

ОМЕГА-3 ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ

Куберская А.П., Подгурская В.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

DOI: 10.61634/2782-3024-2023-9-95-107

Авторы:

Куберская Алина Павловна, студентка 577 группы фармацевтического факультета ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России

Подгурская Вера Викторовна, ассистент кафедры фармацевтической, аналитической и токсикологической химии ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России

Автор, ответственный за переписку:

Куберская Алина Павловна, студентка 577 группы фармацевтического факультета ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России, apk.eml@gmail.com

Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) являются незаменимыми для человека и их присутствие в питании безусловно необходимо. Особое внимание привлекают эйкозапентаеновая и докозагексановая кислоты. Омега-3 ПНЖК отвечают за образование в организме трех типов ферментов, формирование некоторых мембран клеток, а также обладают рядом важных фармакологических свойств: оказывают противовоспалительное, антиоксидантное, антикоагуляционное действие, способствуют снижению вязкости мембраны кардиомиоцитов и др. Некоторые исследователи приводят механизм действия омега-3 ПНЖК: подавление синтеза противовоспалительных и активация синтеза противовоспалительных эйкозаноидов; уменьшение выработки фактора агрегации тромбоцитов, фактора некроза опухоли и интерлейкина-1; нормализация липидного обмена. На данный момент омега-3 ПНЖК применяют в качестве профилактики при сердечно-сосудистых заболеваниях, хронической обструктивной болезни легких, тромбозах и других патологиях. В то же время при применении омега-3 ПНЖК возможно проявление побочных эффектов, таких как повышение риска развития кровотечений, головные боли, тошнота и рвота, диспептические расстройства. Возможности применения этих соединений при других нозологиях до сих пор изучаются, и интерес к ним не угасает. В связи с этим изучаются и сравниваются источники получения омега-3 ПНЖК. Чаще всего можно встретить животные источники, но в качестве альтернативы рассматривают также растительные источники. Интерес исследователей привлекают различия растительных и животных омега-3 ПНЖК, а также возможности использования растительного сырья как источника полиненасыщенных жирных кислот. В связи с этим ведется поиск новых производящих растений. Традиционным источником омега-3 ПНЖК является льняное масло, в котором содержится наибольшее количество α -линолевой кислоты. Однако интерес представляют также источники, содержащие эйкозапентаеновые,

эйкозодиеновые и докозагексановые кислоты. Такими источниками могут выступать растения рода астрагал (астрагал солодколистный (*Astragalus glycyphyllus* L.), астрагал белостебельный (*Astragalus albicaulis* DS)), чернушка (чернушка полевая (*Nigella arvensis* L.), чернушка дамасская (*Nigella damascena* L.)), горчица (горчица сарепская (*Brassica juncea* (L.) Czerniak)), конопля (конопля посевная (*Cannabis sativa* L.)), моринга (моринга масличная (*Moringa oleifera* Lam.)) благодаря их комплексному составу. Кроме жирных кислот, масло семян этих растений также в своём составе имеет большое количество токоферолов, что имеет значение для разработки в дальнейшем лекарственных средств, содержащих омега-3 ПНЖК.

Ключевые слова: омега-3, перспективные растительные источники, механизмы действия, фармакологические эффекты.

OMEGA-3 FATTY ACIDS: PROMISING PLANT SOURCES AND EFFECTS ON THE HUMAN BODY

Kuberskaya A.P., Podgurskaya V.V.
Omsk State Medical University

Omega-3 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) are essential for humans and their presence in the diet is essential. Eicosapentaenoic and docosahexanoic acids attract special attention. Omega-3 PUFAs are responsible for the formation of three types of enzymes in the body, the formation of some cell membranes, and also have a number of important pharmacological properties: anti-inflammatory, antioxidant, anticoagulation effect, help to reduce the viscosity of the membrane of cardiomyocytes, etc. Some researchers cite the mechanism of action of omega-3 PUFAs: inhibition of anti-inflammatory and activation of anti-inflammatory eicosanoids synthesis, reduction of platelet aggregation factor, tumor necrosis factor and interleukin-1 production, normalization of lipid metabolism. Currently, omega-3 PUFAs are used as a prophylactic in cardiovascular diseases, chronic obstructive pulmonary disease, thrombosis and other pathologies. At the same time, the use of omega-3 PUFAs may produce side effects such as increased risk of bleeding, headaches, nausea and vomiting, and dyspeptic disorders. The potential use of these compounds in other nosologies is still being studied, and interest in them is not waning. In this regard, sources of omega-3 PUFAs are being studied and compared. Animal sources are the most common, but plant sources are also being considered as alternatives. Researchers are interested in the differences between plant and animal omega-3 PUFAs, as well as in the possibilities of using plant sources as a source of polyunsaturated fatty acids. In this regard, new producing plants are being sought. The traditional source of omega-3 PUFAs is flaxseed oil, which contains the highest amount of α -linolenic acid. However, sources containing eicosapentaenoic, eicosadienoic and docosahexanoic acids are also of interest. Such sources can be plants of the genus astragalus (*Astragalus glycyphyllus* L.), *Astragalus albicaulis* DS), nigella (*Nigella arvensis* L.), nigella damascena L.), mustard (*Brassica juncea* (L.) Czerniak)), hemp (*Cannabis sativa* L.)), moringa (*Moringa oleifera* Lam.)) due to their complex composition. In addition to fatty acids, the seed oil of these plants also has a large amount of tocopherols, which is important for the further development of medicines containing omega-3 PUFAs.

