

УДК 615.322

## АНАЛИЗ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ\*

© Г.Н. Генатуллина<sup>1</sup>, В.П. Каляткина<sup>2</sup>, Г.Р. Баева<sup>1</sup>, А.А. Цибизова<sup>1</sup>, А.Л. Ясеняевская<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> Астраханский государственный медицинский университет, ул. Бакинская, 121, Астрахань, 414000, Россия, yasen\_9@mail.ru

<sup>2</sup> Центр гигиены и эпидемиологии в Астраханской области, ул. Адмирала Нахимова, 207Б, Астрахань, 414018, Россия

В настоящее время большой интерес представляют исследования, направленные на изучение биологического действия жирных кислот, а именно мононенасыщенных и полиненасыщенных, которые являются источником энергии и основными компонентами фосфолипидов клеточных мембран, а также оказывают разностороннее биологическое действие, которое свидетельствует об их высоком потенциале использования не только в нутрицевтических, но и фармакологических целях. В связи с чем цель настоящего исследования – определение общего содержания фосфолипидов и компонентного состава жирных кислот орехов и семян растений. Концентрацию липидов определяли по содержанию фосфора по Спирину спектрофотометрическим методом. Определение процентного соотношения количественных показателей жирных кислот в растительных фракциях осуществляли методом газовой хроматографии. В процессе исследования было установлено, что наибольшее количество липидов извлекается из грецкого ореха (67.21%) и семян тыквы (54.65%), наименьшее – из миндального ореха (24.75%). Обнаружено, что содержание линолевой кислоты в фосфолипидных и триглицеридных фракциях составляет от 25 до 60% и от 14 до 30% соответственно. Фракции из семян клещевины обыкновенной являются источником  $\gamma$ -линоленовой кислоты. Основными кислотами, образовавшими фосфолипидные концентраты, являются линолевая (от 25 до 60%);  $\alpha$ -линоленовая (до 16%), на олеиновую приходится от 20 до 60%. Установлено, что выделенные фосфолипидные фракции имеют полноценный состав жирных кислот в оптимальном соотношении.

**Ключевые слова:** жирные кислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды, газовая хроматография.

---

**Для цитирования:** Генатуллина Г.Н., Каляткина В.П., Баева Г.Р., Цибизова А.А., Ясеняевская А.Л. Анализ компонентного состава жирных кислот из растительного сырья // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 264–271. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315154>.

---

### Введение

В настоящее время большой интерес представляют исследования, направленные на изучение биологического действия жирных кислот (ЖК), которые являются источником энергии и основными компонентами фосфолипидов клеточных мембран [1]. ЖК являются алифатическими монокарбоновыми кислотами, которые в зависимости от количества двойных связей могут быть насыщенными (НЖК), мононенасыщенными (МНЖК) или полиненасыщенными (ПНЖК). Мононенасыщенные жирные кислоты эффективно уменьшают уровень атерогенных липопротеинов низкой плотности, снижая, тем самым, риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, а также в целом проявляют цитопротекторные свойства [2, 3]. Кроме того, существуют данные, свидетельствующие о том, что олеиновая кислота более устойчива к окислительным модификациям и положительно влияет на эндотелиальные функции. Исследования показали, что ПНЖК играют важную роль в метаболизме человека, принимают участие в биосинтезе эйкозаноидов, гормоноподобных сигнальных молекул, к которым относятся тромбоксаны, простагландинны и лейкотриены [4]. ПНЖК участвуют в регуляции функциональной активности биологических мембран, внутриклеточных сигнальных путей, активности транскрипционных факторов и экспрессии генов [5, 6]. Разносторонняя биологическая активность ЖК

---

\*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20250315154s

\*\* Автор, с которым следует вести переписку.

свидетельствует об их высоком потенциале использования не только в нутрицевтических целях, но и фармакологических [7]. В исследованиях показано антибактериальное [8, 9], противовоспалительное [10], антиоксидантное [11], кардиотропное [10] и противоопухолевое действие ПНЖК [3, 12]. Кроме того, сравнительно недавно было доказано, что ПНЖК являются перспективными в области доставки лекарств и обеспечивают более эффективное проникновение специфических молекул через клеточные мембранны, например, опухолевых клеток, благодаря своим уникальным липофильным характеристикам [3, 13, 14]. Жирные кислоты используют как основу для получения жировых эмульсий для парентерального питания и в качестве наноструктурированных липидных носителей для лекарственных веществ [15, 16].

