

Научная статья

УДК 621.892.3

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-77-87>



Специализированная липидная композиция для профилактики гиперлипидемии и ожирения

А.В. Табакаев^{*.*.*✉}, О.В. Табакаева^{*}, М.Ю. Щелканов^{*.*.*}

^{*}Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Российская Федерация

^{**}Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова, г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В современном мире алиментарно-зависимые социально значимые заболевания, в частности ожирение и гиперлипидемия, приобрели масштабы эпидемии, требующей значительных усилий и средств для снижения потерь. Более эффективным и целесообразным является профилактика данных заболеваний, в том числе и с применением специализированных липидных композиций. Цель представленного исследования заключалась в разработке специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения. Используемый метод – купажирование растительных масел и стабилизация природным антиоксидантом с целью повышения устойчивости при хранении. Жирнокислотный состав специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения исследован методом газожидкостной хроматографии, органолептические, физико-химические показатели определены стандартными методами. Устойчивость при хранении оценивалась по перекисному и кислотному числам. В качестве компонентов использованы соевое, низкоэруковое рапсовое, льняное и рыжиковое масла, а также масло микроводорослей *Schizochytrium* sp. Антиоксидантом служил масляный экстракт ксантофиллов из бурой морской водоросли Дальневосточного региона – *Sargassum miyabei*. Специализированные липидные композиции на основе соевого масла характеризуются более высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, чем на основе низкоэрукового рапсового (72,93–76,25% против 60,71–66,64%). По органолептическим и физико-химическим показателям разработанные специализированные липидные композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения соответствовали требованиям нормативной документации. Введение в состав специализированных липидных композиций масляного экстракта ксантофиллов из бурой водоросли *Sargassum miyabei* позволило существенно увеличить стабильность в хранении (6 месяцев вместо 3 месяцев контроля).

Ключевые слова: специализированная липидная композиция, омега-6/омега-3 жирные кислоты, ксантофиллы, ожирение, гиперлипидемия, профилактика

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект 22-76-00008).

Для цитирования: Табакаев А.В., Табакаева О.В., Щелканов М.Ю. Специализированная липидная композиция для профилактики гиперлипидемии и ожирения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. N 1. С. 77–87. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-77-87>.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity

Anton V. Tabakaev^{*.*.*✉}, Oksana V. Tabakaeva^{*}, Mikhail Yu. Shchelkanov^{*.*.*}

^{*}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

^{**}G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. Today, alimentary-associated socially significant diseases, such as hyperlipidemia and obesity, have reached epidemic proportions, thus requiring significant healthcare resources to combat the consequences. Prevention of these diseases, including by using specialized lipid compositions, seems to be a more effective and feasible approach. In this work, specialized lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity are developed. The research was based on blending vegetable oils followed by stabilization with a natural antioxidant to increase the shelf life. The fatty acid composition of the obtained lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity was studied by gas-liquid chromatography; the organoleptic, physical, and chemical parameters were determined by conventional methods. The shelf life was evaluated by peroxide and acid number. Soybean, low-erucic rapeseed, linseed, and camelina oils, as well as *Schizochytrium* sp. microalgae oil, were used. An oil extract of xanthophylls from *Sargassum miyabei* – a brown alga from the Far East region – was used as an

© Табакаев А.В., Табакаева О.В., Щелканов М.Ю., 2023

antioxidant. The lipid compositions based on soybean oil were characterized by a higher content of polyunsaturated fatty acids compared to those based on low-erucic rapeseed oil (72.93–76.25% vs. 60.71–66.64%). In terms of organoleptic and physicochemical parameters, the developed lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity meet the requirements of regulatory documentation. The introduction of an oil extract of xanthophylls from the *Sargassum miyabei* brown alga significantly increased the shelf life of the studied compositions (6 months compared to 3 months of control).

Keywords: specialized lipid composition, omega-6/omega-3 fatty acids, xanthophylls, obesity, hyperlipidemia, prevention

Funding. The work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project 22-76-00008).

For citation: Tabakaev A.V., Tabakaeva O.V., Shchelkanov M.Yu. Lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023;13(1):77-87. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-1-77-87>.

ВВЕДЕНИЕ

По последним оценкам ВОЗ, более 1 млрд человек в мире имеет лишний вес. Эта проблема актуальна независимо от социальной и профессиональной принадлежности, зоны проживания, возраста и пола. В экономически развитых странах почти 50% населения имеет избыточный вес, из них 30% страдает ожирением. С каждым годом увеличивается число детей и подростков, страдающих ожирением. ВОЗ рассматривает ожирение как глобальную эпидемию, охватывающую миллионы людей¹ [1]. Абсолютно точно доказана связь между ожирением и такими угрожающими жизни заболеваниями, как сахарный диабет 2-го типа, артериальная гипертензия, атеросклероз, некоторые виды злокачественных опухолей, нарушения репродуктивной функции, заболевания ЖКТ и опорно-двигательного аппарата. Также к числу наиболее распространенных у человека форм патологии липидного обмена, кроме ожирения, относят гиперлипидемию, являющуюся причиной сердечно-сосудистых заболеваний, в частности атеросклероза [2]. Лечение ожирения и гиперлипидемии является консервативным, основу составляет диетотерапия, в которой одна из рекомендаций – контроль за количеством и качественным составом жира в диете (рекомендуется ограничение количества жира до 30% и менее от общей калорийности рациона за счет преимущественного использования низкожировых и обезжиренных продуктов при обеспечении в диете равного соотношения между насыщенными, моно- и полиненасыщенными жирными кислотами) [3]. Несмотря на то, что в диетотерапии ожирения рекомендуется снижение потребления жиров (гиполипидемическая диета), необходимо учитывать важность липидов и их необходимость для метаболизма, кроме того, часто людям с избыточной массой тела и ожирением психологически сложно существенно или полностью ограничить себя в потреблении привычных и любимых продуктов с высоким содержанием жира. Одним из методов решения данной проблемы является создание специализированных пищевых систем с модифи-

цированными профилями, способными корректировать массу тела и влиять на липидный обмен с учетом высокого уровня восприятия целевой группой потребителей (людей с избыточной массой тела и гиперлипидемией). Создание безопасных и качественных, в том числе функциональных и специализированных, продуктов питания будет способствовать снижению потерь от социально значимых заболеваний, к которым относится ожирение и гиперлипидемия.