Keywords: omega-3, promising plant sources, mechanisms of action, pharmacological effects.

Жирные кислоты являются основным компонентом липидов и различаются по длине своей углеводородной цепи и наличию двойных связей в молекуле. Таким образом, в первом случае выделяют короткоцепочечные,

среднецепочечные и длинноцепочечные молекулы, а во втором – насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты: ди-, три-, тетра-, пента- и гексановые.

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) – это один из важных эссенциальных факторов питания для организма. Они задействованы в формировании биологических мембран различных тканей и органов человека. Изучение их действия началось ещё в прошлом веке из-за их неоспоримого влияния на жизни людей.

Основная часть

Существует несколько классов ПНЖК. Они разделяются в зависимости от расположения первой двойной связи в молекуле. Выделяют, в соответствии с атомом углерода относительно метильного конца ПНЖК, 3, 6, 7 и 9 углероды и, соответственно, им были даны названия: омега-3, омега-6, омега-7 и омега-9. Синтез жирных кислот происходит во многих тканях и органах человека (клетки печени, кишечника и др.) благодаря удлинению углеводородной цепи. Затем цепь может подвергаться действию деструктаз, вследствие чего образуются мононенасыщенные жирные кислоты (например, кислоты семейства омега-9). Однако к эссенциальным и незаменимым кислотам, которые не синтезируются в организме человека можно отнести линолевою и α -линолевою кислоту [6, 18]. Они поступают в организм с продуктами питания, витаминными комплексами. Все ПНЖК семейства омега-6 относят к производным линолевой кислоты, а производные α -линолевой кислоты – к семейству ПНЖК омега-3.

При поступлении в организм жирных кислот, в том числе и незаменимых, они подвергаются действию ферментов. Такие процессы приводят к образованию дополнительных ненасыщенных связей в молекуле жирной кислоты (десатурации) и удлинению самой углеводородной цепочки (элонгации). Ферменты, отвечающие за десатурацию и элонгацию называются согласно катализируемым процессам деструктазами и элонгазами. Они будут общими для представителей различных семейств жирных кислот, поэтому

различные семейства будут за них конкурировать. По этой причине существуют различные диеты, с превалированием того или иного семейства. Такой способ позволяет с уверенностью сказать о преимущественном образовании производных определенного семейства [6].

В дальнейшем будут рассмотрены частные случаи и особенности семейства омега-3. Интерес к этому семейству развивался с 1970-х годов, когда в результате исследования датские ученые открыли, что у людей больных ишемической болезнью сердца, у которых в рационе был высокий уровень ПНЖК омега-3, была значительно низкая смертность от острого инфаркта миокарда [19]. В дальнейшем изучение этого семейства продолжилось в различных областях.

В состав семейства омега-3 входят 11 ПНЖК. Незаменимыми можно назвать 3 из них: α -линолевая кислота, эйкозапентаеновая кислота и докозагексаеновая кислота. Эти кислоты не воспроизводятся в необходимом объеме. При этом их недостаток способен вызывать различные биохимические или физиологические нарушения [11].

В последующих исследованиях люди задавались вопросом о том, каким именно образом происходит действие омега-3 на организм. В результате были установлены следующие механизмы действия ПНЖК омега-3 [11]:

- подавление синтеза противовоспалительных эйкозаноидов (простагландинов второй серии, лейкотриенов четвертой серии) из арахидоновой кислоты;
- активизация синтеза противовоспалительных эйкозаноидов (простагландинов третьей серии, лейкотриенов пятой серии);
- уменьшение выработки фактора агрегации тромбоцитов, фактора некроза опухоли и интерлейкина-1;
- подавление влияния на фактор роста эритроцитов (PDGF), уменьшение агрегации эритроцитов, стимуляция

расслабления эндотелиальных клеток стенок кровеносных сосудов;