Основным известным источником является рыбный жир, однако принимая во внимание, что рыба является сокращающимся ресурсом и существует растущий коммерческий интерес к МНЖК и ПНЖК [17], необходимо проводить поиск альтернативных источников. Наиболее перспективными являются растения [18]. В пищевой промышленности применяется большое количество растительных масел, но процентное соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот часто является неоптимальным для реализации положительного биологического воздействия [19]. В связи с чем изучение растительных источников жирных кислот является актуальным направлением.

Цель настоящего исследования – определение общего содержания фосфолипидов и компонентного состава жирных кислот орехов и семян растений.

### Экспериментальная часть

**Растительный материал.** Объектами исследования были плоды грецкого ореха (*Juglans regia*, сорт «Лунный камень»), макадамия (*Macadamia integrifolia*), арахиса (*Arachis hypogaea*, сорт «Астраханский-5»), миндаля (*Prunus dulcis*, сорт «Первоклассный»), семена клещевины обыкновенной (*Ricinus communis*) и тыквы обыкновенной (*Cucurbita pepo*, сорт «Волжская серая 92»).

**Определение общего количества липидов.** Извлечение липидов из растительного сырья проводили путем экстрагирования 2 г молотого сырья водным раствором изопропилового спирта (25%, 35%, 45%, в объем. %), объемом 10 мл, в течение 30, 60 и 90 мин, при температуре 25, 40 и 60 °C. Полученный раствор представлял собой объединенный липид, содержащий материал и водорастворимый спирт, который разделяется на две фракции, одна из фракций представляет собой фракцию вода/алифатический спирт, обогащенную фосфолипидом, и другая – фракцию белка с нейтральными жирами (триглицеридами). Затем извлекли из экстракта фракцию, обогащенную фосфолипидом и с целью осаждения ее центрифугировали с охлаждением до температуры 20, 10, 5 °C с последующим отделением преципитированных липидов. Концентрацию липидов определяли по содержанию фосфора по Спирину спектрофотометрическим методом при двух значениях длин волн 270 и 290 нм в ультрафиолетовой области спектра согласно ОФС.1.2.3.0020.15 «Спектрофотометрическое определение фосфора» на спектрофлуориметре Cary Eclipse (Agilent Technologies, США).

**Определение процентного соотношения количественных показателей жирных кислот в растительных фракциях** осуществляли методом газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 31663-2012. Градуировка стандартной смесью метиловых эфиров жирных кислот проводилась методом внутренней нормализации. Оценивалось суммарное содержание (длинноцепочных) ЖК по сумме групп: омега-3, омега-6 и омега-9.

В ходе проведения исследования 100 мг растительной фракции растворяли в 2 мл гексана с добавлением 100 мкл метилирующего реагента (2 моль/дм<sup>3</sup> метанольного раствора метилата натрия) и центрифугировали смесь при 5000 оборотов 15 мин, затем 1 мкл полученной смеси вводили микрошиприцем в газовый хроматограф.

Для определения метиловых эфиров ЖК использовали газовый хроматограф «Комплекс аппаратно-программный для медицинских исследований на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия). В ходе экспериментальной работы использовали установленный в хроматограф пламенно-ионизационный детектор – ПИД, испаритель капиллярный, колонку кварцевую капиллярную «Select for FAME 100 м × 0.25 мм × 0.25 мкм». Для работы хроматографа использовали газ-носитель: азот газообразный по ГОСТ 9293 с содержанием основного компонента не менее 99,9999%. Результаты анализировали с помощью программы обработки хроматографической информации «Хроматэк Аналитик 3.1».

При выполнении измерений соблюдены следующие условия хроматографирования: давление газ-носителя азота на входе в колонку – 80 кПа; температура термостата колонки с программированием температуры – от 140 °C до 240 °C и термостатом, поддерживающим температуру с точностью 0.1 °C, со

скоростью 10 °С/мин; температура испарителя – 280 °С; температура детектора – 290 °С; расход азота через детектор – 30 см<sup>3</sup>/мин; расход воздуха – 300 см<sup>3</sup>/мин.

