уменьшается по сравнению с маслом холодного прессования.

Льняное масло рекомендовано использовать в питании в нативном виде. При приготовлении пищи, требующей термической обработки, в масле ускоряются окислительные процессы, приводящие к образованию продуктов окисления. По данным [17] жарка на льняном масле при постепенном повышении температуры до +210 °С снижает содержание ПНЖК

на 59,8%, α-линоленовой кислоты – в 2,3 раза. В меньшей степени окисляются линолевая и олеиновая кислоты – на 22,9 и 21,4%, соответственно. При этом происходит постепенное образование перекисей, достигая при +210 °С до 65 мг/100 г., а количество вторичных продуктов окисления возрастает более чем в 3,5 раза.

Обеспечить окислительную стабильность льняного масла при хранении и приготовлении пищи может разработка купажированных масел с оптимальным соотношением ω-6: ω3. В смесях с льняным маслом используют окислительно-стабильные базовые масла, такие как пальмовое масло или масло из рисовых отрубей [18], или масло авокадо с высоким содержанием антиоксидантов [19], что обеспечивает более термостабильную альтернативу чистому льняному маслу, предлагая потребителям сбалансированный и полезный для здоровья продукт. Купажирование могут проводить на этапе одновременного прессования масличных семян таких, как арахис и лен [20]. Возможно также обогащение льняного масла антиоксидантами – α- и β-токоферолами и смесью фитостеролов (β-ситостерол, кампестерол, стигмастерол). По данным [21] высокие уровни α-токоферола оказывали кратковременный прооксидантный эффект при низких температурах (+4 °С), но способствовали стабилизации при умеренных (+25 °С) и высоких температурах (+40 °С) за счет сохранения γ-токоферола. Фитостеролы, напротив, последовательно повышали окислительную стабильность, нарушая цепь автоокисления и стабилизируя липидные радикалы. Совместное использование токоферолов и фитостеролов обеспечило наиболее эффективную защиту льняного масла при хранении до 6 мес.

На потребительском рынке России реализуется преимущественно льняное масло отечественного производства, но присутствует также импортное масло в ограниченном количестве. Все образцы заявлены как масло холодного отжима, однако розничная цена импортного масла превышает цену отечественного в 3 раза и более.

Цель работы – провести сравнительный анализ профиля жирных кислот льняного масла отечественного производства и поступающего по импорту, реализуемого на потребительском рынке.

Материалы и методы

Для исследований были приобретены пять образцов льняного нерафинированного масла, два из которых отечественного производства и три импортных (таблица 1).

Образцы имели разные сроки годности от 8 месяцев для льняного масла «Елея» и «Pelzmann» до 1,5 лет для масла «La Tourangelle». Последнее было разлито в жестяную банку, а все остальные образцы в бутылки из темного стекла. Даты изготовления и розлива свидетельствуют о том, что масло «ВВ» и «Pelzmann» были выработаны из хранившихся семян в течение полугода и более.

Определение состава жирных кислот льняного масла осуществляли методом газовой хроматографии по ГОСТ Р 31663–2012 на хроматографе с детектором ионизации в пламени Agilent 6890N с программным обеспечением Agilent ChemStation (CHEM32). Состав органических веществ определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на газовом хроматографе Agilent 7890B GC в сочетании с масс-селективным детектором Agilent 5973/5975/5977 MSD с использованием программного обеспечения Agilent MSD ChemStation и библиотеки масс-спектров NIST17.L.

Таблица 1.

Объекты исследований

Table 1.

Research objects

Наименование | Name	Торговая марка | Brand	Изготовитель | Manufacturer	Сроки годности Expiration dates
Масло льняное пищевое нерафинированное | Flaxseed oil unrefined for food	ВВ	ООО «Лен ОК», Россия, Нижегородская область / Len OK LLC, Russia, Nizhny Novgorod region	26.01.26 – 26.09.26
Масло льняное пищевое нерафинированное прессовое /| Flaxseed oil unrefined pressed for food	Елея / Eleya	ООО «Звезда», Россия, Новосибирская область / Zvezda LLC, Russia, Novosibirsk region	04.11.25 – 04.11.26
Масло льняное нерафинированное Flaxseed oil unrefined	Pelzmann	Ölmühle Pelzmann GmbH, Австрия	02.03.26 – 02.11.26
Масло льняное нерафинированное Flaxseed oil unrefined	Hamlitsch	Hamlitsch GmbH & Co KG, Австрия	07.10.25 – 30.09.26
Масло льняное нерафинированное/ Virgin flaxseed oil unrefined	La Tourangelle	La Tourangelle SAS, Франция	08.09.25 – 08.03.27

Результаты и обсуждение

Метод газовой хроматографии позволяет выделить и идентифицировать в растительных маслах 9–17 жирных кислот [6, 19, 22]. В льняном масле преобладает α-линоленовая кислота, количество которой согласно ГОСТ 30623–2018 должно находиться в пределах 48,5–68,5 отн. %, и может быть маркером установления его подлинности [3]. Хотя появились новые сорта семян льна с преобладанием в составе липидов линолевой кислоты – 51,4–69,9% и пониженным содержанием α-линоленовой кислоты до 3,0–19,9% (сорта масличного льна Исток, Аргамак) [23].

Для анализа профиля ЖК на первом этапе использовали метод газовой хроматографии, результаты которой представлены в таблице 2. В образцах льняного масла удалось идентифицировать 9 ЖК и дополнительно в масле «Елея» вакценовую кислоту (11-трансоктадеценовая кислота), являющуюся транс-изомером олеиновой кислоты, которая вместе с руменовой кислотой могут оказывать эффекты против нескольких типов онкологических заболеваний, и исключены из списка общего суммарного содержания транс-изомеров ЖК ограниченного потребления [24]. Moura с соавторами [19] идентифицировали в льняном масле транс-изомеры линолевой и линоленовой кислот – 0,10 и 0,24% отн.

Таблица 2.

Профиль жирных кислот льняного масла, % отн.

Table 2.

Fatty acid profile of flaxseed oil, % rel.

