УДК: 633.521: 664.64

Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях

Миневич Ирина Эдуардовна
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»
Адрес: 170041, город Тверь, Комсомольский пр., 17/56
E-mail: irina_minevich@mail.ru

Благодаря своим уникальным свойствам семена льна вызывают пристальный интерес как источник биологически активных веществ, необходимых для функционального питания и поддержания активного здоровья человека. Они богаты эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами, полноценным белком, полипептидами и лигнанами, относящимся к классу фитоэстрогенов, которые поддерживают важнейшие физиологические функции организма человека. Данные о практическом использовании семян льна в пищевых технологиях, направленных на создание продуктов здорового питания, в отечественной научной литературе разрознены. Цель настоящего обзора – обобщение опубликованной в отечественной и зарубежной литературе информации по анализу функциональной значимости семян льна и их практическому использованию в продуктах питания, доказывающих перспективность и необходимость широкого внедрения данной культуры в пищевые технологии. на основе анализа функциональной значимости семян льна и продуктов их переработки обосновать практическую целесообразность их широкого использования в пищевых технологиях. В работе приведены краткие сведения об истории культуры льна и динамике производства семян льна в России. На основании анализа научных источников показана роль биологически активных веществ и функциональных ингредиентов семян льна в снижении риска и профилактике ряда заболеваний (онкологических, сердечно-сосудистых и пр.). Приведена информация о результатах исследований (в том числе собственных) по введению семян льна в широкий ряд разнообразных продуктов. Семена льна используют, в основном, в целом, измельченном виде, или в виде муки. Помимо муки и масла перспективными функциональными пищевыми ингредиентами являются белковые и полисахаридные продукты переработки семян льна. Показано, что семена льна и продукты их переработки используются для повышения пищевой ценности хлебобулочных, мучных кондитерских, молочных, мясных, экструдированных и прочих продуктов. Приведены данные об оптимальном содержании семян льна и их ингредиентов в пищевых продуктах, при котором улучшались их органолептические и повышались физико-химические свойства. Множество научных исследований семян льна являются обоснованным подтверждением необходимости широкого внедрения этой многофункциональной культуры в пищевые технологии 21 века.

Ключевые слова: лен, масличные семена, полисахариды, белки, пищевые волокна, пищевые технологии, биологически активные вещества, функциональные ингредиенты

Введение

Питание является эффективным фактором сохранения и улучшения здоровья, увеличения продолжительности жизни, ее активного периода и сохранения работоспособности. Необходимость профилактики алиментарно-зависимых заболеваний путем коррекции пищевого статуса зафиксирована в «Основах государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года», а также в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года»[1]. Развитие концепции оптимального питания, определение понятия «здоровое питание» привело к тому, что пищевые продукты стали рассматривать как эффективное средство поддержания физического и психического здоровья, профилак-

[1] Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 25 октября 2010 г. №1873-р.; Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030г: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г № 1364-р.

Материал опубликован в соответствии с международной лицензией Creative Commons Attribution 4.0.

Как цитировать
Миневич, И. Э. (2019). Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях. *Health, Food & Biotechnology, 1*(2). https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224

тики многих заболеваний. В настоящее время с помощью различных исследований: научных экспериментальных, клинических, эпидемиологических установлена корреляционная связь между состоянием здоровья человека и обеспеченностью организма энергией и необходимыми пищевыми веществами. В частности доказано, что вклад питания в развитие болезней сердечно-сосудистой системы, диабета, остеопороза, ожирения, некоторых форм злокачественных новообразований составляет от 30 до 50 %.[2]

Осознание обществом необходимости соблюдения здорового образа жизни и, как его компонента, здорового питания стимулирует спрос на продукты функционального назначения. В связи с этим производство функциональных продуктов является одним из приоритетных направлений развития пищевой промышленности.

Большое значение для расширения ассортимента функциональных продуктов имеет выбор сырья. Все чаще для повышения пищевой ценности традиционных продуктов и их функциональности используются такие виды сырья, как мука масличных, бобовых культур, масличные семена, орехи, жмыхи и пр.

Благодаря своим уникальным свойствам семена льна вызывают пристальный интерес как источник биологически активных веществ, необходимых для функционального питания и поддержания активного здоровья человека. Они богаты эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами, полноценным белком, полипептидами и лигнанами, относящимся к классу фитоэстрогенов, которые поддерживают важнейшие физиологические функции организма человека. В научной литературе бóльшая часть публикаций в области исследований семян льна посвящены изучению влияния их биологически активных компонентов на снижение риска и профилактику ряда заболеваний, их физиологическому воздействию на организм человека (Толкачев, 2000; Bernacchia, 2014; Ganorkar, 2013; Goyal, 2014; Gutte, 2015). Данные о практическом использовании семян льна в пищевых технологиях, направленных на создание продуктов здорового питания в отечественной научной литературе невелики по объему и разрознены. Анализ сведений о функционально-технологических свойствах семян льна и продуктов их переработки, и эффективности их введения в различные виды продуктов для повышения пищевой ценности, сенсорных свойств изделий могут быть полезны для специалистов в области здорового питания.

Цель настоящего обзора – обобщение опубликованной в отечественной и зарубежной литературе информации по анализу функциональной значимости семян льна и их практическому использованию в продуктах питания, доказывающих перспективность и необходимость широкого внедрения данной культуры в пищевые технологии на основе анализа функциональной значимости семян льна и продуктов их переработки обосновать практическую целесообразность их широкого использования в пищевых технологиях.