В качестве стандартов были взяты образцы фирмы «Sigma-Aldrich» («Supelco 37 Component FAME Mix certified reference material»). Смесь метиловых эфиров всех 9, 12, 15 *цис*-, *транс*-изомеров линолевой кислоты, линоленовой кислоты (кatalogный номер № 47791, № 47792, № 47885-U). Данные исследования проводились согласно ГОСТ 31663-2012 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот», ГОСТ 31665-2012 «Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот», ГОСТ 31754-2012 «Масла растительные, жиры животные и продукты их переработки. Методы определения массовой доли трансизомеров жирных кислот».

Статистические расчеты выполнены с помощью «StatTech» (Россия). Рассчитывали средние величины, их стандартные (среднеквадратические) отклонения, ошибки репрезентативности (средние ошибки средней арифметической величины). Гипотезу о равенстве средних оценивали по t-критерию Стьюдента.

### **Обсуждение результатов**

В процессе исследования было установлено, что наибольшее количество липидов извлекается из грецкого ореха (67.21%) и семян тыквы (54.65%), наименьшее – из миндального ореха 24.75%.

Результаты выделения фосфолипидов из растительного сырья экстракцией раствором изопропилового спирта в различных концентрациях, времени и температурных режимах представлены в таблице 1.

Несмотря на то, что наиболее распространенным из классических органических растворителей для удаления полярных липидов из растительного сырья является этанол и хлороформ, в настоящее время приобретают большую актуальность разработка методов без применения данных растворителей [20, 21]. Преимуществом использования изопропилового спирта для выделения интактного фосфолипида является получение обогащенного ПНЖК продукта из сырья, с учетом сохранения целостности растительных фосфолипидов, которые не гидролизуются в процессе удаления растворителя. При проведении собственных исследований выделения фосфолипидов из растительного сырья, применяя способ экстракции раствором изопропилового спирта в различных концентрациях, времени и температурных режимах, было установлено, что максимальный выход фосфолипидов наблюдается при экстрагировании 35% водно-спиртовым раствором. Наиболее предпочтительным временем экстрагирования оказалось смешивание содержащего фосфолипиды растительного сырья и водорастворимого спирта в течение 60 мин при температуре 40 °С. Раствор фосфолипидов можно охладить до комнатной температуры (25 °С) или ниже, в результате чего они выпадут в осадок и в последующем будут отделены центрифугированием [21].

При проведении газохроматографических исследований растительного сырья были определены массовые доли ненасыщенных жирных кислот (ННЖК), представленные в таблице 2 (рис. 1–6 электронного приложения).

Свойства продуктов, богатых жирными кислотами, определяются входящими в их состав ННЖК, среди которых олеиновая, линолевая, линоленовая в организме животных и человека не образуются, но играют жизненно важную роль в различных функциях организма, а также в качестве питательного вещества обеспечивают выраженную физиологическую активность при различных хронических заболеваниях и неблагоприятных факторах окружающей среды [22]. Обнаружено, что содержание линолевой кислоты в фосфолипидных и триглицеридных фракциях составляет от 25 до 60% и от 14 до 30% соответственно. Кроме того, фракции из семян клещевины обыкновенной являлись источником γ-линоленовой кислоты (1 фракция – 5.1%, 2 фракция – 1.2%). Высокое содержание ω-3 ПНЖК характерно для грецкого ореха и семян тыквы. Во всех исследуемых растительных семенах данная группа кислот представлена α-линоленовой кислотой, кроме ореха макадамия, фракции которого в основном содержали эйкозапентаеновую кислоту (1 фракция – 5%, 2 фракция – 4%).

Несколько источников информации предполагают, что очень высокое соотношение ω-6/ω-3 (15/1–16.7/1) определяют патогенетические механизмы многих патологических состояний, включая сердечно-сосудистые, онкологические, воспалительные и аутоиммунные заболевания, тогда как более низкое соотношение ω-6/ω-3 (2/1–8/1) оказывают благотворное влияние [17]. Оптимальное соотношение ω-6/ω-3 наблюдалось в обеих исследуемых фракциях грецкого ореха (4/1) и ореха макадамия (8/1 и 4/1), семенах клещевины обыкновенной (8/1 и 5/1) и в фосфолипидных фракциях семян тыквы (5/1).