Растительные масла являются продуктами массового и практически ежедневного потребления, т.к. содержат вещества, необходимые для метаболизма человека, – жирорастворимые витамины, незаменимые жирные кислоты, стерины, другие биологически активные вещества (БАВ). Использование растительных жиров заметно увеличилось в связи с развитием новых технологий, позволяющих получать новые виды растительных масел, в том числе и из нетрадиционного сырья.

Традиционные широко распространенные растительные масла характеризуются несбалансированным жирнокислотным составом с преобладанием отдельных жирных кислот, что позволяет относить их к определенной группе, в частности такие масла, как оливковое, высокоолеиновое подсолнечное, относятся к олеиновой группе, т.к. характеризуются высоким содержанием олеиновой кислоты. Подсолнечное, кукурузное, конопляное и другие виды масел относятся к линолевой группе с преобладанием омега-6 линолевой кислоты. Льняное, низкоэруковое рапсовое, рыжиковое, горчичное, соевое и другие виды масел относятся к линоленовой группе с повышенным содержанием α -линоленовой (омега-3) кислоты².

Отдельные представители жирных кислот, такие как среднецепочечные жирные кислоты (высшие жирные карбоновые кислоты с числом углеродных атомов от 12 до 14), моно- и полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) групп омега-6 (линолевая, γ -линоленовая, арахидоновая кислоты) и омега-3 (α -линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая кислоты), являются функциональными ингредиентами³. Моно- и полиненасыщенные жирные кисло-

¹Obesity and overweight // World Health Organization. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (29.01.2023).

²Бурункова Ю.Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: учебно-методическое пособие. СПб.: ИТМО, 2020. 82 с.

³ГОСТ Р 54059-2010. Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

ты оказывают функциональное действие на липидный обмен, в частности влияют на поддержание уровня триацилглицеринов в крови и поддержание уровня общего холестерина и липопротеинов высокой и низкой плотности в крови, что важно для людей с гиперлипидемией. Полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 влияют на метаболизм углеводов путем поддержания уровня глюкозы и инсулина в крови, что значимо для людей с ожирением и сахарным диабетом. Среднецепочечные жирные кислоты принимают участие в метаболизме питательных веществ, активизируя метаболизм липидов и липолиз³, что важно для людей с гиперлипидемией и ожирением.

Однако, кроме жирнокислотного состава индивидуального масла, должно учитываться и соотношение омега-6/омега-3 жирных кислот. Несбалансированность данного соотношения ПНЖК является фактором риска многих алиментарно-зависимых заболеваний, в том числе гиперлипидемии и ожирения. Оптимальным соотношением омега-3/омега-6 жирных кислот считается 1:2–1:5. Специализированные пищевые системы с высоким содержанием длинноцепочечных ПНЖК семейства омега-3 прежде всего линоленовой, докозагексаеновой (ДГК) и эйкозапентаеновой (ЭПК) способны в определенной степени нивелировать избыток насыщенных жиров и ПНЖК семейства омега-6 в питании человека. Таким образом, регулируя содержание ПНЖК семейства омега-3 можно создать специализированные пищевые системы с функциональными свойствами для профилактики гиперлипидемии и ожирения [4–8].

В то же время молекулы ПНЖК потенциально являются мишенью перекисного окисления, что негативно сказывается на их биологической активности [9], следовательно, существует целесообразность и необходимость введения в специализированные пищевые системы для профилактики гиперлипидемии и ожирения с высоким уровнем ПНЖК омега-3 эффективных антиоксидантов, в частности каротиноидов.

Биологическая активность каротиноидов научно доказана многочисленными исследованиями [10–16]. Группа каротиноидов является достаточно многочисленной (около 600 представителей), к ней относятся разнообразные по своей структуре вещества. По своему строению каротиноиды делятся на каротины и ксантофиллы. Ксантофиллы – это кето- и различные эпокси- или фураноксипроизводные, а также гидроксипроизводные, синтезируемые при гидроксировании концевых фрагментов молекулы, более распространены, чем каротины. Морские организмы способны синтезировать (водоросли) и накапливать (асцидии, голотурии, двустворчатые моллюски) каротиноиды, преимущественно ксантофиллы. Основным источником каротиноидов среди морских организмов являются водоросли, в основном бурые. Бурые водоросли богаты природными антиоксидантами, в том числе и каротиноидами, в частности фукоксантином и изопреноидами [12]. Именно они могут служить источниками каротиноидов для дальнейшего использования в качестве эффективной добавки в липидную композицию.

Кроме того, существует довольно много исследований, доказывающих, что каротиноиды обладают

способностью оказывать влияние на снижение веса тела [17–19]. Таким образом, введение ксантофиллов бурых водорослей в состав липидной композиции определяется не только антиоксидантной активностью, но и влиянием на метаболические процессы в организме человека [20–23].

Исходя из вышесказанного, разработка специализированных пищевых систем с модифицированным липидным профилем для профилактики гиперлипидемии и ожирения является актуальной задачей. Модификация липидного профиля производится за счет изменения жирнокислотного состава в сторону увеличения содержания ПНЖК омега-3 с учетом соотношения омега-3/омега-6, а также за счет введения ксантофиллов бурых водорослей (фукоксантина, фукоксантинола) как антиоксидантов и метаболически активных соединений.

Целью работы являлась разработка специализированных липидных композиций для профилактики ожирения и гиперлипидемии заданного жирнокислотного состава и отношения семейств омега-6/омега-3, фортифицированных ксантофиллами из морских бурых водорослей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве источника каротиноидов (ксантофиллов) использован таллом (слоевище) бурой водоросли *Sargassum miyabei* Yendo, относящейся к классу Cyclosporoophyceae, порядку Fucales Kylin, семейству Sargassaceae (Decne) Kutz. Данная водоросль многолетняя, относится к потенциально промышленным видам, масса одного слоевища – до 7 кг. Распространена в Японском и Охотском морях [24]. Масляный экстракт ксантофиллов получали реэкстракцией соевым растительным маслом в течение 8 ч из глицеринового экстракта, извлеченного при использовании в качестве экстрагента 60% глицерина, продолжительность процесса – 8 ч [25].