Краткие сведения о культуре льна

Лен как пшеница, ячмень, кукуруза, соя и хлопчатник относится к группе самых древних возделываемых растений. По мнению Г. Танфильева (Танфильев, 1923) родиной льна является Западная Персия, откуда он проник в другие страны, причисляемые к древнейшим очагам культуры льна – Индию, Китай, районы Средней Азии, а также на запад и юго-запад, прежде всего Вавилон и Египет, где лен разводился вначале только ради получения съедобных семян. Лен на волокно в Египте стали разводить в конце третьего тысячелетия до нашей эры. Выделка льняных тканей в Египте достигла большого совершенства, эти изделия высоко ценились в Греции и Риме. Поэтому, вероятно, что греки и римляне долгое время возделывали у себя лен исключительно на семена.

В древнегреческой и древнеримской литературе упоминания о льне начинают встречаться с VI в. до нашей эры. Слова «лион» (греческое) и «линум» (латинское), от которых происходит и русский «лен», встречаются в произведениях Гомера, Геродота, Фукидида, Теофраста, Плиния и других писателей древнего мира (Новоселов, 1996).

От римлян лен позаимствовали галлы и кельты – основоположники льноводства в Западной Европе, а от греков – славяне, положившие начало разведению льна в Восточной Европе.

С началом новейшего периода следует различать возделывание льна на волокно и масло, так как современные культурные типы разводятся раздельно в зависимости от способа их переработки. С течением времени чисто волокнистый лен все более

[2] О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад.- М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018.-268с.

отделяется от льна масличного.

В Америке лен играл большую роль в качестве первого культурного растения на землях из-под девственных лесов, а также в качестве предшественника пшеницы. В Африке и Австралии возделывание льна получило распространение уже в новейшее время, когда начали разводить культурные типы льнов раздельно в зависимости от целей и способов их использования (на волокно и масло).

В России лен культивировался с древних времен. О посевах льна на русской равнине, в Колхиде, есть упоминания у Геродота, относящиеся к VI в. до нашей эры.

Большое внимание уделял развитию этой культуры в России Петр I. В целях развития маслобойного производства он запретил продавать льняные семена на экспорт, чтобы торговали только льняным маслом. До 1900 г в России льняного масла вырабатывалось и потреблялось больше, чем подсолнечного. Расширение посевов подсолнечника, а также преимущества подсолнечного масла в хранении постепенно вытеснили льняное из широкого употребления (Прянишников, 1921).

Быстрый рост цены на льняное волокно и повышение урожайности зерновых и овощных культур резко снизили использование семян льна в качестве пищевого продукта. Поэтому долгое время продовольственные свойства семян льна были невостребованы.

Накануне первой мировой войны среднегодовая продукция мирового льноводства составляла около 28 млн. ц семян и 7,5 млн. ц волокна. Первое место в мировом сборе льносемян принадлежало Аргентине, второе – России. В мировом сборе льна-волокна доля России составляла около 85 %. Общая площадь подо льном в 1913 г достигла в России 1,4 млн. гектаров, в том числе льном-кудряшом было занято около 400 тыс. гектаров. Валовой сбор льносемян в 1913 году составил 5,9 млн. ц. (Минкевич, 1957). В советское время СССР также был мировым лидером по производству и экспорту продукции льноводства (Федосова, 2005).

В результате экономической нестабильности последних десятилетий 20 века в России резко снизилось производство этой культуры по всем направлениям, несмотря на ее значение для экономики страны.

Производство семян масличного льна в современной России

Масличный лен на мировом рынке считается нишевой культурой: он производится в объеме 2,2-2,7 млн. тонн и занимает менее 1 % от общего объема масличных. Однако востребованность масличного льна является стабильной из-за высокого мирового спроса на пищевые семена льна и льняное масло, прежде всего, для химической промышленности (Хрикян, 2017; Федосова, 2013)[3].

Наибольшие посевные площади масличного льна сосредоточены в Канаде, России, Китае, США, Казахстане. В последние годы растет его производство в Беларуссии.

Производство масличного льна в России резко возросло после 2009 года, как это проиллюстрировано на рисунке 1.[4]

За период с 2007 по 2018 годы площадь посевов масличного льна выросла более, чем в 6 раз, а именно с 110 до 745,6 тыс. га; валовой сбор семян резко увеличился и, например, в 2016 году превысил 700 тыс. тонн, при этом общая урожайность культуры в этом году составила 10,4 ц/га.[5]

Резкий рост производства семян льна в России стал возможен благодаря высокой цене на масличные культуры на мировом рынке и экспортным перспективам. Как в предыдущие годы, так и сейчас рынок масличного льна является сугубо экспортоориентированным, семена реализуются в Европу, также в последние годы растет вывоз в Китай и Вьетнам. Существенный рост переработки масличного льна в России подтверждает статистика по производству льняного масла. Так, с января по ноябрь 2018 года выпуск масла возрос в 1,5 раза до 15,3 тыс. тонн. Драйверами роста стали Центральный и Сибирский регионы. Масло реализуется как на внутреннем рынке, так и экспортируется, преимущественно в Китай.[6]

В России, как показывают расчеты, приведенные авторами (Новиков, 2017), даже при низкой уро-