- нормализация липидного обмена: снижение уровня триглицеридов и ЛПОНП в плазме крови; подавление ТГ и аполипопротеина в печени; активизация выведения печенью и периферическими тканями из кровотока ЛПОНП; увеличение экскреции желчных кислот кишечником; повышение уровня ЛПВП. Кроме того, ПНЖК являются субстратом для следующих ферментов: циклооксигеназы, монооксигеназы и липооксигеназы, которые регулируют производство эйкозаноидов. Этот путь может также рассматриваться как один из возможных механизмов реализации противовоспалительного эффекта [12]. Благодаря перечисленным механизмам действия можно сделать вывод, что омега-3 ПНЖК влияют на многие биологические процессы. Поэтому выделяют следующие фармакологические эффекты [3, 5, 10, 15]:

- вазодилатирующий; увеличивает уровень содержания в крови оксида азота и снижает уровень эндотелина-1; управляет реакцией между сосудистой стенкой и кровью, что способствует поддержанию гемостатического гемостаза; управляет фагоцитарной функцией;
- антитромбогенный, формирует тромборезистентность сосудистой стенки;
- противовоспалительный: уменьшают активные процессы хронического неспецифического воспаления;
- улучшают инотропную функцию;
- уменьшают проаритмические нарушения в клетках миокарда, отсюда антиаритмический эффект;
- способствуют снижению вязкости мембраны кардиомиоцитов;
- увеличивают вариабельность сердечного ритма;
- антикоагуляционный;
- антиоксидантный;

- увеличивают вариабельность сердечного ритма;

- повышают активность всех встроенных в мембрану рецепторов, а также транспортных и сигнальных систем.

Кроме того, установлено, что омега-3 ПНЖК обладают антидепрессивным эффектом, хотя компонент, отвечающий за него, неизвестен [1].

Но так ли безвредны ПНЖК омега-3? Как показывают исследования, в терапевтических дозах они обладают высокой и, что немаловажно, доказанной эффективностью. Важным плюсом является также хорошая переносимость ПНЖК. По рекомендациям правительства Великобритании для здоровья взрослого населения в целом необходимо минимальное потребление 0,45 г эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот вместе в день. По рекомендациям ВОЗ рекомендация составила не менее 0,25 г тех же кислот в день. Также была установлена приблизительная дозировка для проявления противовоспалительной активности (фармакологический эффект). Оказалось, что, условно, потребляя от 1,35 г до 3, 5 г эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот вместе в день можно извлечь клиническую пользу из продуктов. Если оставлять потребление исключительно на натуральном питании, то рацион должен включать ежедневное потребление рыбы (если останавливаемся на животных источниках) не менее 1 раза в день [20]. В другом источнике говорится о том, что прием ПНЖК омега-3 более 3 г в сутки повышает риски развития кровотечений. Впрочем, серьезных кровотечений зарегистрировано не было. При приеме более указанного количества повышается риск возникновения геморрагического инсульта. Это возможно у народов Крайнего Севера (например, эскимосов) [17]. Небольшое расхождение в данных возможно из-за индивидуальных особенностей организма.

Опасность приема ПНЖК может заключаться в передозировке этими веществами, которая проявляется гораздо тяжелее в отличие от их недостатка. Ситуацию с отравлениями может облегчить медленное накопление омега-3 ПНЖК в организме. К отравлению обычно приводит длительный прием высоких доз омега-3 ПНЖК, а также их системное назначение в повышенных дозах. Основными симптомами отравления считаются: головные боли, тошнота и рвота, диспептические кишечные расстройства, боли в грудной клетке, обильная кровопотеря во время менструации у женщин. Стоит отметить, что нарушения со стороны желудочно-кишечного тракта носят преходящий характер. Кроме того, если побочные эффекты связаны именно с приемом рыбы и/или рыбных продуктов, то подозрение также может упасть на их загрязнение потенциально опасными веществами [17].

Лабораторный контроль фармакотерапии препаратами омега-3 осуществляется по трем направлениям: определение фармакокинетических и фармакогенетических свойств препаратов, оценка эффективности и безопасности и лабораторный контроль, направленный на выявление

нежелательных побочных реакций при назначении омега-3 ПНЖК.

В первом случае мы определяем концентрацию в крови, сывороточных фосфолипидах, мембранах клеток. Также определяем фармакогенетические факторы. Последнее связано с тем, что ПНЖК играют важную роль в экспрессии генов.

Терапевтический лабораторный мониторинг позволяет повысить оптимизацию и индивидуализацию лечения пациента для получения наиболее эффективного и безопасного лечения.