Содержание ксантофиллов определяли спектрофотометрическим методом. Пигментный комплекс выделяли 100%-м ацетоном. Гомогенат фильтровали через фильтр Шотта при помощи водоструйного насоса. Для полноты извлечения каротиноидов остаток с фильтра переносили в ступку для повторной экстракции еще 5 мл ацетона. Остаток на фильтре промывали ацетоном до обесцвечивания растворителя. Каротиноиды переводили в гексан, смешивая в делительной воронке объединенные ацетоновые экстракты с 5 мл гексана и осторожно добавляя 150 мл 5%-го водного раствора NaCl для разделения гексанового и водного слоев. Экстракт промывали небольшим количеством дистиллированной воды (20–30 мл) для удаления следов ацетона, после чего сушили в течение суток безводным сульфатом натрия. К аликвоте спиртового раствора приливали равное количество 5%-го раствора NaOH в этаноле и ставили в темное место на 12 ч. Каротиноиды реэкстрагировали гексаном, который промывали водой для удаления следов щелочи и высушивали безводным сульфатом натрия. Количественное содержание каротиноидов определяли спектрофотометрически на сканирующем спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке при длине волны 450 нм [26].

Жирнокислотный анализ липидов проводили с помощью ГЖХ-масс-спектрометра (Hewlett Packard 5890, США). Липиды из образца экстрагировали смесью хлороформ-метанол (2:1). Хлороформенную фазу упаривали и обрабатывали 1%-м метилатом натрия при температуре 56 °С в течение 20 мин. Метилловые эфиры жирных кислот экстрагировали хлороформом и анализировали [27, 28].

Органолептические показатели (запах, цвет и прозрачность) специализированной липидной композиции для профилактики ожирения и гиперлипидемии устанавливали стандартными методами⁴.

Определение кислотного числа специализированной липидной композиции для профилактики ожирения и гиперлипидемии осуществляли нейтрализацией свободных жирных кислот, содержащихся в навеске, спиртовым раствором гидроксида натрия согласно ГОСТ 31933-2012⁵, определение массовой доли фосфорсодержащих веществ – по ГОСТ 31753-2012⁶, содержание влаги и летучих веществ устанавливали по ГОСТ 11812-66⁷, перекисное число – по ИСО 3960:2007⁸, анизидиновое число – по ГОСТ 31756-2012⁹.

Все исследования проводили в 3-кратной повторности. Экспериментальные данные представлены в виде $M \pm m$. Статистическую обработку осуществляли с использованием пакетов прикладных статистических программ Excel, Statistica 7.0. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента при 95%-м уровне значимости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Методом получения специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения выбрано купажирование растительных ма-

сел с учетом заданного соотношения омега-3/омега-6 с последующей стабилизацией ксантофиллами бурой водоросли *Sargassum miyabei*. Использование купажирования растительных масел как метода коррекции недостаточности ПНЖК и несбалансированности соотношения омега-3/омега-6 с целью профилактики гиперлипидемии и ожирения является эффективным и оправданным с учетом массовости потребления данных пищевых систем. В качестве основы для купажирования выбраны соевое и низкоэруковое рапсовое масла. К дополнительным добавкам относятся масло микроводорослей *Schizochytrium* sp., которое является источником эссенциальных ЭПК и ДГК, а также нетрадиционные растительные масла – льняное, рыжиковое (в качестве источников омега-3 жирных кислот). Жирнокислотный состав выбранных индивидуальных масел, определенных экспериментально, представлен в табл. 1.

Нетрадиционные растительные масла – льняное, рыжиковое и масло микроводорослей *Schizochytrium* sp. – характеризуются высоким содержанием ПНЖК, однако оно обеспечивается разными жирными кислотами. В льняном и рыжиковом маслах преобладающей кислотой является α -линоленовая, что согласуется с результатами других исследований [29, 30]. Соотношение кислот омега-6 и омега-3 в данных маслах является оптимальным, однако отсутствуют ЭПК и ДГК. Соевое масло характеризуется достаточно высоким содержанием ПНЖК, в отличие от низкоэрукового рапсового, в основном за счет линолевой кислоты, однако соотношение кислот омега-6 и омега-3 в нем далеко от оптимального. Низкоэруковое рапсовое масло демонстрирует минимальное содержание ПНЖК, полученные результаты согласуются с литера-

Таблица 1. Жирнокислотный профиль индивидуальных растительных масел

Table 1. Fatty acid profile of individual vegetable oils

Кислота Масло	Линолевая	α -линоленовая	γ -линоленовая	ЭПК	ДГК	Общее содержание ПНЖК	ω -6	ω -3	Соотношение $\omega/6:\omega/3$
	Массовая доля, %								
Соевое	48,7 \pm 2,12	9,4 \pm 0,37	3,1 \pm 0,14	н/о*	н/о	61,2 \pm 2,84	51,8 \pm 2,26	9,4 \pm 0,40	1:0,18
Низкоэруковое рапсовое	20,6 \pm 0,69	9,6 \pm 0,40	1,0 \pm 0,09	н/о	н/о	31,2 \pm 1,27	21,6 \pm 0,84	9,6 \pm 0,38	1:0,48
Льняное	28,3 \pm 1,15	42,1 \pm 1,86	20,4 \pm 1,05	н/о	н/о	90,8 \pm 4,21	48,7 \pm 2,31	42,1 \pm 2,03	1:0,86
Рыжиковое	18,9 \pm 0,76	41,3 \pm 1,97	30,2 \pm 1,17	н/о	н/о	90,4 \pm 4,18	49,1 \pm 2,27	41,3 \pm 2,05	1:0,84
Микроводорослей <i>Schizochytrium</i> sp.	10,3 \pm 0,43	5,7 \pm 0,21	1,6 \pm 0,07	11,5 \pm 0,48	61,0 \pm 2,76	90,1 \pm 4,09	11,9 \pm 0,48	78,2 \pm 3,54	1:6,57

Примечание. * – не определялось.

⁴ГОСТ 5472-50. Масла растительные. Определение запаха, цвета и прозрачности. М.: Изд-во «Стандарт», 1950. 12 с.

⁵ГОСТ 31933-2012. Масла растительные. Методы определения кислотного числа. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.

⁶ГОСТ 31753-2012. Масла растительные. Методы определения фосфорсодержащих веществ. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.