[3] Marleau, R., & Ulrich, A. (2004). Generating a Profit from Oilseed Flax Straw http://www.usask.ca/soilsncrops/conference-proceedings/previous_years/files/2004docs/023pdf

[4] О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад.https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=12053

[5] Мода на лен http://agro-barsa.ru/ gazeta/stati/2016/03/07/moda-na-len.html

[6] Итоги года 2018. Масличные. https://www.ikar.ru/lenta/672.html дата обращения 29.04.2019

Рисунок 1. Динамика показателей посевных площадей, валовых сборов и урожайности масличного льна в России за период 2007-2018гг

жайности семян (0,6 т/га) обеспечивается рентабельность их выращивания на уровне 20%, а при урожайности семян 1т/га - рентабельность приближается к 100%. При урожайности семян свыше 1-1,5 т/га рентабельность может достичь 120–135% (Kolotov, 2015). Вполне вероятно, по этой причине семена льна в качестве сырья, в основном, идут на экспорт. Их использование на внутреннем рынке для производства продуктов с добавленной стоимостью невелико.

Функциональные ингредиенты и биологически активные компоненты семян льна

Семена льна являются источником основных функциональных пищевых ингредиентов и биологически активных веществ, оказывающих благотворное влияние на организм человека. В последние 30 лет проводятся широкие экспериментальные исследования по влиянию семян льна и их биологически активных веществ на снижение и профилактику различных заболеваний (Muir, 2003; Oomah, 1998; Udenigwe, 2010; Adolphe, 2010; Korkina, 2011; Imran, 2015; Gutte, 2015 ; Sahoo, 2015). Разнообразие биохимического состава семян льна представлено на рисунке 2.

Липиды семян льна. Традиционно семена льна рассматриваются как источник масла, содержащего более 50% α-линоленовой кислоты, которая относится к полиненасыщенным жирным кислотам класса ω-3. Промышленная переработка семян льна предусматривает в основном получение льняного масла, технического и пищевого.

Нейтральные липиды льняного масла в первую очередь представлены триглицеридами или триацилглицеринами с разными жирно-кислотными остатками. Основные насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав глицеридов льняного масла показаны в Таблице 1.

Химический состав льняного масла в большей степени зависит от района и условий возделывания, чем от сортовых особенностей. Как правило, южный, мягкий климат благоприятствует образованию и накоплению олеиновой кислоты, в северном климате образуется больше линоленовой кислоты

Таблица 1
*Жирнокислотный состав льняного масла**

Название кислоты	символ	формула	содержание,%
		насыщенные:	
пальмитиновая	$C_{16:0}$	$CH_3 – (CH_2)_{14} - COOH$	4,7-8,6
стеариновая	$C_{18:0}$	$CH_3 – (CH_2)_{16} - COOH$	2,2-6,3
		ненасыщенные:	
олеиновая	$C_{18:1}$	$CH_3 (CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7 COOH$	13,0-22,0
линолевая	$C_{18:2}$	$CH_3 (CH_2)_4CH = CHCH_2CH = CH(CH_2)_7- COOH$	12,2-17,8
линоленовая	$C_{18:3}$	$CH_3 CH_2CH = CHCH_2CH = CHCH_2CH=CH(CH_2)_7 COOH$	39,8-60,9

Примечание. *Источники: Oomah, 2001; Morris, 2007; Rubilar, 2010; Singh, 2011; Anwar, 2013; Guimaraes, 2013

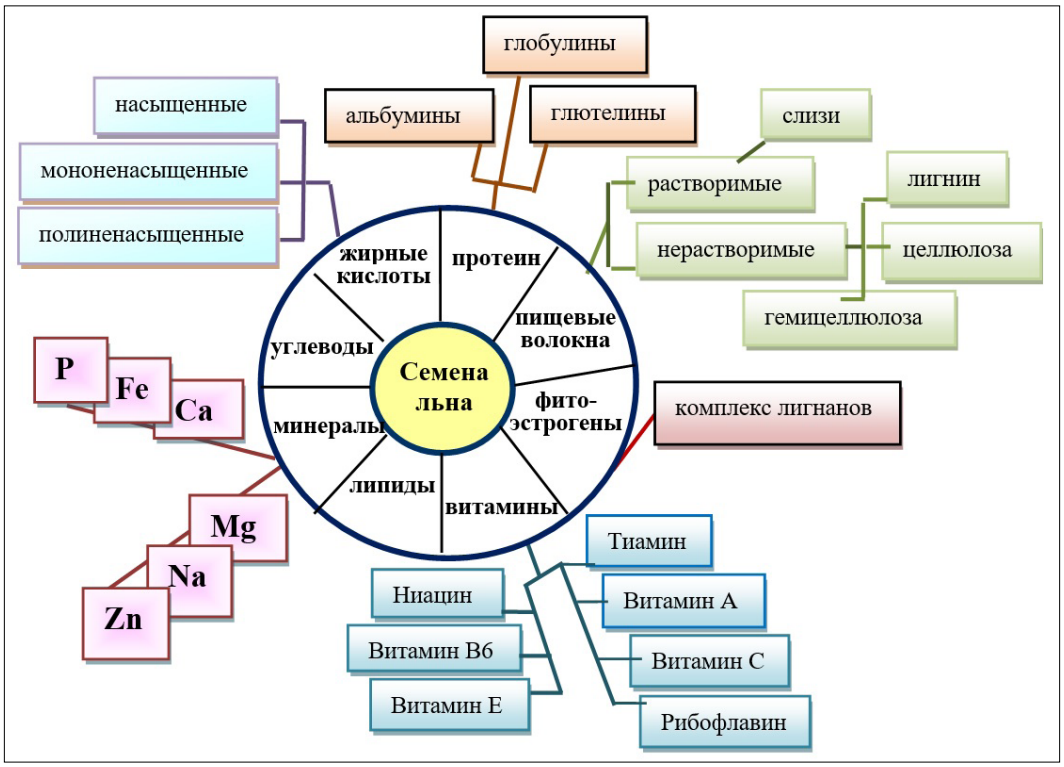

Рисунок 2. Биохимический состав семян льна

(Минкевич, 1957).