Таблица 1. Содержание фосфолипидов в растительном сырье при различных режимах экстракции

Режимы извлечения фосфолипидов		Содержание липидов, %					
		Грецкий орех	Орех макадамия	Семена клещевины обыкновенной	Семена тыквы	Орех арахиса	Орех миндаля
Раствор спирта (%)	25	66.8	36.6	36.0	51.5	35.2	24.6
	35	68.1	38.4	40.9	58.7	37.4	26.8
	45	67.4	37.6	39.5	57.4	36.7	25.9
Время экстрагирования (мин)	30	67.5	37.2	39.1	54.1	34.7	27.8
	60	68.7	40.5	41.1	57.5	39.1	28.6
	90	67.1	35.7	35.2	54.2	33.2	24.7
Температура экстрагирования (°C)	25	66.1	36.9	34.7	55.4	35.3	23.6
	40	68.3	37.4	41.3	56.4	39.0	27.5
	60	66.7	35.4	37.8	53.5	36.4	20.5
Температура при центрифугировании (°C)	20	66.7	34.8	37.2	53.5	36.3	20.8
	10	66.9	34.7	38.7	53.0	36.1	21.7
	5	68.4	39.1	43.1	56.7	38.1	23.3

Таблица 2. Суммарное содержание жирных кислот омега-3, омега-6 и омега-9 в полученных фракциях растительного сырья

Фракции	Растительное сырье	Сумма ω-3 (%)	Сумма ω-6 (%)	Сумма ω-9 (%)
1	Грецкий орех	15.2±0.3	60.8±0.2	22.0±0.3
	Орех макадамия	5.1±0.2	39.1±0.3	31.1±0.2
	Семена клещевины обыкновенной	5.5±0.7	43.1±0.6	42.9±0.5
	Семена тыквы	10.3±0.3	53.6±0.1	24.0±0.2
	Орех арахиса	0.2±0.1	38.1±0.2	35.8±0.1
	Орех миндаля	0.06±0.03	26.3±0.4	63.0±0.3
2	Грецкий орех	7.1±0.2	29.6±0.2	18.0±0.4
	Орех макадамия	4.4±0.5	18.0±0.3	19.2±0.5
	Семена клещевины обыкновенной	4.5±0.1	21.3±0.5	21.5±0.3
	Семена тыквы	0.07±0.02	26.2±0.4	19.9±0.3
	Орех арахиса	0.05±0.03	15.1±0.3	20.8±0.2
	Орех миндаля	-	13.7±0.2	37.2±0.6

Примечание: 1 – фракция, обогащенная фосфолипидами, 2 – фракция с нейтральными жирами (триглицеридами).

Исследование жирнокислотного состава выделенных фракций из растительного сырья также подтверждает повышенное содержание ω-9 мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК), главным образом представленные олеиновой кислотой (от 20 до 60%). Источником нервоновой и эруковой кислоты были фосфолипидные фракции из арахисового ореха, соответственно 1 и 3%.

Результаты исследования жирнокислотного состава фосфолипидных и триглицеридных фракций растительного сырья представлены в таблице 3.

Среди насыщенных жирных кислот (НЖК) лауриновая, пальмитиновая, миристиновая и стеариновая кислоты являются наиболее эффективными диетическими жирными кислотами [23]. Результаты исследования жирнокислотного состава растительного сырья показали, что в фосфолипидных фракциях НЖК представлены в основном пальмитиновой (от 7 до 15%) и стеариновой кислотами (от 3 до 9%). В триглицеридных фракциях процент НЖК снижается вдвое. Установлено, что благоприятное потребление НЖК от общего содержания жирных кислот не должно превышать одной трети, остальные две трети должны приходиться на ННЖК [24]. Результаты жирнокислотного состава растительного сырья показали, что наилучшим соотношением НЖК/ННЖК обладали все исследуемые фракции.

ПНЖК образуют уникальный класс пищевых компонентов, обладающих широким спектром биологической активности. В частности, ПНЖК ω-3 и ω-6 эффективны против сахарного диабета, атеросклероза, ожирения, онкологических процессов и др. ПНЖК активно внедряют в медико-фармакологическую индустрию пищевых продуктов и биологически активных добавок [5]. Полученные результаты рядом исследователей по включению, сохранности, а также оценке биологической эффективности ПНЖК указывают на целесообразность и эффективность использования их в качестве основы для получения систем доставки лекарственных средств, в том числе липосомальных [14]. Фосфолипиды мембранны липосом после введения в организм вступают в обменные процессы и не накапливаются в организме, благодаря чему липосомы рассматриваются как перспективная форма для доставки биологически активных веществ, в том числе полезных для организма компонентов самой липосомы, к клеткам и тканям [25].