⁷ГОСТ 11812-66. Масла растительные. Методы определения влаги и летучих веществ. М.: Изд-во «Стандарт», 1966. 11 с.

⁸ИСО 3960:2007. Жиры и масла животные и растительные. Определение перекисного числа. Йодометрическое (визуальное) определение по конечной точке. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.

⁹ГОСТ 31756-2012 (ISO 6885:2006). Жиры и масла животные и растительные. Определение анизидинового числа. М.: Стандартинформ, 2014. 13 с.

турными данными [31, 32]. В масле микроводорослей *Schizochytrium* sp. преобладающими ПНЖК являются ЭПК и ДГК.

Модификация липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения проводилась с учетом потребностей организма человека в липидах и их биологической эффективности¹⁰. Так как кроме жирных кислот метаболически активными веществами, способными влиять на ожирение и гиперлипидемию, являются ксантофиллы с алленовыми связями, в частности ксантофиллы бурых водорослей – фукоксантин и его производное фукоксантинол, их вводили в состав специализированной липидной композиции в виде масляного экстракта, получаемого методом реэкстракции растительным маслом из спиртового (глицеринового) раствора из бурой водоросли *Sargassum miyabei*. Согласно литературным данным, потребление 2,4–3,0 мг фукоксантина в день способствовало значительному снижению веса и содержания жира в организме [33]. Исходя из этого, было определено необходимое содержание

фукоксантина – 2,5–3,0 мг в 100 мл специализированной липидной композиции.

Разработано 6 модельных специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения, состав которых представлен в табл. 2. В качестве контроля определена система, включающая все использованные растительные масла и не содержащая масляный экстракт ксантофиллов из *Sargassum miyabei*.

Все специализированные липидные композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения в качестве компонента включали масло микроводорослей *Schizochytrium* sp. как источник ДГК и ЭПК. Рассматривались 3 и 4-компонентные системы, в которых основой являлось одно из традиционных масел – соевое или низкоэруковое рапсовое. Нетрадиционные масла – льняное и рыжиковое – вводились индивидуально или совместно.

Содержание основных эссенциальных кислот и ксантофиллов в специализированных липидных композициях для профилактики гиперлипидемии и ожирения представлено в табл. 3.

Таблица 2. Содержание основных компонентов в специализированных липидных композициях для профилактики гиперлипидемии и ожирения

Table 2. Main components content in modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity

Компонент специализированных липидных композиций	Модельная система						Контроль
	1	2	3	4	5	6	
	Массовая доля, %						
Масло низкоэруковое рапсовое	55	40	35	–	–	–	20
Масло микроводорослей <i>Schizochytrium</i> sp.	5	5	5	5	5	5	5
Масло льняное	30	–	20	20	–	40	20
Масло рыжиковое	–	45	25	20	35	–	20
Масло соевое	–	–	–	45	50	45	35
Экстракт ксантофиллов из бурой водоросли <i>Sargassum miyabei</i>	10	10	10	10	10	10	–

Таблица 3. Содержание основных эссенциальных кислот в специализированных липидных композициях для профилактики гиперлипидемии и ожирения

Table 3. Essential acids content in modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity

Специализированная липидная композиция	Линолевая*	α-линоленовая*	γ-линоленовая*	ЭПК*	ДГК*	Общее содержание ПНЖК*	ω-6*	ω-3*	Соотношение ω/6:ω/3*	Содержание ксантофиллов**
1	23,1	19,7	14,9	0,58	2,43	60,71	38,0	22,71	1:0,6	2,9
2	20,5	24,2	19,0	0,61	2,33	66,64	39,5	27,14	1:0,69	2,8
3	18,1	24,1	16,9	0,57	2,45	64,82	35,0	27,12	1:0,77	2,9
4	37,6	20,6	15,1	0,65	2,30	76,25	52,7	23,55	1:0,45	2,7
5	37,3	19,4	15,2	0,56	2,47	72,93	52,5	22,43	1:0,43	2,8
6	39,2	19,2	12,1	0,63	2,34	73,47	51,3	22,27	1:0,43	2,6
Контроль	30,6	22,8	14,9	0,60	2,45	71,35	45,5	25,85	1:0,76	–

Примечание. * – г/100 г; ** – мг/100 мл.

¹⁰МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (29.01.2023).

Результаты исследования жирнокислотного профиля специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения, представленные в табл. 3, демонстрируют, что использование в качестве основы соевого масла позволяет получать системы с содержанием линолевой кислоты в 1,61–2,17 раза больше, чем при использовании низкоэрукового рапсового масла. По содержанию α -линоленовой жирной кислоты максимальным значением характеризуются модельные системы 2 и 3. ЭПК и ДГК содержатся приблизительно в одинаковом количестве, т.к. массовая доля их источника в рецептуре специализированных липидных композиций одинаковая. Общее содержание ПНЖК более высокое в системах 4, 5, 6 (на основе соевого масла) за счет высокого содержания линолевой кислоты, что отражается и в значениях жирных кислот семейства омега-6. Жирные кислоты семейства омега-3 в специализированных липидных композициях для профилактики гиперлипидемии и ожирения представлены максимально в композициях 2, 3, однако их содержание во всех системах различается друг от друга не более чем на 5%. Соотношение жирных кислот семейств омега-6/омега-3 является более оптимальным для специализированных липидных композиций 1–3 (на основе рапсового масла). Содержание ксантофиллов во всех модельных системах приближено к заданному.

Специализированные липидные композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения предполагается использовать в качестве индивидуальных пищевых специализированных систем (растительные масла) либо в качестве компонента масложировых эмульсионных систем. Исходя из этого, немаловажным вопросом является оценка их качества, в частности органолептические и физико-химические показатели. Органолептические показатели специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения представлены в табл. 4. В качестве контроля использована липидная композиция, не содержащая экстракт ксантофиллов из бурой водоросли *Sargassum miyabei*.

Органолептические характеристики разработанных специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения не отличались от характеристик традиционных растительных масел, имели характерный цвет и вкус, высокую прозрачность, запах отсутствовал. Представленные данные демонстрируют, что исследованные специализированные липидные композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения имеют традиционные органолептические показатели и соответствуют требованиям нормативной документации^{11,12}.