Жирная кислота | Fatty acid		Льняное масло | Flaxseed oil				
		Отечественное | Domestic		Импортное | Imported		
		ВВ	Елея / Eleya	Pelzmann	Hamlitsch	La Tourangelle
Пальмитиновая | Palmitic	C16:0	6,02	5,55	5,91	5,79	5,02
Пальмитоолеиновая | Palmitoleic	C16:1	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06
Стеариновая | Stearic	C18:0	4,52	3,76	4,43	3,99	3,79
Олеиновая | Oleic	C18:1	20,07	16,61	18,21	16,93	15,49
Вакценовая | Vaccenic	C18:1	–	0,70	–	–	–
Линолевая | Linoleic	C18:2	15,52	18,35	14,19	15,53	14,94
α-линоленовая | α – linolenic	C18:3	53,45	54,64	56,86	57,37	60,36
Арахиновая | Arachidic	C20:0	0,11	0,11	0,12	0,13	0,10
Эйкозеновая | Eicosenoic	C20:1	0,12	0,09	0,08	0,08	0,10
Бегеновая | Behenic	C22:0	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14

Исследуемые образцы отечественного и импортного льняного масла незначительно различались профилем ЖК. Преобладала α-линоленовая кислота, но в импортных маслах ее количество было больше на 2,22–6,91% отн. Причем в льняном масле «La Tourangelle» из Франции ее количество было наиболее высоким, чему мог способствовать вид потребительской упаковки. Напротив, отечественные образцы льняного масла отличались от импортных преобладанием олеиновой кислоты – в масле «ВВ» и линолевой кислоты – в масле «Елея». Среди ненасыщенных ЖК пальмитоолеиновая и эйкозеновая кислоты содержались в минорных количествах, их доля составляла не более сотой или десятой%, соответственно.

В группе насыщенных ЖК преобладали пальмитиновая (5,02–6,02% отн.) и стеариновая (3,76–4,52% отн.), с максимальным их количеством в отечественном масле «ВВ». Отечественное масло «Елея» по количеству вышеперечисленных ЖК было приближено к импортному маслу. Арахиновая и бегеновая кислоты содержались в количествах 0,10–0,14% отн. во всех маслах.

В целом во всех образцах преобладали ненасыщенные ЖК (ННЖК) – 89,22–90,95% отн. (таблица 3), по содержанию которых выделялись льняное масло «La Tourangelle» и «Елея». В составе ННЖК преобладали ПНЖК, которых было больше в 3–5 раз, чем мононенасыщенных ЖК (МНЖК).

Преобладание ПНЖК в льняном масле за счёт α-линоленовой кислоты — известный факт [6, 7, 16, 22]. В состав ПНЖК, кроме α-линоленовой кислоты, входит линолевая кислота, но ее количество меньше более чем в 3,5–4 раза. По данным [7] в составе ПНЖК обнаружена эйкозодиеновая кислота (С20:2), количество которой в льняном масле составляет 17 мг/г или около 3,5% от доли α-линоленовой кислоты.

Различия между отечественным и импортным льняным маслом зафиксированы по доле α-линоленовой кислоты по отношению к ННЖК и ПНЖК. В отечественном льняном масле доля α-линоленовой кислоты к ННЖК составляет около 60%, тогда как в австрийском –

63%, а во французском – 66%. По отношению к ПНЖК доля α-линоленовой кислоты в отечественных маслах ниже, чем в импортных.

Все образцы льняного масла содержали ЖК, относящиеся к семействам ω-3 (α-линоленовая кислота), ω-6 (линолевая кислота) и ω-9 (олеиновая кислота) (таблица 3). Наиболее высокое содержание ω-3 ЖК было у льняного масла «La Tourangelle» из Франции, ω-6 ЖК – «Елея», Россия и ω-9 ЖК – «ВВ», Россия. Более высокое содержание ω-3 ЖК повысило соотношение ω-6: ω-3 в льняных маслах, поступающих по импорту, доведя их соотношение до 1:3,69–1:4,04. В зависимости от соотношения ω-6: ω-3 сформировался ряд льняного масла: La Tourangelle> Pelzmann> Hamlitsch> ВВ> Елея.

Таблица 3.

Характеристика основных групп жирных кислот льняного масла, %

Table 3.

The main groups of fatty acids in flaxseed oil

Жирные кислоты	Отечественное льняное масло | Domestic flaxseed oil		Импортное льняное масло | Imported flaxseed oil		
	ВВ	Елея / Eleya	Pelzmann	Hamlitsch	La Tourangelle
∑ НЖК | SAFA	10,78	9,54	10,58	10,04	9,05
∑ ННЖК | TUFA	89,22	90,46	89,42	89,96	90,95
В том числе / Including:					
∑ МНЖК | MUFA	20,25	17,47	18,37	17,06	15,65
∑ ПНЖК | PUFA	68,97	72,99	71,05	72,90	75,30
α-ЛК | ALA	53,45	54,64	56,86	57,37	60,36
α-ЛК/ННЖК | ALA / TUFA	59,91	60,40	63,59	63,77	66,37
α-ЛК/ПНЖК | ALA / PUFA	77,55	74,86	80,03	78,70	80,16
ω-3 (n-3)	53,45	54,64	56,86	57,37	60,36
ω-6 (n-6)	15,52	18,35	14,19	15,53	14,94
ω-9 (n-9)	20,07	16,61	18,21	16,93	15,49
ω-6 : ω-3	1 : 3,44	1 : 2,98	1 : 4,0	1 : 3,69	1 : 4,04

Для дальнейших исследований профилей ЖК использовали метод газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). В предыдущих исследованиях авторов этот метод позволил идентифицировать в масле из рисовых отрубей и оливковом масле биоактивные соединения – сквален, β-ситостерол, стигмастерол, кампестерол и α- и γ-токоферолы [25, 26]. Но в исследуемых образцах льняного масла их наличие не было установлено, что могло быть связано с продолжительностью хранения образцов с даты выработки более 6 месяцев, и их высокой антиоксидантной активностью, когда, окисляясь сами, они предотвращают окисление ПНЖК. Деградацию фитостеролов с образованием оксистеролов подтверждают исследования [7], сравнивая получение льняного масла в разных условиях: в условиях атмосферного воздуха, озонирования или обработки азотом. В результате при хранении масла зафиксировано образование оксистеролов: озонирование (181,5 мкг/г) > обработка азотом (143,6 мкг/г) > атмосферный воздух (92,5 мкг/г) [7]. Jing с соавторами [11] установили, что после 6 месяцев хранения в льняном масле холодного отжима происходит практически полное разрушение биоактивных соединений с резким ростом первичных продуктов окисления, что также было подтверждено и другими авторами [27].