Молекулярно-генетические методы используются для оценки генов семейства ядерных рецепторов. Гены семейства ядерных рецепторов, активируемых пролифераторами пероксисом (PPAR), кодируют белки, которые имеют свойство специфически связываться с PPAR-чувствительными элементами промоторов генов жирового и углеводного метаболизма, и регулировать их транскрипцию [4].

Известно, что семейство ПНЖК омега-6 в основном растительного происхождения, а омега-3 встречается в рыбе, морепродуктах, яичном желтке. Однако в льняном масле омега-3 ПНЖК содержится в четыре раза больше, чем омега-6 [6, 9].

Таблица 1. Содержание ПНЖК омега-6 и омега-3 в различных продуктах питания

Продукты	Омега-6	Омега-3
Льняное масло	14	58
Соевое масло	50	7
Подсолнечное масло	65	0
Кукурузное масло	59	0
Оливковое масло	8	0
Макрель (г/100 г продукта)	≈1,0	2,6
Тунец (г/100 г продукта)	≈1,0	1,5
Яичный желток (г/100 г продукта)	0,1	0,05

Также существует мнение о том, что источником омега-3, полученных от рыб и морских животных, являются все-таки морские растения в холодных морях, которыми те питаются. Авторы исследований говорят нам о том, что биологические мембраны морских обитателей функционируют благодаря преобладанию в их составе ПНЖК семейства омега-3 [9].

Существует исследование, в котором авторы проводили сравнение омега-3 ПНЖК растительного (льняное масло) и животного (печень трески, рыбий жир) происхождения. Согласно этому исследованию, льняное масло (*Linum usitatissimum* L., сем. Linaceae) не настолько активно по сравнению с рыбьим жиром, а также отличалось по некоторым свойствам [5]. Несмотря на довольно сильную антитромболитическую активность и снижение уровня триацилглицерола, омега-3 животного происхождения свойственно повышать уровень холестерина. В то время как ПНЖК растительного происхождения снижают уровень холестерина в плазме крови. Авторы исследования также отметили, что длинноцепочечные жирные кислоты омега-3 примерно в два раза эффективнее α -линолевой кислоты в поддержании нормальных концентраций ПНЖК в эритроцитах и липидах плазмы крови. Однако стоит отметить, что объектами сравнения были ПНЖК омега-3 животного происхождения омега-3 растительного происхождения в комбинации с животным происхождением [5].

Отдельно следует выделить некоторые недостатки омега-3 животного происхождения. Жирные кислоты омега-3, полученные из рыб, являются неустойчивыми. Они легко поддаются окислению и повреждению со стороны различных веществ. Поэтому продукты должны быть свежими и желателно не выращенными на фермах, чтобы организмом могли быть получены

ПНЖК омега-3. Выращенная на фермах рыба не может поедать морские водоросли, а следовательно, не может синтезировать необходимые кислоты [16].

В результате было доказано, что, несмотря на свою схожесть по действию на организм, льняное масло и рыбий жир не могут быть адекватной заменой друг другу. Они не могут быть эквиваленты друг другу, так как имеют в своем составе разные омега-3 жирные кислоты. Впрочем, ПНЖК льняного масла имеет богатый полезными элементами состав. Наличие в своем составе 73% ПНЖК (что в два раза больше, чем в рыбьем жире) не может позволить нам относиться к льняному маслу исключительно как к источнику α -линолевой кислоты. В состав масла входят так называемые минорные компоненты: токоферолы, фосфатидилхинолины и другие. Наличие этих компонентов можно причислить к преимуществам льняного масла над рыбьим жиром. Они позволяют решить проблему недостаточности витамина Е [5].

α -линолевая кислота сама по себе практически не используется в организме. Для нашего организма более интересны продукты её синтеза: эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты. Проблема заключается в том, что этих продуктов очень мало. В какой-то мере эта ситуация нивелируется присутствием витамина Е. Токоферол помогает синтезу продуктов из α -линоленовой кислоты, а также он замедляет процессы их окисления.

Преимуществом ПНЖК омега-3 растительного происхождения можно считать их меньшую неустойчивость к воздействию веществ по сравнению с животными. Более того в составе первых имеются естественные антиоксиданты (токоферолы) [16].

Все вышперечисленное позволяет утверждать, что несмотря на несопоставимость растительных и животных ПНЖК, растительные источники по-своему уникальны. Они могут служить уникальным источником

природных биологически активных веществ. Что, впрочем, также требует дальнейшего изучения.

В последние годы повышается интерес исследователей к свойствам масла из семян чиа. Так, Козловой Е. В. с соавт. был поставлен эксперимент на лабораторных мышах, в котором проверялось влияние этих масел на повышение силовой и мышечной выносливости. Результаты по итогу оказались примерно равны. Они повышают силовую и мышечную выносливость [7].