Физико-химические показатели специализирован-

Таблица 4. Органолептические показатели специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения

Table 4. Organoleptic parameters of modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity

Специализированная липидная композиция	Запах	Вкус	Цвет	Прозрачность
1	Отсутствует	Масла	Светло-желтый	Прозрачное, без осадка
2	Отсутствует	Масла	Ярко-желтый	Прозрачное, без осадка
3	Отсутствует	Масла	Темно-желтый	Прозрачное, без осадка
4	Отсутствует	Масла	Темно-желтый	Прозрачное, без осадка
5	Отсутствует	Масла	Ярко-желтый	Прозрачное, без осадка
6	Отсутствует	Масла	Светло-желтый	Прозрачное, без осадка
Контроль	Отсутствует	Масла	Светло-желтый	Прозрачное, без осадка

Таблица 5. Физико-химические показатели специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения

Table 5. Physico-chemical parameters of modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity

Специализированная липидная композиция	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг	Кислотное число, мг КОН	Анизидиновое число, усл. ед.	Массовая доля, %	
				влаги и летучих веществ	фосфорсодержащих веществ
1	2,7±0,11	0,19±0,010	1,02±0,05	0,12±0,06	0,04±0,002
2	2,9±0,12	0,21±0,010	0,98±0,04	0,08±0,004	0,05±0,001
3	2,5±0,10	0,16±0,008	1,16±0,05	0,10±0,05	0,04±0,002
4	3,2±0,15	0,18±0,009	1,09±0,03	0,10±0,05	0,03±0,001
5	3,3±0,16	0,15±0,007	0,90±0,02	0,11±0,05	0,02±0,001
6	3,0±0,13	0,22±0,011	1,10±0,03	0,10±0,05	0,04±0,002
Контроль	3,4±0,15	0,25±0,020	1,20±0,06	0,13±0,06	0,04±0,002

¹¹ГОСТ 31760-2012. Масло соевое. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 18 с.

¹²ГОСТ 31759-2012. Масло рапсовое. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

ных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения представлены в табл. 5.

Физико-химические показатели специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения после получения незначительно отличаются друг от друга по массовой доле влаги и летучих веществ, а также фосфорсодержащих веществ. Показатели, характеризующие процессы гидролиза и окисления (перекисное, кислотное и анидиновое числа), имеют определенные различия, обусловленные в первую очередь качеством индивидуальных растительных масел, использованных при создании модельных систем. В целом все физико-химические показатели специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения не выходят за рамки нормативных требований.

Жирнокислотный состав разработанных специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения характеризуется значительным содержанием высококонцепельных ПНЖК, являющихся веществами с высокой окислительной способностью. В то же время ксантофиллы бурых водорослей относятся к эффективным антиоксидантам, способным тормозить процессы свободнорадикального окисления. На рис. 1 представлена динамика окисления липидов специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения.

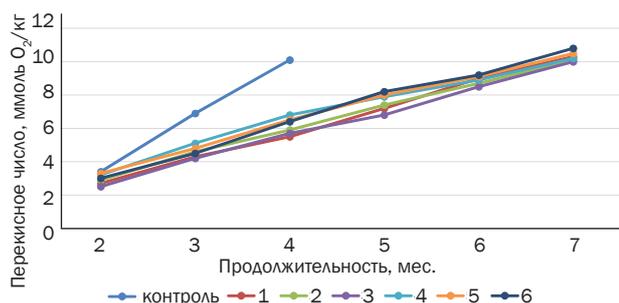


Рис. 1. Динамика окисления липидов специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения (номера специализированных липидных композиций соответствуют данным табл. 2)

Fig. 1. Dynamics of lipid oxidation of modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity (the numbers of specialized lipid compositions correspond to table 2)

Изменения перекисного числа липидов демонстрируют, что контрольный образец достаточно быстро подвергается окислению с накоплением первичных продуктов – перекисей и гидроперекисей – и достигает нормативного значения 10 ммоль O_2 /кг после 4-х месяцев хранения за счет содержания высококонцепельных ПНЖК – ЭПК и ДГК. В то же время динамика окисления всех специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения характеризуется более низкой скоростью, перекисное число изменяется гораздо медленнее и достигает нормативного значения 10 ммоль O_2 /кг на 7-й месяц хранения, что позволяет установить срок хранения 6 месяцев. Такая динамика окисления объясняется наличием в специализированных липидных

композициях для профилактики гиперлипидемии и ожирения эффективных антиоксидантов – ксантофиллов из бурой водоросли *Sargassum miyabei*.

Кроме перекисного числа, важным показателем качества липидов является кислотное число, демонстрирующее глубину процессов гидролиза ацилглицеринов. Динамика гидролиза липидов специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения представлена на рис. 2.

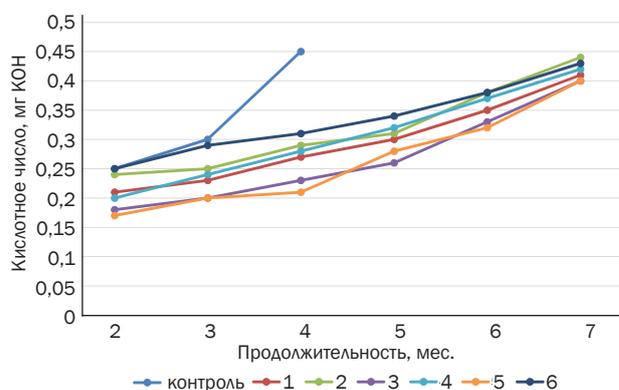


Рис. 2. Динамика гидролиза липидов специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения (номера специализированных липидных композиций соответствуют данным табл. 2)

Fig. 2. Dynamics of lipid hydrolysis of modified lipid compositions for the prevention of hyperlipidemia and obesity (the numbers of specialized lipid compositions correspond to table 2)