Метод ГХ-МС позволил получить дополнительную информацию о профиле ЖК льняного масла по наличию нецелевых ЖК в минорных количествах. По данным [3] использование ГХ-МС позволяет идентифицировать 28 ЖК, включая минорные ЖК. В исследуемых образцах льняного масла методом ГХ-МС библиотечным поиском по базе NIST17.L. было идентифицировано от 44 (La Tourangelle) до 72 (Елея) органических веществ (рисунки 1–5).

Сопоставление библиотечных совпадений показало, что во всех исследованных образцах льняного масла преобладают соединения линоленового ряда, прежде всего α-линоленовой (9,12,15-октадекатриеновой) кислоты и ее производные (таблица 4). Кроме этого, присутствуют соединения линолевого ряда, эфиры полиненасыщенных жирных кислот, ненасыщенные спирты, альдегиды и глицидильные эфиры. Таким образом, образцы качественно близки по основным классам идентифицированных соединений, различаясь распределением и интенсивностью отдельных пиков.

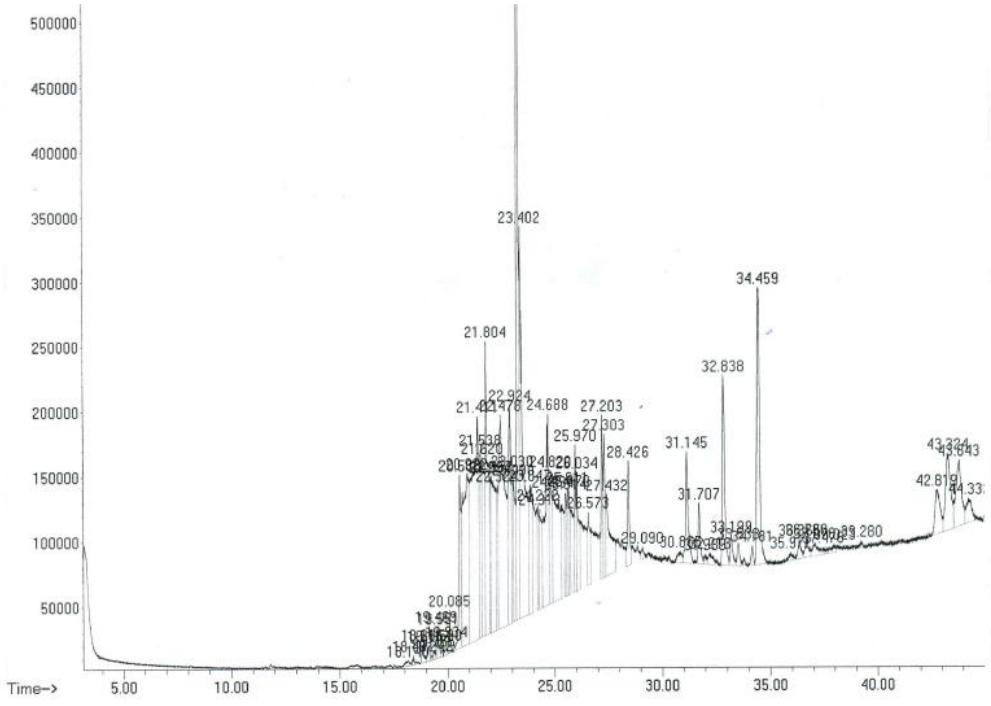


Рисунок 1. Хромато-масс-спектры нерафинированного льняного масла (ВВ, Россия)

Figure 1. Chromatographic mass spectra of unrefined flaxseed oil (BB, Russia)

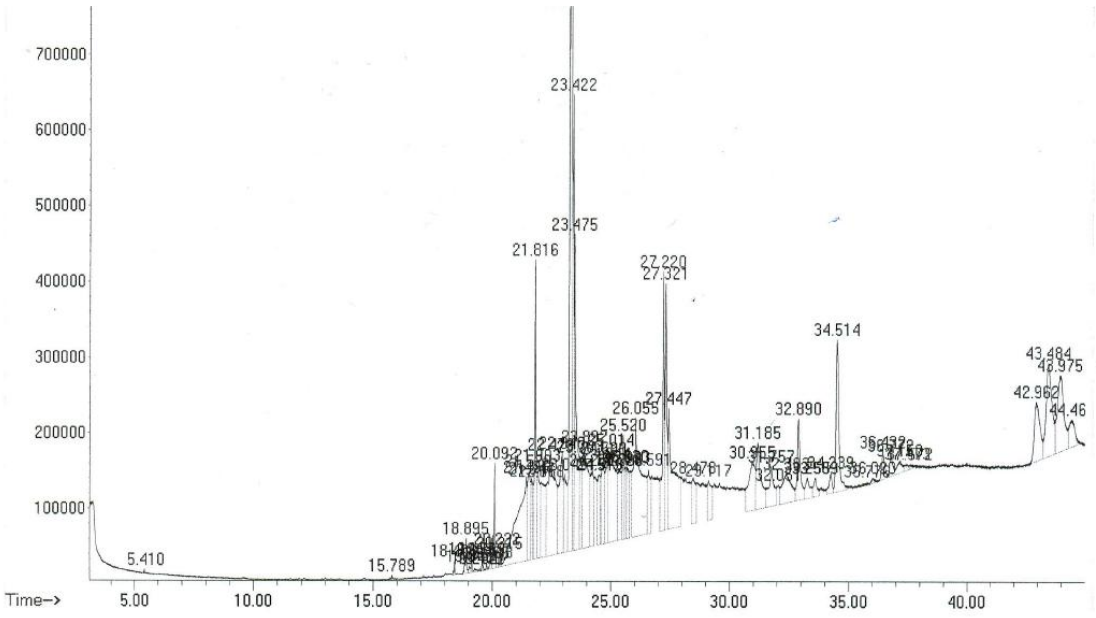


Рисунок 2. Хромато-масс-спектры нерафинированного льняного масла (Елея, Россия)