Таблица 3. Суммарное содержание жирных кислот в полученных фракциях растительного сырья по группам

Фракции	Наименование растительного сырья	массовая доля жирных кислот, в (%)		
		НЖК	ННЖК	НЖК/ННЖК
1	Грецкий орех	11.0±0.2	98.0±0.5	1 : 8.9
	Орех макадамия	16.7±0.5	75.3±0.8	1 : 4.5
	Семена клещевины обыкновенной	14.5±0.3	91.5±1.1	1 : 6.3
	Семена тыквы	16.0±0.4	87.9±0.8	1 : 5.5
	Орех арахиса	15.4±0.6	74.1±0.5	1 : 4.8
	Орех миндаля	10.5±0.7	89.4±0.6	1 : 8.5
2	Грецкий орех	7.5±0.5	54.7±0.8	1 : 7.3
	Орех макадамия	9.9±0.6	41.6±0.7	1 : 4.2
	Семена клещевины обыкновенной	8.3±0.7	47.3±0.6	1 : 5.7
	Семена тыквы	9.1±0.5	46.2±0.8	1 : 5.1
	Орех арахиса	9.2±0.8	36.0±0.7	1 : 3.9
	Орех миндаля	7.6±0.2	50.9±0.8	1 : 6.7

Примечание: 1 – фракция, обогащенная фосфолипидами, 2 – фракция с нейтральными жирами (триглицеридами).

В связи с этим разработка новых сырьевых источников ПНЖК представляет собой актуальную задачу. В качестве перспективного источника жирных кислот предложены фосфолипиды из растительного сырья, в частности грецкого ореха, семян клещевины обыкновенной и тыквы. Результаты проведенного исследования подтвердили наличие в составе выделенных фосфолипидных фракций полноценный состав жирных кислот в полезном соотношении.

## Выходы

Установлено, что все исследованные фракции, полученные из грецкого ореха, семян клещевины обыкновенной и тыквы, являются высоконенасыщенными. Основными кислотами, образовавшими фосфолипидные концентраты, являются линолевая (от 25 до 60%);  $\alpha$ -линоленовая (до 16%), на олеиновую приходится от 20 до 60%. Установлено, что выделенные фосфолипидные фракции имеют полноценный состав жирных кислот в оптимальном соотношении.

## Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprm.20250315154s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ 124020300056-9) Министерства здравоохранения Российской Федерации в части проведения НИР по теме «Поиск и разработка высокостабильной липосомальной системы для инкапсулирования соединений с потенциальной антибактериальной активностью на примере хиназолиновых производных, активных в отношении *S. aureus*».

## Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

## Список литературы

1. De Carvalho C.C., Caramujo M.J. The various roles of fatty acids // Molecules. 2018. Vol. 23, no. 10. 2583. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>.
2. Hardy S., St-Onge G.G., Joly E., Langelier Y., Prentki M. Oleate promotes the proliferation of breast cancer cells via the G-protein-coupled receptor GPR40 // J. Biol. Chem. 2005. Vol. 280, no. 14. Pp. 13285–13291. <https://doi.org/10.1074/jbc.M410922200>.
3. Wang J., Luo T., Li S., Zhao J. The powerful use of polyunsaturated fatty acids in increasing the therapeutic effectiveness of antitumor drugs. Expert opinion // The drug is Divided. 2012. Vol. 9. Pp. 1–7. <https://doi.org/10.1517/17425247.2011.618183>.