Семена чиа (*Salvia hispanica* L. или chia) также могут служить источником ПНЖК омега-3 и омега-6. Это растение принадлежит к семейству Lamiaceae, произрастает в Мексике и Гватемале. Семена имеют широкий химический состав, что также делает их привлекательными для дальнейшего изучения и возможного внедрения в медицинскую практику. К этим веществам относятся антиоксиданты (хлорогеновая кислота, кофеиновая кислота, кверцетин, кемпферол, фенольный гликозид-Q и K), витамины и минералы. Количество ПНЖК омега-3, согласно исследованию, составляет: линолевой кислоты – 20,40%, α-линолевой кислоты – 68,52%, докозагексановой кислоты – 0,05% [12].

На данный момент семена чиа широко применяются на территории России в качестве добавки к пище в составе кисломолочных продуктов, быстрых завтраков, хлебобулочных изделий, а также самостоятельно. Этот способ распространения можно назвать реализацией функциональных продуктов питания богатых омега-3 ненасыщенными кислотами [2].

К лекарственному сырью, содержащему омега-3 ПНЖК, относятся растения рода *Astragalus*. Его представители до сих пор изучаются.

Астрагал солодколистный (*Astragalus glycyphyllos* L.) – многолетнее растение высотой от 80 до 100 см. Произрастает в европейской части России, исключая Крайний Север, а также на Кавказе и в

Западной Сибири. Растение применяется в народной медицине различных стран (Китай, Индия, Монголия, Тибет). На востоке лекарственные средства, приготовленные из Астрагала слодколистного, довольно популярно и считается элитным лекарственным средством [13].

В результате исследования было установлено, что данный вид астрагала содержит 19 соединений жирно-кислотного состава. Позднякова Т. А. с соавт. собрали полную классификацию по насыщенности этих кислот. Среди насыщенных преобладает пальмитиновая кислота, мононенасыщенных – олеиновая, полиненасыщенных – линолевая и линоленовая 1069,97 мг/кг и 2713,76 мг/кг, соответственно (в пересчете на проценты от кг: 0,11% и 0,27%). Также было обнаружено 10 соединений из группы органических кислот. Среди них преобладают лимонная и малоновая кислоты. Анализ проводился при помощи масс-спектрофотометра и ГЖХ [13].

Ещё один перспективный источник омега-3 ПНЖК рода астрагал – астрагал белостебельный (*Astragalus albicaulis* DS) – полукустарник с древесневеющими у основания двухлетними ветвями. Распространен в тех же местах, что и астрагал слодколистный. Однако ареал его сужен почвенным фактором. Произрастает на мелах, меловых сосняках.

Химический состав этого растения изучен недостаточно. Исследованиями установлено, что в его жирно-кислотный состав входят 17 соединениями. По основным представителям состава они схожи с астрагалом солодколистным. Важным отличием будет их количество. В данном случае соотношение линолевой и линоленовой кислот примерно 1:3 (888,75 мг/кг (0,09%) и 3036 мг/кг (0,3%) соответственно). Из-за чего предполагается дальнейшее исследование этого вида как возможного сырья для получения ПНЖК омега-3 [14].

Источником омега-3 ПНЖК может служить и миндальное масло. Его широко применяют в косметологии для омолаживания или поддержания здоровой кожи. В медицине миндальное масло могут применять для уменьшения послеоперационного рубца, в качестве фитотерапевтического метода для лечения депрессии. В Азии издавна миндальное масло использовали для улучшения памяти и работы мозга.

Исследуя химический состав миндального масла, ученые обнаружили, что большая его часть (85%) состоит из моноглицеридов олеиновой кислоты. Далее по убыванию 12% приходится на триглицериды линолевой кислоты, а предельных кислот в пределах 3%. Помимо перечисленного в его составе также были обнаружены витамины группы В, цинк, α -токоферол, сквален, β -зооастерол [1].

В растениях рода чернушка (*Nigella*) широко распространенное растение (Юго-Западная, Средняя, Центральная Азия; Кавказ, Крым, Ближний Восток). Это однолетнее растение высотой 20-50 см. Чаще всего чернушку используют как декоративное растение.

Авторы исследовали виды чернушка полевая (*N. arvensis* L.) и чернушка дамасская (*N. damascena* L.) и установили, что их семена на 30-40% состоят из жирного масла. В общем по составу они включают в себя терпены и токоферол, а также горькие вещества и гликозиды, 0,5-1,5% эфирного масла. Особенностью является то, что ч. дамасская включает в себя 0,3% алкалоида дамасценина. Также было установлено, что ч. посевная имеет довольно богатый липидный состав – 36 соединений. В составе этих веществ есть ПНЖК семейства омега-3: линоленовая кислота (32,53%), эйкозодиеновая кислота (6,24%). Также были обнаружены и представители мононенасыщенных и насыщенных кислот (32,03% в сумме). Стоит отметить, что остальной состав изучен недостаточно. Количество ПНЖК в ч. дамасской меньше, чем в другом ее

ранее описанном виде (24,26% и 5,27% соответственно). Также было отмечено, что антиоксидантная активность ПНЖК во многом зависит от региона произрастания и может составлять от 0,3 мг/г до 1,3 мг/г [8].