Figure 2. Chromatographic mass spectra of unrefined flaxseed oil (Eleya, Russia)

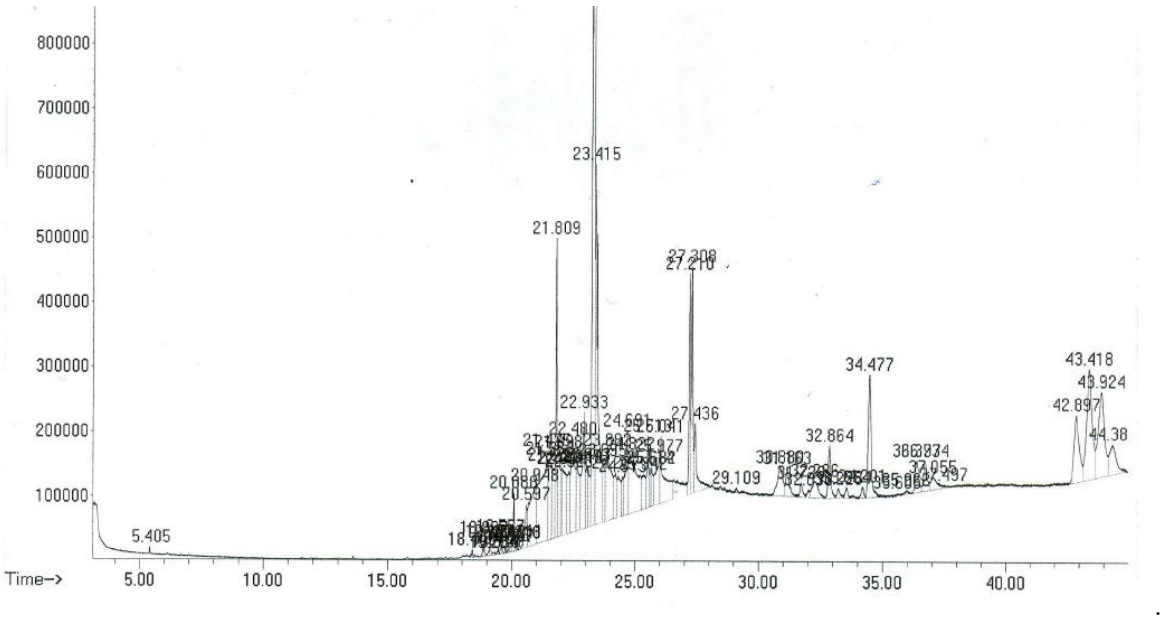


Рисунок 3. Хромато-масс-спектры нерафинированного льняного масла (Pelzmann, Австрия)

Figure 3. Chromatographic mass spectra of unrefined flaxseed oil (Pelzmann, Austria)

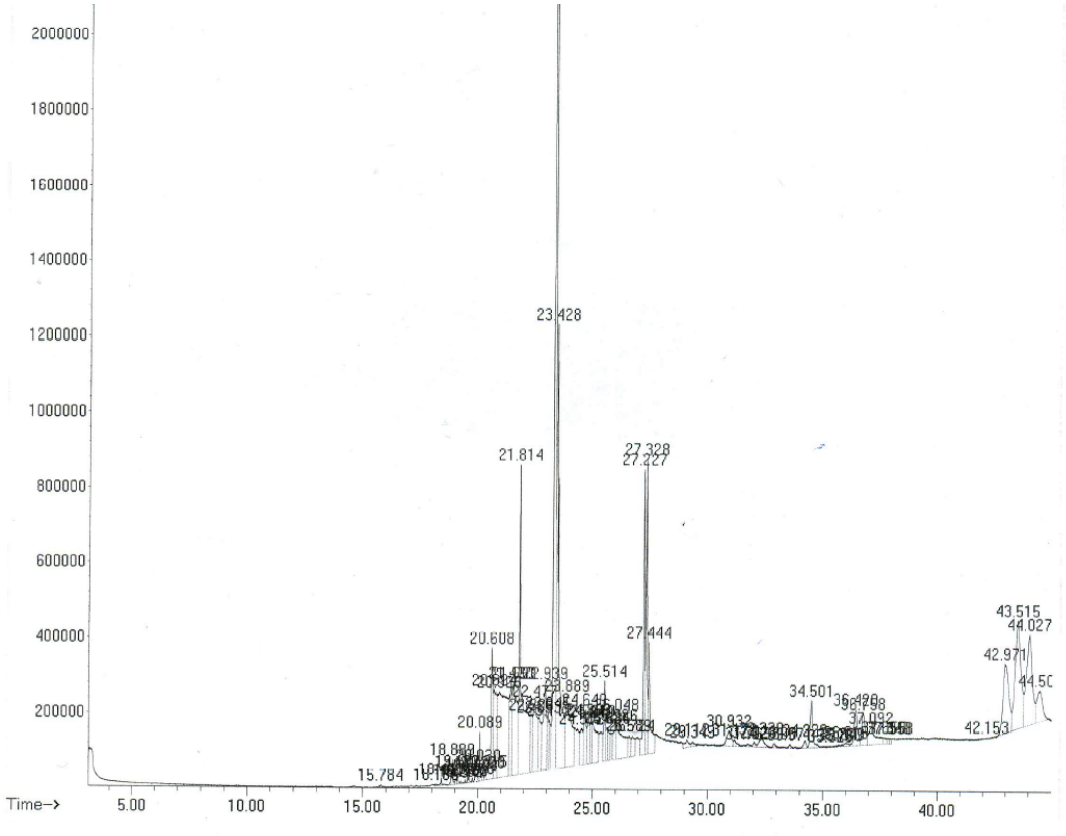


Рисунок 4. Хромато-масс-спектры нерафинированного льняного масла (Hamlitsch, Австрия))

Figure 4. Chromatographic mass spectra of unrefined flaxseed oil (Hamlitsch, Austria)