4. Simopoulos A.P. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases // Experimental biology and medicine. 2008. Vol. 233, no. 6. Pp. 674–688. <https://doi.org/10.3181/0711-MR-311>.
5. Zaini R.K., Kium Y.S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: food sources, metabolism and significance – an overview // Life Sciences. 2018. Vol. 203. Pp. 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>.
6. Fatima S., Hu H., Gong R.H., Huan K., Chen M., Wong H.L.H., Kwan H.Y. Palmitic acid is an intracellular signaling molecule involved in the development of the disease // Cellular and Molecular Life Sciences. 2019. Vol. 76. Pp. 2547–2557. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03092-7>.
7. Harayama T., Shimizu T. Roles of polyunsaturated fatty acids, from mediators to membranes // Journal of lipid research. 2020. Vol. 61, no. 8. Pp. 1150–1160. <https://doi.org/10.1194/jlr.R120000800>.
8. Das U.N. Arachidonic acid and other unsaturated fatty acids and some of their metabolites function as endogenous antimicrobial molecules: a review // Journal of Advanced Studies. 2018. Vol. 11. Pp. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.01.001>.
9. Chanda V., Joseph T., Guo S.F., Wang V.D., Liu M., Voi M.S., Zhang M.T. The effectiveness of omega-3 polyunsaturated fatty acids against microbial pathogens // Journal of Zhejiang University – Science B. 2018. Vol. 19, no. 4. 253. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1700063>.
10. Shibabau T. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemic mechanisms in cardiovascular diseases // Molecular and Cellular Biochemistry. 2021. Vol. 476, no. 2. Pp. 993–1003. <https://doi.org/10.1007/s11010-020-03965-7>.
11. Djuricic I., Calder P.C. Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021 // Nutrients. 2021. Vol. 13, no. 7. 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>.
12. Asefy Z., Tanomand A., Hoseinnezhad S., Ceferov Z., Oshaghi E.A., Rashidi M. Unsaturated fatty acids as a co-therapeutic agents in cancer treatment // Molecular Biology Reports. 2021. Vol. 48. Pp. 2909–2916. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06319-8>.
13. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems // Asian journal of pharmaceutical sciences. 2015. Vol.10, no. 2. Pp. 81–98. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2014.09.004>.
14. Singh R.P., Gangadharappa H.V., Mruthunjaya K. Phospholipids: Unique carriers for drug delivery systems // Journal of Drug Delivery Science and Technology. 2017. Vol. 39. Pp. 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2017.03.027>.
15. Klek S. Omega-3 fatty acids in modern parenteral nutrition: a review of the current evidence // Journal of clinical medicine. 2016. Vol. 5, no. 3. 34. <https://doi.org/10.3390/jcm5030034>.
16. Calder P.C., Waitzberg D.L., Klek S., Martindale R.G. Lipids in parenteral nutrition: biological aspects // Journal of Parenteral and Enteral Nutrition. 2020. Vol. 44. Pp. S21–S27. <https://doi.org/10.1002/jpen.1756>.
17. Saini R.K., Prasad P., Sreedhar R.V., Akhilender Naidu K., Shang X., Keum Y.S. Omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs): Emerging plant and microbial sources, oxidative stability, bioavailability, and health benefits – A review // Antioxidants. 2021. Vol. 10, no. 10. 1627. <https://doi.org/10.3390/antiox10101627>.
18. Qi B., Fraser T., Mugford S., Dobson G., Sayanova O., Butler J., Napier J.A., Stobart A.K., Lazarus C.M. Production of very long chain polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in plants // Nat. Biotechnol. 2004. Vol. 22, no. 6. Pp. 739–745. <https://doi.org/10.1038/nbt972>.
19. Calder P.C. Functional roles of fatty acids and their effects on human health // Journal of parenteral and enteral nutrition. 2015. Vol. 39. Pp. 18S–32S. <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>.
20. Лисовая Е.В., Лисовой В.В., Викторова Е.П. Методы получения липосомальных систем для применения в пищевой промышленности // Новые технологии. 2020. Т. 16, №5. С. 28–33. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-5-28-33>.
21. Fauland A., Trötzmüller M., Eberl A., Afifi-Zadeh S., Köfeler H., Guo X., Lankmayr E. An improved SPE method for fractionation and identification of phospholipids // J. Sep. Sci. 2013. Vol. 36, no. 4. Pp. 744–751. <https://doi.org/10.1002/jssc.201200708>.
22. Yashodhara B.M., Umakanth S., Pappachan J.M., Bhat S.K., Kamath R., Choo B.H. Omega-3 fatty acids: a comprehensive review of their role in health and disease // Postgrad. Med. J. 2009. Vol. 85, no. 1000. Pp. 84–90. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2008.073338>.
23. McCusker M.M., Grant-Kels J.M. Healing fats of the skin: the structural and immunologic roles of the ω-6 and ω-3 fatty acids // Clin. Dermatol. 2010. Vol. 28, no. 4. Pp. 440–451. <https://doi.org/10.1016/j.cldermatol.2010.03.020>.
24. Hashemi F.S., Farzadnia F., Aghajani A., Ahmadzadeh NobariAzar F., Pezeshki A. Conjugated linoleic acid loaded nanostructured lipid carrier as a potential antioxidant nanocarrier for food applications // Food Science & Nutrition. 2020. Vol. 8, no. 8. Pp. 4185–4195. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1712>.
25. Alavi M., Karimi N., Safaei M. Application of various types of liposomes in drug delivery systems // Advanced pharmaceutical bulletin. 2017. Vol. 7, no. 1. Pp. 3–9. <https://doi.org/10.15171/apb.2017.002>.