Ценность льняного масла определяется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, особенно α-линоленовой (ALA), и низким содержанием насыщенных (таблица 1) Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) льняного семени – α-линоленовая (ω-3) (ALA) и линолевая (ω-6) (LA) признаны эссенциальными. Они являются предшественниками длинноцепочечных ПНЖК человеческого организма и входят в состав практически всех клеточных мембран (Lunn, 2006; Gebauer, 2006). ALA метаболизируется в докозогексановую кислоту (DHA) (ω-3) и эйкозопентаеновую кислоту (EPA) (ω-3). О пользе для здоровья всех ω-3 жирных кислот (ALA, EPA и DHA) широко известно, включая сердечно-сосудистые заболевания, гипертонию, атеросклероз, диабет, рак, артрит, остеопороз, аутоиммунные нарушения и неврологические расстройства (Simopoulos, 2000; Gogus, 2010). ALA льняного семени обладает противораковой активностью, уменьшает содержание триглицеринов в крови, понижает содержание холестерина, оказывает антитромботическое и противовоспалительное действие (Chen, 1991; Riediger, 2009; De Lorgeril, 2001; Hurteau, 2004).

Линоленовая кислота в комбинации с линолевой и другими полиеновыми кислотами влияют на абсорбцию жирорастворимых витаминов А, Д, Е и К (Толкачев, 2000). Также ω-3 ПНЖК рассматриваются в качестве компонента лечебной диеты при ожирении (McCullough, 2011)[7].

Баланс ω-3 и ω -6 ПНЖК важен для гомеостаза и нормального развития человеческого организма. Высокое содержание ω -6 в рационе человека сдвигает его физиологическое состояние, вызывая увеличение вязкости крови, спазмы и сужение сосудов, тогда как ω-3 обладают антистрессовым, антиаритмическим и сосудорасширяющими свойствами (Coonor, 2000)[8]. Соотношение этих кислот считается оптимальным как ω-6 : ω-3 = (5-10):1 (Кулакова, 2009). Баланс α-линоленовой и линолевой кислот в льняном и популярных маслах представлен в Таблице 2 (Цыганова, 2010).

В подсолнечном масле, широко используемом на территории страны, ω-3 ПНЖК практически отсутствуют. В пшеничном масле содержание ω -6 в 4

[7] Гичев, Ю. Ю., & Гичев, Ю. П. (2001). *Руководство по биологически активным добавкам*. М.: «Триада-Х», 232с.
[8] Там же

Таблица 2
Содержание основных ненасыщенных жирных кислот в растительных маслах

Продукт	Среднее содержание (% от суммы жирных кислот)			ω-6 : ω-3
	Олеиновая (ω-9)	Линолевая (ω-6)	Линоленовая (ω-3)	
Льняное масло	24,0	19,0	45,0	1: 2,4
Пшеничное масло	22,0	42,0	10,0	4,2: 1
Подсолнечное масло	26,0	46,0	0,2	-
Соевое масло	22,0	53,0	7,5	7,1: 1

раза выше ω-3. Однако пшеничная мука содержите не более 1,3% жира, что не может восполнить суточную потребность организма в ПНЖК, несмотря на то, что мучные изделия составляют значительную долю в рационе питания россиян. В соевом масле баланс ПНЖК можно считать оптимальным, однако его потребление в России значительно меньше по сравнению с подсолнечным. Из всех популярных пищевых растительных масел льняное является концентрированным источником ω-3 ПНЖК и перспективным компонентом для создания продуктов с улучшенным жирнокислотным составом.

Минорные липиды и жирорастворимые соединения включают моноацилглицериды, диацилглицериды, токоферолы, стеролы, фосфолипиды, воски, свободные жирные кислоты, каратиноиды (Shim, 2014).

Токоферолы являются самыми распространенными в природе эффективными антиоксидантами. Как правило, антиоксидантная активность изомеров токоферолов увеличивается в ряду: α, β, γ, δ (Engberg, 1993). Наибольшее содержание в семенах льна и льняном масле - у γ-токоферолов (мг/кг): в среднем 29,7 по сравнению с 0,55 (α-токоферол) и 0,45 (δ-токоферол) (Morris, 2007).

Протеины льняного семени. Протеины в семенах льна являются вторым компонентом после липидов (18-25%). После удаления масла в зависимости от технологии процесса в обезжиренных семенах льна (жмыхе или шроте) содержание протеинов может составлять от 25 до 45%. Протеины семян льна, характеризуются сбалансированным аминокислотным составом и высокой питательной ценностью (Gutte, 2015; Rabetafika, 2011; Amin, 2014; Kajla, 2015) .