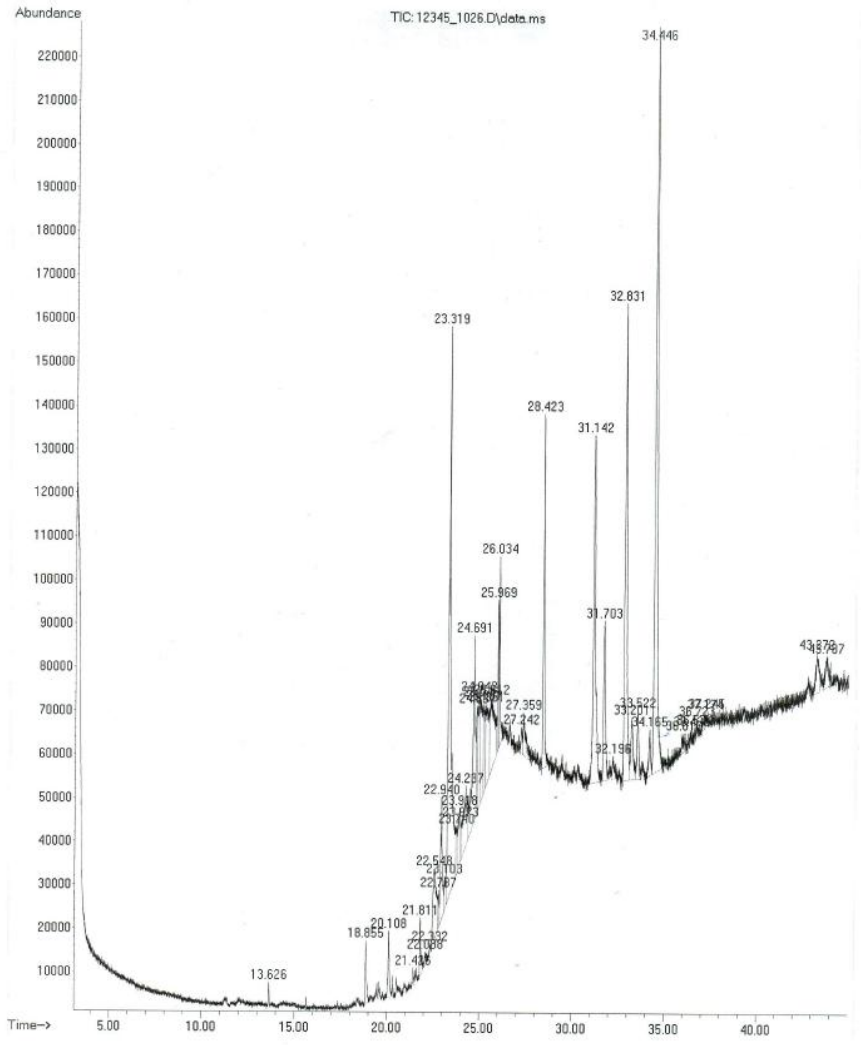


Рисунок 5. Хромато-масс-спектры нерафинированного льняного масла (La Tourangelle, Франция)

Figure 5. Chromatographic mass spectra of unrefined flaxseed oil (La Tourangelle, France)

Профиль ненасыщенных ЖК (таблица 4), дополненный ЖК в минорных количествах, позволил найти отличия, как между отечественными и импортными образцами нерафинированного льняного масла, так и между маслами из разных регионов. Качественный анализ ГХ-МС подтвердил наличие в маслах α-линоленовой, линолевой и олеиновой кислот, которые были идентифицированы газовой хроматографией, а также наличием петрозелиновой кислоты, являющейся позиционным изомером олеиновой кислоты. По данным [3], ее количество в льняном масле не превышает 0,5% отн.

Только в льняном масле «ВВ» присутствовал 10(E), 12(Z) – конъюгат линолевой кислоты, в австрийских маслах – 7,10,13-гексадекатриеновая кислота (C16:3), во французском масле «La Tourangelle» – 8-метил-6-ноненовая, 5-гексадеценовая, 5-октадеценовая кислоты. Напротив, линоэлаидиновая (транс-9,12 кислота) отсутствовала только в масле «La Tourangelle». Качественный ГХ-МС профиль ненасыщенных жирных кислот льняного масла, поступающего по импорту, различался также между торговыми марками одной страны происхождения. В австрийском масле «Pelzmann» обнаружена γ-линоленовая (6-12-15-октадекатриеновая) кислота, а в масле «Hamlitsch» она отсутствовала. Таким образом, ГХ-МС профиль ЖК льняного масла путем сопоставления библиотечных совпадений позволяет идентифицировать минорные ЖК, которые можно использовать в качестве маркеров страны происхождения.

Таблица 4.

Результаты качественного анализа профиля ненасыщенных жирных кислот методом хромато-масс-спектрометрии

Table 4.

Results of qualitative analysis of the profile of unsaturated fatty acids using chromatograph mass spectrometry

Жирные кислоты | Fatty acids		Отечественное льняное масло Domestic flaxseed oil		Импортное льняное масло Imported flaxseed oil		
		ВВ	Елея Eleya	Pelzmann	Hamlitsch	La Tourangelle
8-метил-6-ноненовая кислота 8-methyl-6-nonenoic acid	C10:1	-	-	-	-	+
Миристолеиновая (9-Тетрадеценовая) кислота Myristoleic (9-Tetradecenoic) acid	C14:1	-	-	-	-	+
Пальмитоолеиновая (9-гексадеценовая) кислота Palmitoleic (9-hexadecenoic) acid	C16:1	-	-	-	-	+
5-гексадеценовая кислота 5-hexadecenoic acid	C16:1	-	-	-	-	+
7,10,13-гексадекатриеновая кислота 7,10,13-hexadecatrienoic acid	C16:3	-	-	+	+	-
Олеиновая (цис-9-октадеценовая) кислота Oleic (cis-9-octadecenoic) acid	C18:1	+	+	+	+	+
Петрозелиновая (6-октадеценовая) кислота Petrozelinic (6-octadecenoic) acid	C18:1	+	+	+	+	+
5-октадеценовая кислота 5-octadecenoic acid	C18:1	-	-	-	-	+
Линолевая (9,12-октадекадиеновая) кислота Linoleic (9,12-octadecadienoic) acid	C18:2	+	+	+	+	+
Линоэлаидиновая (транс-9,12 кислота) Linoelaidic (trans-9,12 acid)	C18:2	+	+	+	+	-
10(E), 12(Z) - конъюгат линолевой кислоты 10(E), 12(Z) - conjugate of Linoelaidic acid	C18:2	+	-	-	-	-
α-линоленовая (9,12,15-октадекатриеновая) кислота α-linolenic (9,12,15-octadecatrienoic) acid	C18:3	+	+	+	+	+
γ-линоленовая кислота (6-12-15-октадекатриеновая) кислота γ-linolenic acid (6-12-15-octadecatrienoic) acid	C18:3	-	-	+	-	-
Пиноленовая (5,9,12-октадекатриеновая) кислота Pinolenic (5,9,12-octadecatrienoic acid	C18:3	+	+	+	+	-
19,19-Диметилэйкоза-8,11-диеновая кислота 19,19-Dimethyleicosa-8,11-dienoic acid	C20:2	-	-	-	-	+