Введение антиоксиданта (масляный экстракт ксантофиллов из бурой водоросли *Sargassum miyabei*) в состав специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения позволяет существенно замедлить процессы гидролиза ацилглицеринов, что демонстрирует сравнение кислотного числа опытных и контрольного образцов. Гидролиз ацилглицеринов модифицированного липидного модуля для профилактики гиперлипидемии и ожирения протекает наиболее интенсивно после 3-х месяцев хранения, в течение 7 месяцев кислотное число превышает нормативное значение 0,4 мг КОН, что позволяет определить сроком хранения 6 месяцев. Для контрольного образца срок хранения составляет 3 месяца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы. Использование низкоэрукового рапсового масла в качестве основы купажа дает возможность создавать специализированные липидные композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения с лучшим соотношением жирных кислот семейств омега-6/омега-3. Специализированные липидные композиции на основе соевого масла характеризуются более высоким содержанием ПНЖК, чем на основе низкоэрукового рапсового (72,93–76,25% против 60,71–66,64%). По органолептическим и физико-химическим показателям разработанные специализированные липидные

композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения соответствуют всем требованиям нормативной документации. Окисление и гидролиз разработанных специализированных липидных композиций для профилактики гиперлипидемии и ожирения протекают более медленно в сравнении с контролем, что доказывает изменения перекисного и кислотно-

го чисел. Введение в состав специализированной липидной композиции для профилактики гиперлипидемии и ожирения масляного экстракта ксантофиллов из бурой водоросли Дальневосточного региона *Sargassum miyabei* позволяет существенно увеличить стабильность в хранении (6 месяцев вместо 3 месяцев контроля).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kelly T., Yang W., Chen C.S., Reynolds K., He J. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030 // *International Journal of Obesity*. 2008. Vol. 32, no. 9. P. 1431–1437.
2. Баланова Ю.А., Шальнова С.А., Деев А.Д., Имаева А.Э., Концевая А.В., Муромцева Г.А. [и др.]. Ожирение в российской популяции – распространенность и ассоциации с факторами риска хронических неинфекционных заболеваний // *Российский кардиологический журнал*. 2018. Т. 23. N 6. С. 123–130. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-123-130>.
3. Драпкина О.М., Самородская И.В., Старинская М.А., Ким О.Т., Неймарк А.Е. Ожирение: оценка и тактика ведения пациентов: коллективная монография. М.: Силиция-Полиграф, 2021. 173 с.
4. Самойлова Ю.Г., Олейник О.А., Саган Е.В., Денисов Н.С., Филиппова Т.А., Подчиненова Д.В. Роль полиненасыщенных жирных кислот в протекции сердечно-сосудистых заболеваний у детей, страдающих ожирением // *Современные проблемы науки и образования*. 2019. N 6. С. 189. <https://doi.org/10.17513/spno.29241>.
5. Castaner O., Goday A., Park Y.M., Lee S.-H., Magkos F., Shioh S.-A.T., et al. The gut microbiome profile in obesity: a systematic review // *International Journal of Endocrinology*. 2018. Vol. 2018. P. 4095789. <https://doi.org/10.1155/2018/4095789>.
6. Angelantonio E.D., Bhupathiraju Sh.N., Wormser D., Gao P., Kaptoge S., Gonzalez A.B., et al. Body-mass index and all-cause mortality: individual participant-data-meta-analysis of 239 prospective studies in four continents // *Lancet*. 2016. Vol. 388. P. 776–786. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30175-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30175-1).
7. Denke M.A. Dietary prescriptions to control dyslipidemias // *Circulation*. 2002. Vol. 105, no. 2. P. 132–138. <https://doi.org/10.1161/hc0202.103479>.
8. Сидорова Ю.С., Петров Н.А., Зорин С.Н., Саркисян В.А., Мазо В.К., Кочеткова А.А. Новый функциональный пищевой ингредиент – липидный модуль, источник астаксантина и плазмалогенов // *Вопросы питания*. 2019. Т. 88. N 1. С. 49–56. <https://doi.org/10/24411/0042-8833-2019-10005/>.
9. Погожева А.В. Основы рациональной диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях // *Клиническая диетология*. 2004. Т. 1. N 2. С. 17–29.
10. Gaurav R. In-vitro antioxidant properties of lipophilic antioxidant compounds from 3 brown seaweed // *Antioxidants*. 2019. Vol. 12, no. 8. P. 596–603. <https://doi.org/10.3390/antiox8120596>.
11. Gerasimenko N.I., Martyyas E.A., Busarova N.G. Composition of lipids and biological activity of lipids and photosynthetic pigments from algae of the families Laminariaceae and Alariaceae // *Chemistry of Natural Compounds*. 2012. Vol. 48. P. 737–741. <https://doi.org/10.1007/s10600-012-0371-5>.
12. Bonet M.L., Canas J.A., Ribot J., Palou A. Carotenoids and their conversion products in the control of adipocyte function, adiposity and obesity // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2015. Vol. 572. P. 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.02.022>.
13. Jesumani V., Du H., Aslam M., Pei P., Huang N. Potential use of seaweed bioactive compounds in skincare // *Marine Drugs*. 2019. Vol. 12, no. 17. P. 688. <https://doi.org/10.3390/md17120688>.
14. Fernández-García E., Carvajal-Lérida I., Jarén-Galán M., Garrido-Fernández J., Pérez-Gálvez A., Hornero-Méndez D. Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities // *Food Research International*. 2012. Vol. 46, no. 2. P. 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.007>.
15. Sharoni Y., Linnewiel-Hermoni K., Khanin M., Salman H., Veprik A., Danilenko M., et al. Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: a review // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2012. Vol. 56, no. 2. P. 259–269. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100311>.
16. Meyers K.J., Mares J.A., Igo R.P., Truitt B., Liu Z., Millen A.E., et al. Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS) // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2014. Vol. 55, no. 1. P. 587–599. <https://doi.org/10.1167/iov.13-13216>.
17. Seca A.M., Pinto D.C. Overview on the antihypertensive and anti-obesity effects of secondary metabolites from seaweeds // *Marine Drugs*. 2018. Vol. 7, no. 16. P. 237. <https://doi.org/10.3390/md16070237>.
18. Rodriguez-Concepcion M., Avalos J., Bonet M.L., Boronat A., Gomez-Gomez L., Hornero-Mendez D., et al. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health // *Progress in Lipid Research*. 2018. Vol. 70. P. 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>.
19. Mounien L., Tourniaire F., Landrier J.-F. Anti-obesity effect of carotenoids: direct impact on adipose tissue and adipose tissue-driven indirect effects // *Nutrients*. 2019. Vol. 11. P. 1562. <https://doi.org/10.3390/nu11071562>.
20. Takaichi S. Carotenoids in algae: distributions, biosyntheses and functions // *Marine Drugs*. 2011. Vol. 6, no. 9. P. 1101–1118. <https://doi.org/10.3390/md9061101>.
21. Kumar S.R., Hosokawa M., Miyashita K. Fucoxanthin: a marine carotenoid exerting anti-cancer effects by a effecting multiple mechanisms // *Marine*

Drugs. 2013. Vol. 12, no. 11. P. 5130–5147. <https://doi.org/10.3390/md11125130>.