Аминокислотный профиль протеинов семян льна представлен на рисунке 3 (Цыганова, 2010).

Следует отметить преобладание суммы незаме-

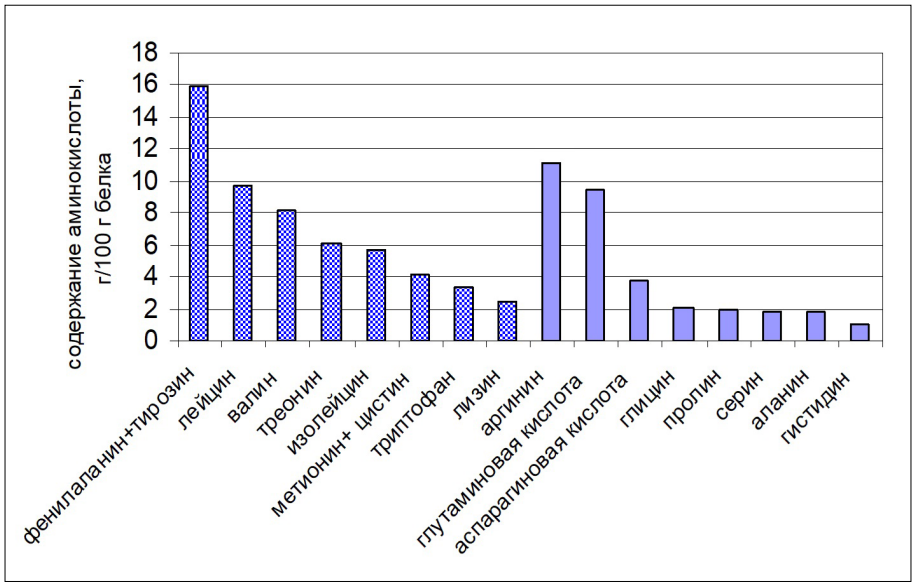

Рисунок 3. Аминокислотный профиль протеинов семян льна: ▩ - незаменимые аминокислоты; ■ - заменимые аминокислоты

нимых аминокислот в белковом комплексе семян льна. Для протеинов семян льна характерен высокий уровень ароматических аминокислот – фенилаланина и тирозина, которые обеспечивают функции щитовидной железы и способствуют улучшению деятельности центральной нервной системы. Соотношение лизин/аргинин для семян льна значительно ниже (0,22 – 0,25), чем для сои (0,88), что свидетельствует о меньшей атерогенности льняного белка по сравнению с соевым. Низкий показатель говорит о положительном влиянии на состояние сердечно-сосудистой системы (Kaushik, 2016; Marambe, 2008).

По растворимости белки семян льна аналогично белкам масличных культур, делятся на три фракции, извлекаемые водой (альбумины), солевыми (глобулины) и щелочными (глютелины) растворами[9],[10]. Большая часть белковых веществ семян льна приходится на долю водорастворимой фракции, их содержание может превышать 50 %. На рисунке 4 представлено соотношение белковых фракций для семян льна-долгунца (сорт Алексим, урожай 2006 г) (Цыганова, 2010).

Различия в соотношении белковых фракций связаны с сортовыми особенностями, условиями выращивания и обработки семян (Нечаев, 2003)[11].

Биологическая активность пептидов из семян льна обуславливает уменьшение риска сердечно-сосудистых болезней (Udenigwe, 2010).

В семенах льна присутствуют олеозины – липофильные белки, ассоциированные с липидами с молекулярной массой 16-24 kDa и составляющие не более 7 % общего содержания протеинов (Tzen, 1993; Thompson, 2003), а также Cd-связанные белки (~ 7 %) с небольшой молекулярной массой 1,6 kDa (Lei, 2003).

Льняные белки имеют более низкую растворимость, но лучшую термическую стабильность по сравнению с другими белками из масличных семян. Температура денатурации льняного белка выше 100°C, что выше этого показателя для соевого и конопляного (Kaushik, 2016).

Функциональные свойства льняного белка, такие как связывание воды, абсорбция масла, эмульгирующая способность сравнимы с аналогичными свойствами широко используемого соевого белка (Kaushik, 2016)[12]. Эти функциональные свойства улучшаются в присутствии полисахаридов слизей семян льна, что можно объяснить синергетическим взаимодействием льняных белков и полисахаридов (Kuhn, 2014; Wang, 2010).

Пищевые волокна семян льна. Семена льна известны, не только как, источник полиненасыщенных жирных кислот, полноценного белка, но и некрахмальных полисахаридов, сосредоточенных