Заключение

Методом газовой хроматографии в отечественном и импортном льняном масле было идентифицировано 9 ЖК и дополнительно вакценовая ЖК в масле «Елея». Отечественное льняное масло и поступающее по импорту незначительно различались количественным составом ЖК с преобладанием α-линоленовой кислоты 53,45–60,36% отн. По содержанию ЖК семейства ω-3 лидировало льняное масло «La Tourangelle» из Франции, ω-6 – «Елея», Россия и ω-9 – «ВВ», Россия. Соотношение ω-6: ω-3 варьировало от 1: 3,69 до 1: 4,04, и сформировало ряд льняного масла: La Tourangelle> Pelzmann> Hamlitsch> ВВ> Елея.

Метод ГХ-МС позволил получить дополнительную информацию о профиле ЖК льняного масла по наличию нецелевых ЖК в минорных количествах, что позволило найти различия между отечественными и импортными образцами нерафинированного льняного масла, и между маслами из разных регионов. Во всех образцах льняного масла преобладали соединения линоленового ряда, прежде всего α-линоленовой (9,12,15-октадекатриеновой) кислоты и ее производные, а также соединения линолевого ряда, эфиры полиненасыщенных жирных кислот, ненасыщенные спирты, альдегиды и глицидильные эфиры. В льняном масле «ВВ» присутствовал 10(E), 12(Z) – конъюгат линолевой кислоты, в австрийских маслах – 7, 10, 13 – гексадекатриеновая кислота (C16:3), во французском масле «La Tourangelle» – 8-метил-6-ноненовая, 5-гексадеценовая, 5-октадеценовая кислоты. Линоэлаидиновая (транс-9,12 кислота) отсутствовала только в масле «La Tourangelle».

ГХ-МС профиль ЖК льняного масла путем сопоставления библиотечных совпадений позволяет идентифицировать минорные ЖК, которые можно использовать в качестве маркеров страны происхождения.

Литература

1 Алексеева Р.И., Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А. и др. Влияние полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 растительного и животного происхождения на жирнокислотный состав мембран эритроцитов у больных сахарным диабетом 2 типа // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № S2. С. 69.

2 Li Sh., Jing M., Mohamed N. et al. The Effect of Increasing Concentrations of Omega 3 Fatty Acids from either Flaxseed Oil or Preformed Docosahexaenoic Acid on Fatty Acid Composition, Plasma Oxylipin, and Immune Response of Laying Hens // The Journal of Nutrition. 2023. № 153. P. 2105–2116. doi: 10.1016/j.tjnut.2023.05.017

3 Sun X., Zhang L., Li P. et al. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry // LWT – Food Science and Technology. 2016. V. 63. P. 430–436. doi: 10.1016/j.lwt.2015.02.023

4 Zou X.G et al. Comparisons of proximate compositions, fatty acids profile and micronutrients between fiber and oil flaxseeds (Linum usitatissimum L.) // Journal of Food Composition and Analysis. 2017. № 62. P. 168–176. doi: 10.1016/j.jfca.2017.06.001

5 Liang C., Wang Y., Li J. et al. Determining the geographical origin of flaxseed based on stable isotopes, fatty acids and antioxidant capacity // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2022. V. 102. P. 673–679. doi: 10.1002/jsfa.11396

6 Danish M., Nizami M. Complete fatty acid analysis data of flaxseed oil using GC-FID method // Data in Brief. 2019. № 23. P. 103845. doi: 10.1016/j.dib.2019.103845

7 Majcher M., Fahmi R., Misiak A. et al. Influence of ozone treatment on sensory quality, aroma active compounds, phytosterols and phytosterol oxidation products in stored rapeseed and flaxseed oils // Food Chemistry. 2025. № 469. P. 142551. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.142551

8 Mueed A., et al. . Effect of flaxseed oil cyclolinopeptides on lipid oxidation, protein oxidation, and lipid profile during in vitro digestion of high-fat beef // Food Chemistry. 2025. № 463. P. 141256. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.141256

9 Кочкин Р.А., Лобанов А.А., Андронов С.В. и др. Влияние потребления различных видов жиров на устойчивость центральной нервной системы к холодовому стрессу // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. № 2. С. 172–180. doi: 10.24411/2075-4094-2019-16310

10 Chen Zh., Fu Yu., Luo H. et al. Multifunctional phenolics in flaxseed oil: Structures, antioxidant and antimicrobial bioactivities // Food Chemistry. 2025. № 493. P. 145834. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.145834

11 Jing Yi., Song Z., Li H. et al. The quality and oxidative stability of flaxseed oils of varying degrees of refinement // Grain & Oil Science and Technology. 2025. № 8. P. 163–174. doi: 10.1016/j.gaost.2025.05.002

12 Zhao K et al. Synergistic interaction between maillard reaction product and γ-tocopherol in enhancing the oxidation stability of flaxseed oil // Food Research International. 2025. № 220. P. 117140. doi: 10.1016/j.foodres.2025.117140

13 Zhao K. et al. Antioxidant mechanism of indole-Maillard reaction products in hot-pressed flaxseed oil: a combined experimental and theoretical approach // Food Chemistry. 2026. № 514. P. 149137. doi: 10.1016/j.foodchem.2026.149137