22. Pangestuti R., Siahaan E.A. Seaweed-derived carotenoids // *Bioactive Seaweeds for Food Applications*. Amsterdam: Elsevier, 2018. P. 95–107. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00005-4>.

23. Sharifuddin Y., Chin Y.X., Lim P.E., Phang S.M. Potential bioactive compounds from seaweed for diabetes management // *Marine Drugs*. 2015. Vol. 8, no. 13. P. 5447–5491. <https://doi.org/10.3390/md13085447>.

24. Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. Владивосток: ТИПРО-центр, 2006. 243 с.

25. Пат. N 2776649, Российская Федерация, A23L 33/105, C11B 1/10. Способ получения ксантофиллов из *Sargassum miyabei* / А.В. Табакаев, О.В. Табакаева; заявитель и патентообладатель Дальневосточный федеральный университет. Заявл. 14.03.2022; опубл. 22.07.2022. Бюл. N 21.

26. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids. Isolation and Analysis. Basel: Birkhäuser Verlag, 1995. Vol. 1A. 328 p.

27. Новак И.С. Количественный анализ методом газовой хроматографии / пер. с англ. К.И. Сакодынского. М.: Мир, 1978. 180 с.

28. Carreau J.P., Dubacq J.P. Adaptation of a macro-

scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // *Journal of Chromatography A*. 1978. Vol. 151, no. 3. P. 384–390. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)88356-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)88356-9).

29. Сизова Н.В., Пикулева И.В., Чикунова Т.М. Жирнокислотный состав масла *Camelina sativa* (L.) Crantz и выбор оптимального антиоксиданта // *Химия растительного сырья*. 2003. N 2. С. 27–31.

30. Пилипенко Т.В., Голушанян А.П., Калиенко Е.А., Мирзоян А.А. Состав и свойства льняного масла как ингредиента косметических средств // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014. N 103. С. 687–697.

31. Халипский А.Н., Ведров Н.Г., Рябцев А.А. Жирнокислотный состав растительного масла сортов ярового рапса в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2015. N 3. С. 90–94.

32. Хамракулова М.Х., Иброхимова Ф.Э. Изучение местного рапсового масла для пищевой цели // *Universum: технические науки*. 2021. N 3.

33. Beppu F., Hosokawa M., Niwano Y., Miyashita K. Effects of dietary fucoxanthin on cholesterol metabolism in diabetic/obese KK-A y mice // *Lipids in Health and Disease*. 2012. Vol. 11. P. 112–119. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-112>.

REFERENCES

1. Kelly T., Yang W., Chen C.S., Reynolds K., He J. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030. *International Journal of Obesity*. 2008;32(9):1431-1437.

2. Balanova Yu.A., Shalnova S.A., Deev A.D., Imaeva A.E., Kontsevaya A.V., Muromtseva G.A., et al. Obesity in russian population – prevalence and association with the non-communicable diseases risk factors. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2018;23(6):123-130. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-123-130>. (In Russian).

3. Drapkina O.M., Samorodskaya I.V., Starinskaya M.A., Kim O.T., Neimark A.E. *Obesity: evaluation and management of patients: collective monograph*. Moscow: Silitseya-Poligraf; 2021. 173 p. (In Russian).

4. Samoylova Y.G., Oleynik O.A., Sagan E.V., Denisov N.S., Filippova T.A., Podchinenova D.V. The role of polyunsaturated fatty acids in the pathogenesis of cardiovascular diseases in obese children. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2019;(6):189. (In Russian). <https://doi.org/10.17513/spno.29241>.

5. Castaner O., Goday A., Park Y.M., Lee S.-H., Magkos F., Shiow S.-A.T., et al. The gut microbiome profile in obesity: a systematic review. *International Journal of Endocrinology*. 2018;2018:4095789. <https://doi.org/10.1155/2018/4095789>.

6. Angelantonio E.D., Bhupathiraju Sh.N., Wormser D., Gao P., Kaptoge S., Gonzalez A.B., et al. Body-mass index and all-cause mortality: individual participant-data-meta-analysis of 239 prospective studies in four continents. *Lancet*. 2016;388:776-786. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30175-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30175-1).

7. Denke M.A. Dietary prescriptions to control dys-

lipidemias. *Circulation*. 2002;105(2):132-138. <https://doi.org/10.1161/hc0202.103479>.

8. Sidorova Yu.S., Petrov N.A., Zorin S.N., Sarkisyan V.A., Mazo V.K., Kochetkova A.A. New functional food ingredient – lipid module, source of astaxanthine and plasmalogenes. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2019;88(1):49-56. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10005/>.

9. Pogozheva A.V. Fundamentals of rational diet therapy for cardiovascular diseases. *Klinicheskaya dietologiya*. 2004;1(2):17-29. (In Russian).

10. Gaurav R. In-vitro antioxidant properties of lipophilic antioxidant compounds from 3 brown seaweed. *Antioxidants*. 2019;12(8):596-603. <https://doi.org/10.3390/antiox8120596>.

11. Gerasimenko N.I., Martyyas E.A., Busarova N.G. Composition of lipids and biological activity of lipids and photosynthetic pigments from algae of the families Lamnariaceae and Alariaceae. *Chemistry of Natural Compounds*. 2012;48:737-741. <https://doi.org/10.1007/s10600-012-0371-5>.

12. Bonet M.L., Canas J.A., Ribot J., Palou A. Carotenoids and their conversion products in the control of adipocyte function, adiposity and obesity. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2015;572:112-125. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2015.02.022>.

13. Jesumani V., Du H., Aslam M., Pei P., Huang N. Potential use of seaweed bioactive compounds in skin-care. *Marine Drugs*. 2019;12(17):688. <https://doi.org/10.3390/md17120688>.