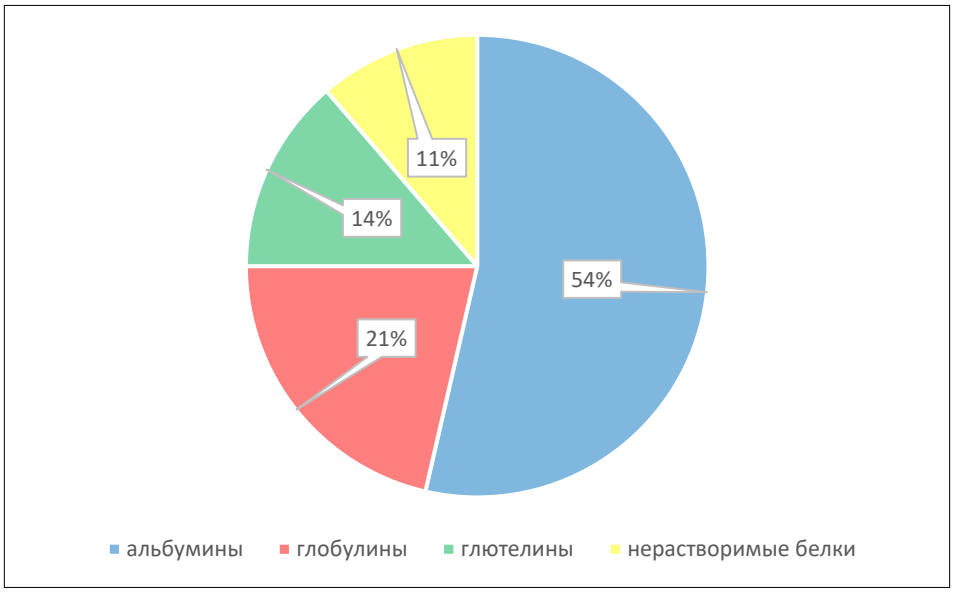

Рисунок 4. Соотношение белковых фракций в семенах льна

[9] Щербаков, В. Г., & Лобанов В. Г. (2003). *Биохимия и товароведение масличного сырья*. Учебник для вузов – 5-е издательство переработанное и дополнение М.: КолосС.
[10] Нечаев, А.П. (Ред.) (2003). *Пищевая химия*. ГИОРД, 640с.
[11] Там же
[12] US Patent 5925401 МКИ A23J 1/14 1/00, July 20, 1999. Flax preparation, its use and production /Kankaanpaa-Anttila et al.

в их слизевых клетках. Некрахмальные полисахариды (non-starch polysaccharides) представляют собой группу веществ, называемых плохо перевариваемыми углеводами (low-digestible carbohydrates) или пищевыми волокнами (dietary fiber) (Englyst, 2007).

Пищевые волокна относят к особо значимым физиологически функциональным ингредиентам, для которых определены уровни суточного потребления[13], и к пищевым добавкам, обладающим широким спектром функционально-технологических свойств. В группу пищевых волокон входят в основном растительные полисахариды, которые существенно влияют на процессы переваривания, усвоения, микробиоциноз и эвакуацию пищи.

Растворимые пищевые волокна семян льна представлены полисахаридами слизей, которые относятся к пищевым добавкам типа гидроколлоидов (Миневич, 2017). Их роль в метаболизме пищевых веществ аналогична растительным пищевым волокнам, выделенным из других культур.

Полисахариды льняной слизи легко растворяются в холодной воде, образуют вязкие растворы при небольших концентрациях (1-3%). Согласно современным представлениям они представляют собой смесь высокомолекулярных полисахаридов (Warrand, 2005).

Качественный и количественный состав полисахаридов слизей, а также соотношение их фракций: нейтральной и кислой зависят от сортовых особенностей и климатических условий (Ущаповский, 2015; Qian, 2014; Warrand, 2003). В состав моноз полисахаридов льняных слизей входят ксилоза, глюкоза, галактоза, рамноза, фукоза и галактуроновая кислота. На диаграмме (см. рисунок 5) представлено общее содержание моноз полисахаридов и

[13] Акопова, Н.Е., Емельянова, Е. В.,Кучурова, Л.С. (Ред.) (2009). *Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации.* Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

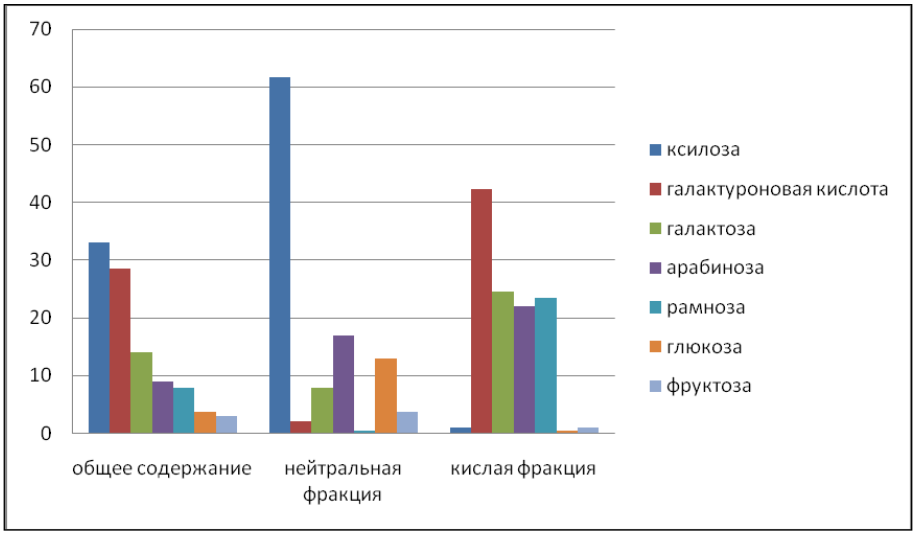

Рисунок 5. Состав полисахаридов слизи семян льна, в % (диаграмма составлена Миневич (Миневич, 2017) по данным источника (Warrand, 2003))