14 Zheng R., Liu H.L., Cui N.N. et al. Cyanide content, nutrient composition, physicochemical properties and sensory quality of flaxseed oil bodies prepared from flaxseeds (Linum usitatissimum L.) treated with different heat treatment methods // Food Research International. 2024. № 196. P. 115116. doi: 10.1016/j.foodres.2024.115116

15 Suri K. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (Linum usitatissimum L.) oil // Food Chemistry. 2020. № 326. P. 126974. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126974

16 Shang Ji., et al. Enhancement of bioactive compounds in flaxseed (Linum usitatissimum L.) oil through germination during roasting // Grain & Oil Science and Technology. 2025. № 8. P. 287–296. doi: 10.1016/j.gaost.2025.08.002

17 Sun X. et al. Changes in the volatile profile, fatty acid composition and oxidative stability of flaxseed oil during heating at different temperatures // LWT – Food Science and Technology. 2021. № 151. P. 112137. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112137

18 Ganguly Sh., Biswas D., Bandyopadhyay K. Study on characterization and oxidative stability analysis of blended oils containing omega 3 rich flaxseed oil // Measurement: Food. 2025. № 18. P. 100228. doi: 10.1016/j.meafoo.2025.100228

19 Moura M. da S., Flaxseed and avocado oil blends: Physical and physicochemical characterization, nutritional quality and oxidative stability // Applied Food Research. 2023. № 3. P. 100370. doi: 10.1016/j.afres.2023.100370

20 He R., et al. Comparison of co-pressing and separate pressing on the oxidative stability and lipidomic signature of ω-6/ω-3 balanced flaxseed-peanut blended oils // Journal of Food Composition and Analysis. 2025. № 148. P. 108356. doi: 10.1016/j.jfca.2025.108356

21 Vera-Candioti L., Negro E., Mancini S.I., Bernal C.A. Oxidative stability of flaxseed oil: effects of tocopherols, phytosterols and extraction conditions // Food Chemistry. 2026. № 502. P. 147708. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.147708

22 Маслинская М.Е., Почицкая И.М., Комарова Н.В. Изучение физических показателей и биохимического состава семян белорусских сортов льна масличного // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2022. Т. 15. № 2 (56). С. 26–35. doi: 10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-26-35

23 Бражников В.Н. Новый сорт льна масличного Аргамак // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 629–631. doi: 10.55186/25876740_2022_65_6_629

24 Бессонов В.В., Зайцева Л.В. Трансизомеры жирных кислот: риски для здоровья и пути снижения потребления // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 3. С. 6–17.

25 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. № 2 (21). С. 135–143. doi: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-135-143

26 Смирнова О.В. Сравнительный анализ состава жирных кислот и биологически активных веществ оливкового масла из разных регионов Средиземноморья // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2025. № 6 (95). С. 66–71. doi: 10.33979/2219-8466-2025-95-6-66-71

27 Ho Th.M. et al. Storage stability of spray-dried flaxseed oil powders protected by wood hemicelluloses – Part 1: Physical properties and initial stage oxidation // Future Foods. 2025. № 12. P. 100744. doi: 10.1016/j.fufo.2025.100744

28 Wang X. et al. Detection of Qinghai-Tibet Plateau flaxseed oil adulteration based on fatty acid profiles and chemometrics // Food Control. 2021. V. 130. P. 108332. doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108332

29 Yang F. et al. . Identification of adulteration of flaxseed oil from Qinghai area using GC–MS profiling of phytosterol composition and chemometrics // Journal of Food Protection. 2024. V. 87. № 2. P. 100221. doi: 10.1016/j.jfp.2024.100221

References

1 Alekseeva R.I., Sharafetdinov Kh.Kh., Plotnikova O.A. et al. The effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids of plant and animal origin on the fatty acid composition of erythrocyte membranes in patients with type 2 diabetes mellitus. Problems of Nutrition. 2016. vol. 85. no. S2. p. 69. (in Russian).

2 Li Sh., Jing M., Mohamed N. et al. The Effect of Increasing Concentrations of Omega 3 Fatty Acids from either Flaxseed Oil or Preformed Docosahexaenoic Acid on Fatty Acid Composition, Plasma Oxylipin, and Immune Response of Laying Hens. The Journal of Nutrition. 2023. no. 153. pp. 2105–2116. doi: 10.1016/j.tjnut.2023.05.017.

3 Sun X., Zhang L., Li P. et al. Fatty acid profiles based adulteration detection for flaxseed oil by gas chromatography mass spectrometry. LWT – Food Science and Technology. 2016. vol. 63. pp. 430–436. doi: 10.1016/j.lwt.2015.02.023.

4 Zou X.G., et al. Comparisons of proximate compositions, fatty acids profile and micronutrients between fiber and oil flaxseeds (Linum usitatissimum L.). Journal of Food Composition and Analysis. 2017. no. 62. pp. 168–176. doi: 10.1016/j.jfca.2017.06.001.

5 Liang C., Wang Y., Li J. et al. Determining the geographical origin of flaxseed based on stable isotopes, fatty acids and antioxidant capacity. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2022. vol. 102. pp. 673–679. doi: 10.1002/jsfa.11396.

6 Danish M., Nizami M. Complete fatty acid analysis data of flaxseed oil using GC-FID method. Data in Brief. 2019. no. 23. article 103845. doi: 10.1016/j.dib.2019.103845.

7 Majcher M., Fahmi R., Misiak A. et al. Influence of ozone treatment on sensory quality, aroma active compounds, phytosterols and phytosterol oxidation products in stored rapeseed and flaxseed oils. Food Chemistry. 2025. no. 469. article 142551. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.142551.

8 Mueed A. et al. Effect of flaxseed oil cyclolinopeptides on lipid oxidation, protein oxidation, and lipid profile during in vitro digestion of high-fat beef. Food Chemistry. 2025. no. 463. article 141256. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.141256.

9 Kochkin R.A., Lobanov A.A., Andronov S.V. et al. The effect of consumption of various types of fats on the resistance of the central nervous system to cold stress. Bulletin of New Medical Technologies. Electronic Edition. 2019. no. 2. pp. 172–180. doi: 10.24411/2075-4094-2019-16310 (in Russian).

10 Chen Zh., Fu Yu., Luo H. et al. Multifunctional phenolics in flaxseed oil: Structures, antioxidant and antimicrobial bioactivities. Food Chemistry. 2025. no. 493. article 145834. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.145834.