Горчица относится к семейству Brassicaceae и ценится за свои пряные и острые сушеные семена. Некоторые из хорошо известных видов горчицы включают черную горчицу – *Brassica nigra* (L.) W. D. J. Koch; коричневую горчицу – *Brassica juncea* (L.) Czerniak; *Brassica rugosa* Hort., *Sinapis juncea* L. и *Brassica hirta* Moench. Некоторые растения горчицы, такие как *B. alba* и *B. juncea*, также используются традиционными целителями в качестве фитотерапии для лечения артрита, простуды, кашля, боли в горле, мышечных болей и диабета.

В семенах горчицы (*B. juncea* (L.) Czerniak) в нескольких исследованиях была обнаружена линоленовая кислота и выделена в значительном количестве (16,05% от общего количества жирных кислот). В другом исследовании также сообщалось о трансгенной выработке эйкозапентаеновой кислоты в семенах *B. juncea*. Уровень эйкозапентаеновой кислоты составлял до 15% от общего количества жирных кислот семян.

Эти исследования показывают, что семена горчицы потенциально могут быть использованы в качестве природных источников омега-3 жирных кислот. Горчица также может быть генетически модифицирована для увеличения естественного производства соединений омега-3, обеспечивая тем самым широкий спектр биологических применений [22].

ПНЖК омега-3 были также обнаружены в растениях семейства Moringaceae. Наиболее известен вид *Moringa oleifera* Lam. Это растение произрастает в Гималаях, от Пакистана до Северной Индии. А также оно легко адаптируется к различным климатическим условиям.

Химический состав *M. oleifera* представлен олеиновой и линолевой кислотой, токоферолами,

пальмитолеиновой, миристиновой, арахидиновой, стеариновой, линолевой кислотой. Количество ненасыщенных жирных кислот составляет около 76%. Семена *M. oleifera* также богаты витаминами: провитамин А – 2,04%, тиамин – 0,94%. Семена растения также содержат калий, фосфор, натрий, цинк, магний и кальций [23].

Конопля (*Cannabis sativa* L.) – травянистое анемофильное растение, относящееся к семейству Cannabinaceae.

Масло семян конопли является исключительно богатым источником ненасыщенных жирных кислот линолевой кислоты и α-линоленовой кислоты. Приблизительное соотношение 3:1, то есть 56,24% и 15,95% соответственно [21].

В таблице 2 приведена обобщающая информация по традиционным и потенциально новым растительным источникам омега-3 ПНЖК

Таблица 2. Сравнение известных и потенциальных растительных источников омега-3 полиненасыщенных жирных кислот

Источник	Производящее растение	Состав омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в %
Льняное масло	Лён посевной (<i>L. usitatissimum</i> L.)	α-линолевая кислота – 75%
Масло чиа	Шалфей испанский (<i>S. hispanica</i> L.)	Линолевая кислота – 20,40%; α-линолевая кислота – 68,52%; докозагексаеновая кислота – 0,05%
Масло астрагала	Астрагал солодколистный (<i>A. glycyphyllus</i> L.)	Линолевая кислота – 0,11%; α-линолевая кислота – 0,27%
	Астрагал белостебельный (<i>A. albicaulis</i> DS)	Линолевая кислота – 0,09%; α-линолевая кислота – 0,3%
Масло чернушки	Чернушка дамасская (<i>N. damascene</i> L.)	Линолевая кислота – 24,26%; эйкозодиеновая кислота – 5,27%
	Чернушка посевная (<i>N. arvensis</i> L.)	Линолевая кислота – 32,53%; эйкозодиеновая кислота – 6,24%
Масло горчицы	Горчица сарепская (<i>B. juncea</i> L.)	Линолевая кислота – 16,05%; эйкозопентаеновая кислота – 15%
Масло конопли	Конопля посевная (<i>C. sativa</i> L.)	Линолевая кислота – 56,24%; α-линолевая кислота – 15,95%
Масло моринги	Моринга масличная (<i>M. oleifera</i> Lam.)	Сумма полиненасыщенных жирных кислот – 76%

Согласно изученным данным, наибольшее количество α -линолевой кислоты содержится в льняном масле. Однако интерес представляют также источники, содержащие эйкозапентаеновые, эйкозодиеновые и докозагексановые кислоты, которые имеют бóльшую физиологическую активность.