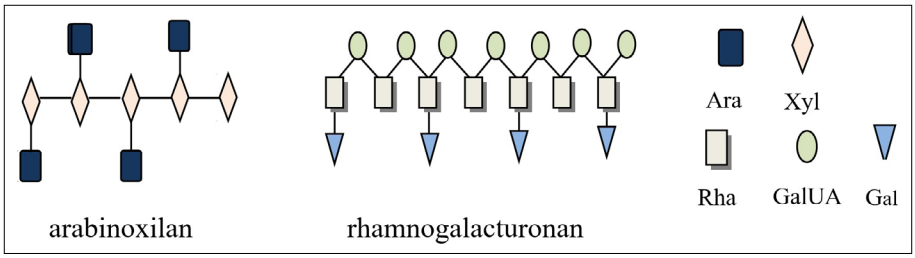

Рисунок 6. Структура нейтральной и кислой фракций полисахаридов льняных слизей, содержащих следующие монозы: Ara – L-арабиноза, Xyl – D-ксилоза, Rha – L-рамноза, GalUA – галактуроновая кислота, Gal – D-галактоза

фракций: нейтральной и кислой.

Методами различных видов гидролиза авторами (Emaga, 2012; Alix, 2008) были определены структуры основных полисахаридов этих фракций, представленные на рисунке 6.

Нейтральные полисахариды или арабиноксиланы состоят из остатков ксилана, соединенных β(1→4) связями в основной цепи, и в основном L-арабинозы в боковых цепях. Кислая фракция содержит L-рамнозу, D-галактозу, D-галактуроновую кислоту. Опорными скелетными полисахаридами кислой фракции считаются полисахарид из остатков рамнозы, соединенных в положении α(1→2), и полисахарид из остатков галактуроновой кислоты. Боковые цепи образованы большей частью галактозой.

Большое значение для функциональных свойств полисахаридов семян льна, использующихся в качестве гидроколлоидов, имеет содержание в них протеина (Миневич, 2018). В зависимости от условий выделения количество белка может варьироваться в интервале 5-60 % (Singer, 2011).

Другую часть углеводов льняного семени составляет нерастворимая фракция клетчатки, которая представлена целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином (рисунок 1); их роль аналогична действию пищевых растительных волокон (Sakagami, 1991). Полисахариды слизи снижают риск развития диабета, коронарно-сосудистых заболеваний. Клетчатка льняного семени является одним из факторов, способствующих уменьшению ожирения (Oomah, 1998).

Лигнаны семян льна. Льняное семя является одним из богатейших источников лигнанов, относящихся к классу фитоэкстрогенов. Это вещества растительного происхождения, которые проявляют эстрогеноподобную активность в организме человека (Ason, 1990; Sakagami, 1991). В семенах льна преобладают лигнаны: ларицирезинол, матейрезинол, пинорезинол и секоизоларицирезинол (СИР). Семена льна содержат в 75-800 раз больше лигнанов по сравнению с злаковыми культурами (Kajla, 2015).

Основной лигнан льняного семени – дигликозид секоизоларацирезинола (СДГ) в организме человека под действием микрофлоры кишечника метаболирует в энтеролактон и энтеродиол (Johnsson, 2000). В многочисленных эпидемиологических исследованиях показано, что лигнаны льняного семени снижают риск развития гормонально-зависимых опухолей или замедляют их рост, проявляют заметную антиоксидантную активность (Suzuki, 2008; Korkina, 2011; Demark-Wahnefried, 2008; Mukker, 2010; Imran, 2015; Adolphe, 2010).

Наряду с лигнанами из обезжиренных семян льна выделены фенолокислоты: кумариновая и феруловая, обладающие высокой биологической активностью; обнаружены гликозиды п-кумариновой кислоты, феруловой и кофеиновой кислот (Толкачев, 2000). Все эти соединения: СДГ, гликозиды фенолокислот известны более 40 лет и могли бы найти широкое применение в качестве ценных ингредиентов и препаратов в пищевой и фармацевтической промышленности. Однако до настоящего времени не осуществлены промышленные технологии по их производству.

Антипитательные вещества семян льна. Льняное семя, наряду с ценными биологически активными веществами, также содержит соединения, которые могут влиять на процессы усвоения пищевых продуктов и образование нежелательных веществ. К этим соединениям относятся цианогенные гликозиды, линатин, фитиновая кислота, некоторые продукты окисления липидов. Из цианогенных гликозидов в семенах льна присутствуют линамарин, линустатин, неолинустатин. Общее содержание цианогенных гликозидов в семенах льна варьирует в пределах 2,5-5,5 мг/г. При этом в отечественных сортах преобладает линамарин: его обнаружено более 23 %, линустатина – 4,6 %, неолинустатина – 4,9 %, а в сортах зарубежной селекции, в основном канадских преобладает линустатин (Куцик, 2006; Ganorkar,2013; Russo, 2014). В настоящее время установлено, что семена льна содержат цианогенные гликозиды на безопасном для человеческого организма уровне, который не оказывает отрицательного воздействия на здоровье человека (Рудницкая, 2012; Цыганова, 2017; Толкачев, 2000).

Линатин – высокомолекулярное соединение, являющееся в фармакологическом аспекте антагонистом витамина B_6, то есть ингибирует усвоение пиридоксина (витамина B_6). Однако, в исследовательской практике не найдено влияния потребления продуктов и кормов с использованием льняного сырья на снижение витамина B_6, как у человека, так и у животных (Shim, 2014).