11 Jing Yi., Song Z., Li H. et al. The quality and oxidative stability of flaxseed oils of varying degrees of refinement. Grain & Oil Science and Technology. 2025. no. 8. pp. 163–174. doi: 10.1016/j.gaost.2025.05.002.

12 Zhao K., et al. Synergistic interaction between maillard reaction product and γ-tocopherol in enhancing the oxidation stability of flaxseed oil. Food Research International. 2025. no. 220. article 117140. doi: 10.1016/j.foodres.2025.117140.

13 Zhao K. et al. Antioxidant mechanism of indole-Maillard reaction products in hot-pressed flaxseed oil: a combined experimental and theoretical approach. Food Chemistry. 2026. no. 514. article 149137. doi: 10.1016/j.foodchem.2026.149137.

14 Zheng R. et al. Cyanide content, nutrient composition, physicochemical properties and sensory quality of flaxseed oil bodies prepared from flaxseeds (Linum usitatissimum L.) treated with different heat treatment methods. Food Research International. 2024. no. 196. article 115116. doi: 10.1016/j.foodres.2024.115116.

15 Suri K. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (Linum usitatissimum L.) oil. Food Chemistry. 2020. no. 326. article 126974. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126974.

16 Shang Ji., Zhang X., Zhang Ji. et al. Enhancement of bioactive compounds in flaxseed (Linum usitatissimum L.) oil through germination during roasting. Grain & Oil Science and Technology. 2025. no. 8. pp. 287–296. doi: 10.1016/j.gaost.2025.08.002.

17 Sun X., Wang Ya., Li H. et al. Changes in the volatile profile, fatty acid composition and oxidative stability of flaxseed oil during heating at different temperatures. LWT – Food Science and Technology. 2021. no. 151. article 112137. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112137.

18 Ganguly Sh., Biswas D., Bandyopadhyay K. Study on characterization and oxidative stability analysis of blended oils containing omega 3 rich flaxseed oil. Measurement: Food. 2025. no. 18. article 100228. doi: 10.1016/j.meafoo.2025.100228.

19 Moura M. da S., da Silva C.A.M., Braga M.B. Flaxseed and avocado oil blends: Physical and physicochemical characterization, nutritional quality and oxidative stability. Applied Food Research. 2023. no. 3. article 100370. doi: 10.1016/j.afres.2023.100370.

20 He R., Liu Yu., Zhou M. et al. Comparison of co-pressing and separate pressing on the oxidative stability and lipidomic signature of ω-6/ω-3 balanced flaxseed-peanut blended oils. Journal of Food Composition and Analysis. 2025. no. 148. article 108356. doi: 10.1016/j.jfca.2025.108356.

21 Vera-Candioti L., Negro E., Mancini S.I., Bernal C.A. Oxidative stability of flaxseed oil: effects of tocopherols, phytosterols and extraction conditions. Food Chemistry. 2026. no. 502. article 147708. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.147708.

22 Maslinskaya M.E., Pochitskaya I.M., Komarova N.V. Study of physical parameters and biochemical composition of seeds of Belarusian varieties of oil flax. Food Industry: Science and Technologies. 2022. vol. 15. no. 2 (56). pp. 26–35. doi: 10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-26-35 (in Russian).

23 Brazhnikov V.N. New variety of oil flax Argamak. International Agricultural Journal. 2022. no. 6 (390). pp. 629–631. doi: 10.55186/25876740_2022_65_6_629 (in Russian).

24 Bessonov V.V., Zaitseva L.V. Trans isomers of fatty acids: health risks and ways to reduce consumption. Problems of Nutrition. 2016. vol. 85. no. 3. pp. 6–17. (in Russian).

25 Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A. The influence of biologically active substances on resistance to oxidative stress of rice oil. News of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2017. vol. 7. no. 2 (21). pp. 135–143. doi: 10.21285/2227-2925-2017-7-2-135-143 (in Russian).

26 Smirnova O.V. Comparative analysis of the composition of fatty acids and biologically active substances of olive oil from different regions of the Mediterranean. Technology and Merchandising of Innovative Food Products. 2025. no. 6 (95). pp. 66–71. doi: 10.33979/2219-8466-2025-95-6-66-71 (in Russian).

27 Ho Th.M., Lehtonen M., Räikkönen H. et al. Storage stability of spray-dried flaxseed oil powders protected by wood hemicelluloses – Part 1: Physical properties and initial stage oxidation. Future Foods. 2025. no. 12. article 100744. doi: 10.1016/j.fufo.2025.100744.

28 Wang X. et al. Detection of Qinghai-Tibet Plateau flaxseed oil adulteration based on fatty acid profiles and chemometrics. Food Control. 2021. vol. 130. article 108332. doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108332.

29 Yang F., Wang J., Han Y., Li Y., Wang S. Identification of adulteration of flaxseed oil from Qinghai area using GC–MS profiling of phytosterol composition and chemometrics. Journal of Food Protection. 2024. vol. 87. no. 2. article 100221. doi: 10.1016/j.jfp.2024.100221.

Сведения об авторах

Людмила П. Нилова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, nilova_l_p@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–5154–7095

Ольга В. Смирнова к.э.н., доцент, кафедра товароведения и таможенной экспертизы, Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, Софийская ул., д.52, лит. А, г. Санкт-Петербург, 192241, Россия, loi_olga@bk.ru
https://orcid.org/0009–0009–2055–5437

Светлана М. Малютенкова к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли,, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, malutesha66@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–8081–6688

Information about authors

Liudmila P. Nilova Cand. Sci. (Engin.), Associate Professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia, nilova_l_p@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–5154–7095

Olga V. Smirnova Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Commodity Science and Customs Expertise, St. Petersburg branch of the Russian Customs Academy named after V.B. Bobkov, Sofiyskaya St., 52, lit. A, St. Petersburg, 192241, Russia, loi_olga@bk.ru
https://orcid.org/0009–0009–2055–5437

Svetlana M. Malyutenkova Cand. Sci. (Engin.), Associate Professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia, malutesha66@mail.ru
https://orcid.org/0000–0002–8081–6688

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/06/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 20/08/2026
Received 19/06/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 20/08/2026