Поступила в редакцию 4 мая 2024 г.

После переработки 16 декабря 2024 г.

Принята к публикации 14 мая 2025 г.

*Genatullina G.N.<sup>1</sup>, Kalyatkina V.P.<sup>2</sup>, Baeva G.R.<sup>1</sup>, Tsibizova A.A.<sup>1</sup>, Yasenyavskaya A.L.<sup>1\*</sup>* ANALYSIS OF THE COMPONENT COMPOSITION OF FATTY ACIDS FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

<sup>1</sup> Astrakhan State Medical University, st. Bakinskaya, 121, Astrakhan, 414000, Russia, yasen\_9@mail.ru

<sup>2</sup> Center of Hygiene and Epidemiology in the Astrakhan region, st. Admirala Nakhimova, 207B, Astrakhan, 414018, Russia

Currently, there is great interest aimed at studying the biological effects of fatty acids, namely monounsaturated and polyunsaturated, which are a source of energy and the main components of cell membrane phospholipids, and also have a diverse biological effect, which indicates their high potential for use not only in nutraceutical, but also pharmacological purposes. In this connection, the purpose of this study was to determine the total content of phospholipids and the component composition of fatty acids of nuts and seeds of plants. The lipid concentration was determined by the phosphorus content of Spirin by the spectrophotometric method. During the study, it was found that the largest amount of lipids is extracted from walnuts (67.21%) and pumpkin seeds (54.65%), while the smallest amount is extracted from almonds (24.75%). It was found that the content of linoleic acid in phospholipid and triglyceride fractions ranges from 25 to 60% and from 14 to 30%, respectively. Fractions from castor seeds were a source of  $\gamma$ -linolenic acid. The main acids that formed phospholipid concentrates are linoleic acid (from 25 to 60%);  $\alpha$ -linolenic acid (up to 16%) oleic acid accounts for from 20 to 60%. It was found that the isolated phospholipid fractions have a full-fledged composition of fatty acids in the optimal ratio.

**Keywords:** fatty acids, polyunsaturated fatty acids, phospholipids, gas chromatography.

**For citing:** Genatullina G.N., Kalyatkina V.P., Baeva G.R., Tsibizova A.A., Yasenyavskaya A.L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 264–271. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315154>.