14. Fernández-García E., Carvajal-Lérida I., Jarén-Galán M., Garrido-Fernández J., Pérez-Gálvez A., Hornero-Méndez D. Carotenoids bioavailability from foods:

from plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International*. 2012;46(2):438-450. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.007>.

15. Sharoni Y., Linnewiel-Hermoni K., Khanin M., Salman H., Veprik A., Danilenko M., et al. Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2012;56(2):259-269. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100311>.

16. Meyers K.J., Mares J.A., Igo R.P., Truitt B., Liu Z., Millen A.E., et al. Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS). *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2014;55(1):587-599. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-13216>.

17. Seca A.M., Pinto D.C. Overview on the antihypertensive and anti-obesity effects of secondary metabolites from seaweeds. *Marine Drugs*. 2018;7(16):237. <https://doi.org/10.3390/md16070237>.

18. Rodriguez-Concepcion M., Avalos J., Bonet M.L., Boronat A., Gomez-Gomez L., Hornero-Mendez D., et al. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*. 2018;70:62-93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>.

19. Mounien L., Tourniaire F., Landrier J.-F. Anti-obesity effect of carotenoids: direct impact on adipose tissue and adipose tissue-driven indirect effects. *Nutrients*. 2019;11:1562. <https://doi.org/10.3390/nu11071562>.

20. Takaichi S. Carotenoids in algae: distributions, biosyntheses and functions. *Marine Drugs*. 2011;6(9):1101-1118. <https://doi.org/10.3390/md9061101>.

21. Kumar S.R., Hosokawa M., Miyashita K. Fucoxanthin: a marine carotenoid exerting anti-cancer effects by a effecting multiple mechanisms. *Marine Drugs*. 2013;12(11):5130-5147. <https://doi.org/10.3390/md11125130>.

22. Pangestuti R., Siahaan E.A. Seaweed-derived carotenoids. In: *Bioactive Seaweeds for Food Applications*. Amsterdam: Elsevier; 2018, p. 95-107. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00005-4>.

23. Sharifuddin Y., Chin Y.X., Lim P.E., Phang S.M. Potential bioactive compounds from seaweed for diabetes management. *Marine Drugs*. 2015;8(13):5447-5491. <https://doi.org/10.3390/md13085447>.

24. Sukhoveeva M.V., Podkorytova A.V. *Commercial algae and grasses of the seas of the Far East: biology, distribution, stocks, processing technology*. Vladivostok: TINRO-tsentr; 2006. 243 p. (In Russian).

25. Tabakaev A.V., Tabakaeva O.V. *Method for obtaining xanthophylls from Sargassum miyabei*. Patent RF, no. 2776649; 2022. (In Russian).

26. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. *Carotenoids. Isolation and Analysis*. Basel: Birkhäuser Verlag; 1995, vol. 1A. 328 p.

27. Novak J.P. Quantitative analysis by gas chromatography; 1975. 218 p. (Russ. ed.: Novak I.S. *Kolichestvennyi analiz metodom gazovoi khromatografii*. Moscow: Mir; 1978. 180 p.).

28. Carreau J.P., Dubacq J.P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. *Journal of Chromatography A*. 1978;151(3):384-390. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)88356-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)88356-9).

29. Sizova N.V., Pikuleva I.V., Chikunova T.M. Fatty acid composition of *Camelina sativa* (L.) Crantz oil and the choice of the optimal antioxidant. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2003;(2):27-31. (In Russian).

30. Pelipenko T.V., Gyulushanyan H.P., Kalienko E.A., Mirzoyan A.A. The composition and properties of flax oil as a cosmetic ingredient. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;(103):687-697. (In Russian).

31. Khalipkiy A.N., Vedrov N.G., Ryabtsev A.A. The vegetable oil fatty-acid composition of the spring rape sorts in the Krasnoyarsk forest-steppe conditions. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of KSAU*. 2015;(3):90-94. (In Russian).

32. Khamrakulova M., Ibrokhimova F. Studying local rapeseed oil for food purpose. *Universum: tekhnicheskoe nauki*. 2021;(3). (In Russian).

33. Beppu F., Hosokawa M., Niwano Y., Miyashita K. Effects of dietary fucoxanthin on cholesterol metabolism in diabetic/obese KK-A y mice. *Lipids in Health and Disease*. 2012;11:112-119. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-112>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Табакеев Антон Вадимович,
к.т.н., доцент Департамента пищевых наук
и технологий,
Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Мордовцева, 12,
Российская Федерация;
младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт эпидемиологии
и микробиологии им. Г.П. Сомова,
690087, г. Владивосток, ул. Сельская, 1,
Российская Федерация,
✉tabakaev92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5658-5069>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton V. Tabakaev,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Far Eastern Federal University,
12, Mordovtsev St., Vladivostok, 690091,
Russian Federation;
Junior Researcher,
G.P. Somov Research Institute of Epidemiology
and Microbiology,
1, Sel'skaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
✉tabakaev92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5658-5069>

Табакаева Оксана Вацлавовна,
д.т.н., доцент, профессор Департамента пищевых наук и технологий,
Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Мордовцева, 12,
Российская Федерация,
yankovskaya68@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7068-911X>

Щелканов Михаил Юрьевич,
д.б.н., доцент, заведующий базовой кафедрой эпидемиологии, микробиологии и паразитологии,
Дальневосточный федеральный университет,
690091, г. Владивосток, ул. Мордовцева, 12,
Российская Федерация;
директор,
Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Г.П. Сомова,
690087, г. Владивосток, ул. Сельская, 1,
Российская Федерация,
adorob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 19.05.2022.
Одобрена после рецензирования 10.12.2022.
Принята к публикации 28.02.2023.

Oksana V. Tabakaeva,
Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor,
Far Eastern Federal University,
12, Mordovtsev St., Vladivostok, 690091,
Russian Federation,
yankovskaya68@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7068-911X>

Mikhail Yu. Shchelkanov,
Dr. Sci. (Biology), Associate Professor,
Head of Basic Department of Epidemiology, Microbiology and Parasitology,
Far Eastern Federal University,
12, Mordovtsev St., Vladivostok, 690091,
Russian Federation;
Director,
G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology,
1, Sel'skaya St., Vladivostok, 690087,
Russian Federation,
adorob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8610-7623>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

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

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 19.05.2022.
Approved after reviewing 10.12.2022.
Accepted for publication 28.02.2023.