Заключение

Таким образом, омега-3 ПНЖК животного происхождения пусть и являются более эффективными, но они также в большей степени подвержены действию факторов окружающей среды. Более того, не всегда могут быть получены из пищевых продуктов (рыба,

выращенная на ферме). Поэтому ПНЖК, полученные из растительных источников, пусть и иные по составу, но более стойки к действию окружающей среды.

Новыми растительными источниками омега-3 ПНЖК могут выступать растения рода астрагал, чернушка, горчица, конопля, моринга благодаря их комплексному жирно-кислотному составу. Эти растения также в своём составе имеют и токоферолы, которые способствуют ускорению метаболизма ПНЖК в организме, что имеет значение для разработки в дальнейшем лекарственных средств, содержащих омега-3 ПНЖК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogatova I.D. Historical experience and the prospect of using the almond oil in medicine and pharmacy (oleum Amygdalarum). Nauchnyje issledovanija vysshej shkoly. 2020:179-182. Russian (Богатова И.Д. Исторический опыт и перспективы использования миндального масла в фармации и медицине (oleum Amygdalarum). Научные исследования Высшей Школы. 2020:179-182).
2. Buts A.A., Tereshina A.S. The use of omega-3 omega-6 in order to improve the physico-chemical composition of oils. Voprosy ustojchivogo razvitija obshhestva. 2022;7:1247-1250. Russian (Буц А.А., Терешина А.С. Применение омега-3 омега-6 в целях улучшения физико-химического состава масел. Вопросы устойчивого развития общества. 2022;7:1247-1250).
3. Bychkov E.S. The role of docosahexaenoic acid (DHA) as the most important representative of omega-3 polyunsaturated fatty acids. Aktual'nye problemy sovremennoj mediciny i farmacii-2021. 2021:116. Russian (Бычков Е.С. Роль докозагексаеновой кислоты (ДГК), как важнейшего представителя омега-3 полиненасыщенных жирных кислот. Актуальные проблемы современной медицины и фармации-2021. 2021:116).
4. Gaikovaya L.B. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: laboratory methods in assessment of their multifactor effects. Reviews on clinical pharmacology and drug therapy. 2010;8(4):3-14. Russian (Гайковая Л.Б. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: лабораторные методы в оценке их многофакторного действия. Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2010;8(4):3-14).
5. Ipatova O.M., Prosorovskaya N.N., Baranova V.S., Guseva D.A. Biological effects of flaxseed oil as the source of alpha-linolenic acid omega-3. Biomeditsinskaya Khimiya. 2004;50(1):25-43. Russian (Ипатова О.М., Прозоровская Н.Н., Баранова В.С., Гусева Д.А. Биологическая активность льняного масла как источника омега-3 альфа-линоленовой кислоты. Биомедицинская химия. 2004;50(1):25-43).
6. Kon' I.Ya, Shilina N.M., Volfson S.B. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of diseases in children and adults. Lechaschi Vrach. 2006;4:55-60. Russian (Конь И.Я., Шилина Н.М., Вольфсон С.Б. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты в профилактике и лечении болезней детей и взрослых. Лечащий врач. 2006;4:55-60).
7. Kozlova E.V., Miroshnichenko L.A., Nikolaevsky V.A. Comparative evaluation of the effect of chia seed oil and linseed oil on the resistance of laboratory mice to physical activity. Modern Pharmacy: Problems and Prospects of Development. 2015:415-418. Russian (Козлова Е.В., Мирошниченко Л.А., Николаевский В.А. Сравнительная оценка влияния масла из семян чиа и льняного масла на устойчивость лабораторных мышей к физическим нагрузкам. Современная фармация: проблемы и перспективы развития. 2015:415-418).
8. Managorova A.A. Analysis of the macro- and microelement composition of seeds of plants of the genus Nigella and prospects for application in food production. Luchshaja studencheskaja stat'ja 2021. 2021:37-41. Russian (Манаторова А.А. Анализ макро- и микроэлементарного состава семян растений рода чернушка (Nigella) и перспективы применения в производстве пищевых продуктов. Лучшая студенческая статья 2021. 2021:37-41).
9. Mazur N.A. Omega-3-Polyunsaturated Fatty Acids: Profs of Benefit and Perspectives of Application. Kardiologija. 2012;52(4):80-84.

Russian (Мазур Н.А. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: доказательства пользы и перспективы их применения. Кардиология. 2012;52(4):80-84).