### References

1. De Carvalho C.C., Caramujo M.J. *Molecules*, 2018, vol. 23, no. 10, 2583. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>.
2. Hardy S., St-Onge G.G., Joly E., Langelier Y., Prentki M. *J. Biol. Chem.*, 2005, vol. 280, no. 14, pp. 13285–13291. <https://doi.org/10.1074/jbc.M410922200>.
3. Wang J., Luo T., Li S., Zhao J. *The drug is Divided*, 2012, vol. 9, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1517/17425247.2011.618183>.
4. Simopoulos A.P. *Experimental biology and medicine*, 2008, vol. 233, no. 6, pp. 674–688. <https://doi.org/10.3181/0711-MR-311>.
5. Zaini R.K., Kium Y.S. *Life Sciences*, 2018, vol. 203, pp. 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>.
6. Fatima S., Hu H., Gong R.H., Huan K., Chen M., Wong H.L.H., Kwan H.Y. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2019, vol. 76, pp. 2547–2557. <https://doi.org/10.1007/s0018-019-03092-7>.
7. Harayama T., Shimizu T. *Journal of lipid research*, 2020, vol. 61, no. 8, pp. 1150–1160. <https://doi.org/10.1194/jlr.R120000800>.
8. Das U.N. *Journal of Advanced Studies*, 2018, vol. 11, pp. 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.01.001>.
9. Chanda V., Joseph T., Guo S.F., Wang V.D., Liu M., Voi M.S., Zhang M.T. *Journal of Zhejiang University – Science B*, 2018, vol. 19, no. 4, 253. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1700063>.
10. Shibabau T. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2021, vol. 476, no. 2, pp. 993–1003. <https://doi.org/10.1007/s11010-020-03965-7>.
11. Djuricic I., Calder P.C. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 7, 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>.
12. Asefy Z., Tanomand A., Hoseinnezhad S., Ceferov Z., Oshaghi E.A., Rashidi M. *Molecular Biology Reports*, 2021, vol. 48, pp. 2909–2916. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06319-8>.
13. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. *Asian journal of pharmaceutical sciences*, 2015, vol. 10, no. 2, pp. 81–98. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2014.09.004>.
14. Singh R.P., Gangadharappa H.V., Mruthunjaya K. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2017, vol. 39, pp. 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2017.03.027>.
15. Klek S. *Journal of clinical medicine*, 2016, vol. 5, no. 3, 34. <https://doi.org/10.3390/jcm5030034>.
16. Calder P.C., Waitzberg D.L., Klek S., Martindale R.G. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 2020, vol. 44, pp. S21–S27. <https://doi.org/10.1002/jpen.1756>.
17. Saini R.K., Prasad P., Sreedhar R.V., Akhilender Naidu K., Shang X., Keum Y.S. *Antioxidants*, 2021, vol. 10, no. 10, 1627. <https://doi.org/10.3390/antiox10101627>.
18. Qi B., Fraser T., Mugford S., Dobson G., Sayanova O., Butler J., Napier J.A., Stobart A.K., Lazarus C.M. *Nat. Biotechnol.*, 2004, vol. 22, no. 6, pp. 739–745. <https://doi.org/10.1038/nbt972>.
19. Calder P.C. *Journal of parenteral and enteral nutrition*, 2015, vol. 39, pp. 18S–32S. <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>.
20. Lisovaya Ye.V., Lisovoy V.V., Viktorova Ye.P. *Novyye tekhnologii*, 2020, vol. 16, no. 5, pp. 28–33. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-5-28-33>. (in Russ.).
21. Fauland A., Trötzmüller M., Eberl A., Afuni-Zadeh S., Köfeler H., Guo X., Lankmayr E. *J. Sep. Sci.*, 2013, vol. 36, no. 4, pp. 744–751. <https://doi.org/10.1002/jssc.201200708>.
22. Yashodhara B.M., Umakanth S., Pappachan J.M., Bhat S.K., Kamath R., Choo B.H. *Postgrad. Med. J.*, 2009, vol. 85, no. 1000, pp. 84–90. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2008.073338>.

\* Corresponding author.

23. McCusker M.M., Grant-Kels J.M. *Clin. Dermatol.*, 2010, vol. 28, no. 4, pp. 440–451. <https://doi.org/10.1016/j.cldermatol.2010.03.020>.
24. Hashemi F.S., Farzadnia F., Aghajani A., Ahmadzadeh NobariAzar F., Pezeshki A. *Food Science & Nutrition*, 2020, vol. 8, no. 8, pp. 4185–4195. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1712>.
25. Alavi M., Karimi N., Safaei M. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 3–9. <https://doi.org/10.15171/apb.2017.002>.

Received May 4, 2024

Revised December 16, 2024

Accepted May 14, 2025

### Сведения об авторах

Генатуллина Гузель Наилевна – кандидат биологических наук, заместитель руководителя научно-исследовательского центра, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, genatullina@mail.ru

Каляткина Валентина Петровна – врач по санитарно-гигиеническим лабораторным исследованиям, valentina.kalyatkina71@gmail.com

Баева Гюзель Ренатовна – научный сотрудник научно-исследовательского центра, guzel.baeva@mail.ru

Цибизова Александра Александровна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, sasha3633@yandex.ru

Ясениявская Анна Леонидовна – доктор медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского центра, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, yasen\_9@mail.ru

### Information about authors

Genatullina Guzel Nailevna – candidate of biological sciences, deputy head of the research center, associate professor of the department of pharmacognosy, pharmaceutical technology and biotechnology, genatullina@mail.ru

Kalyatkina Valentina Petrovna – doctor of sanitary and hygienic laboratory research, valentina.kalyatkina71@gmail.com

Baeva Guzel Renatovna – research fellow of the research center, guzel.baeva@mail.ru

Tsibizova Alexandra Alexandrovna – candidate of pharmaceutical sciences, associate professor of the department of pharmacognosy, pharmaceutical technology and biotechnology, sasha3633@yandex.ru

Yasenyavskaya Anna Leonidovna – doctor of medical sciences, associate professor, head of the research center, associate professor of the department of pharmacognosy, pharmaceutical technology and biotechnology, yasen\_9@mail.ru