10. Mekhtikhanov S.D., Babaeva D.P., Nagiev E.R. Polyunsaturated fatty acids of the W-3 series and their use as medicines in medicine and pharmacy. Vestnik Dagestanskoy Gosudarstvennoj Medicinskoj Akademii № 2. 2015;2:62. Russian (Мехтиханов С.Д., Бабаева Д.П., Нагиев Э.Р. Полиненасыщенные жирные кислоты W-3 ряда и их использование как лекарственных средств в медицине и фармации. Вестник Дагестанской Государственной Медицинской Академии № 2. 2015;2:62).

11. Plotnikova E.Yu., Sinkova M.N., Isakov L.K. Role of omega-3 unsaturated acids in prevention and treatment of different diseases (part 1). Lechaschi Vrach. 2018;(7):63. Russian (Плотникова Е.Ю., Синькова М.Н., Исаков Л.К. Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний. Лечащий врач. 2018;(7):63).

12. Popova A.V. Chia seeds as a source of essential polyunsaturated fatty acids (PUFA) omega-3. Vysokie tehnologii i innovacii v nauke. 2019:41-45. Russian (Попова А.В. Семена чиа, как источник незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (пнжк) омега-3. Высокие технологии и инновации в науке. 2019:41-45).

13. Pozdnyakova T.A., Bubenchikov R.A. Astragalus glycyphyllus L. fatty and organic acids. Permskij medicinskij zhurnal. 2017;1:90-94. Russian (Позднякова Т.А., Бубенчиков Р.А. Жирные и органические кислоты астрагала солодколистного (*Astragalus glycyphyllus* L.). Пермский медицинский журнал. 2017;1:90-94).

14. Pozdnyakova T.A., Bubenchikov R.A. Study of fatty and organic acids of *Astragalus abicaulis* DC. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Himija. Biologija. Farmacija. 2017;3:106-109. Russian (Позднякова Т.А., Бубенчиков Р.А. Изучение жирных и органических кислот травы астрагала белостебельного. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017;3:106-109).

15. Pristrom M.S., Semenenkov I.I., Olikhver Yu.A. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: mechanisms of action, evidence of benefit and new prospects for clinical applications. Medicinskie novosti. 2017;3:13-16. Russian (Пристром М.С., Семенов И.И., Олихвер Ю.А. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: механизмы действия,

доказательства пользы и новые перспективы применения в клинической практике. Медицинские новости. 2017;3:13-16).

16. Ruzanova A.D. The role of polyunsaturated fatty acids in human nutrition. Studencheskaja nauka-vzgljad v budushhee. 2021:418-422. Russian (Рузанова А.Д. Роль полиненасыщенных жирных кислот в питании человека. Студенческая наука-взгляд в будущее. 2021:418-422).

17. Sin'kova M.N., Isakov L.K. The role of omega-3 unsaturated acids in the prevention and treatment of various diseases. Lechaschi Vrach. 2018;(8):56. Russian (Синькова М.Н., Исаков Л.К. Роль омега-3 ненасыщенных кислот в профилактике и лечении различных заболеваний. Лечащий Врач. 2018;(8):56).

18. Zaynullina N.V. Development of functional meat products enriched with polyunsaturated (omega-3 and omega-6) fatty acids. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tehnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozjajstva. 2018;20:240-243. Russian (Зайнуллина Н.В. Создание функциональных мясных продуктов, обогащенных полиненасыщенными (омега-3 и омега-6) жирными кислотами. Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018;20:240-243).

19. Zhukov A.Yu., Vorslov L.O., Davidyan O.V. Omega-3 index: a modern look and place in clinical practice. Voprosy dietologii. 2017;7(2):69-74. Russian (Жуков А.Ю., Ворслов Л.О., Давидян О.В. Омега-3 индекс: современный взгляд и место в клинической практике. Вопросы диетологии. 2017;7(2):69-74). doi: 10.20953/2224-5448-2017-2-69-74.

20. Calder P.C. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? British journal of clinical pharmacology. 2013;75(3):645-662. doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04374.x.

21. Callaway J.C., Tennilä T., Pate D.W. Occurrence of "omega-3" stearidonic acid (cis-6, 9, 12, 15-octadecatetraenoic acid) in hemp (*Cannabis sativa* L.) seed. J Int Hemp Assoc. 1997;3:61-63.

22. Das G., Tantengco O.A.G., Tundia R. et al. Glucosinolates and Omega-3 Fatty Acids from Mustard Seeds: Phytochemistry and Pharmacology. Plants. 2022;11(17):2290. doi: 10.3390/plants11172290.

23. Mersin B., Saltan Işcan G. Moringa oleifera'nin etkinlik ve güvenliği. J. Fac. Pharm. Ankara. 2022;46(2):487-504. doi: 10.33483/jfpa.1021227.