Фитиновая кислота оказывает на организм человека два противоположных эффекта. Она проявляет антиоксидантный, противоопухолевый, гипохолестерольный и гиполипидемический эффекты (Oomah, 1996). У человека и многих животных отсутствует пищеварительный фермент фитаза, поэтому входящие в состав фитина фосфаты и инизитол организмом не усваиваются (Bhatty, 1990).

Фитиновая кислота связывает белок и некоторые макро- и микроэлементы (K, Mg, Zn, Fe, Cu), что снижает их биодоступность. Значительная вариабельность содержания фитиновой кислоты в семенах льна (22,8-32,5 мкг/г) свидетельствует о ее безопасном количестве (Ganorkar, 2013).

По составу витаминов и минералов семена льна близки к зерновым культурам (Goyal, 2014). Они выделяются по содержанию фосфора (650 мг/100г), магния (350-431 мг/100г), кальция (236-250 мг/100г) и, особенно, калия (560-9200 мг/кг) (Morris, 2007).

Приведенные данные о компонентном составе семян льна характеризуют их как полифункциональный продукт, использование которого необходимо для поддержания здоровья современного человека и являются основанием для их широкого использования при разработке функциональных продуктов питания.

Практическое использование семян льна и продуктов их переработки. Семена льна можно использовать в целом, измельченном виде, в виде муки для создания различных видов продуктов. Помимо муки и масла перспективными функциональными ингредиентами являются белковые и полисахаридные продукты переработки семян льна (Миневич, 2017, 2019; Цыганова, 2019).

Разнообразные виды продуктов с использованием льняных ингредиентов представлены в таблицах 3-5. Особенно широко используются льняные ингредиенты в виде семян льна, льняной муки в рецептурах хлебобулочных (ХБИ) и мучных кондитерских изделий (МКИ) (таблица 3). Введение этих компонентов способствует повышению пищевой и биологической ценности изделий, их органолептических свойств. При этом содержание семян льна и льняной муки в рецептурах варьируется в широком интервале; оптимальным считается содержание 10-20 % (Ahmed, 2010; Mentes, 2008; Цыганова, 2019). При использовании льняной муки, в частности, в рецептурах маффинов некоторые

Таблица 3
Семена льна и продукты их переработки в мучных изделиях

Вид льняного ингредиента	Название изделия	Количество ингредиента, %	Источник
Измельченные семена льна	Хлеб	23	Aliani, 2012
	Дрожжевой хлеб	15-25	Mentes, 2008
	Маффины	7,3-15,5	Ramcharitar 2005
Льняное масло	Бисквит	5-50	Hassan, 2012; Rangrey, 2014
Льняная мука	Хлеб	5-15 5-30	Alpaslan, 2006; Conforti, 2009; Lipilina, 2009; Khattab, 2012;
	Бисквит	5-40	Rathi, 2012; Patil, 2013;
	Печенье	1-18	Khouryieh, 2012;
	Кексы	5-45	Bashir, 2006; Moraes, 2010; Пат. РФ 2683636, 2019[13].
	Маффины	2-15	Shearer, 2005; Миневич, 2018а; Цыганова, 2019.
Обжаренная льняная мука	Хлеб	5-15	Marpalle, 2014;
	Сдобный хлеб	10-20	Ahmed, 2010;
	Пицца	10-20	Ahmed, 2010;
	Печенье	5-30	Rajiv, 2015; Ganokar, 2015;
	Маффины	10-40	Sudha, 2010
Полисахаридный экстракт (настой)	Китайский хлеб на пару	1	Hao, 2012;
Сухой полисахаридный экстракт	Хлеб	10	Бойцова, 2015
	Маффины	0,1	Миневич, 2019; Цыганова, 2019

[13] Патент Российской Федерации 2683636 Заявление № 2018107856 от 02.03.2018. Опубликовано 29.03.2019. Бюллетень №10. Кекс. Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А., Левкина Г.И.

авторы исключили яичные продукты, что не повлияло на органолептические свойства продукта (Миневич, 2018а). Продукты переработки семян льна - сухие полисахаридные экстракты в качестве технологической добавки играют роль структурообразователя и водоудерживающего агента, их оптимальное содержание – 0,1 % , аналогично широко используемым для этой цели гидроколлоидам: гуар, камедь рожкового дерева (Миневич, 2017, 2019). По оценке авторов (Ahmed, 2010) при введении семян льна в хлебе увеличивается содержание белка на 15 %.

Молоко и молочные продукты являются оптимальной средой для биологически активных веществ. С целью повышения функциональности молочных продуктов использовали льняное масло и концентрат лигнанов из семян льна (Goyal, 2016; Goh, 2006; Hyvarinen, 2006). Льняные ингредиенты вводили в рецептуру мороженного, сыра, йогурта, сывороточных продуктов, масла (таблица 4). Включение до 12 % льняного масла при получении мороженного не изменяло структурных и вкусовых характеристик (Goh, 2006). Биологически активная добавка лигнана (СДГ) из семян льна, добавленная в молоко при получении различных молочных продуктов: сыра, йогурта, была стабильна в условиях ферментации и высокотемпературной пастеризации (Hyvarinen, 2006).

Льняные семена обладают уникальным приятным ореховым вкусом и запахом, которые дополняют сенсорные свойства продуктов. Масло с добавкой семян льна в виде суспензии имело чистый сливочный вкус, запах добавленных семян и хорошую пластичность (Ivanov, 2011).

Популярные в настоящее время экструзионные продукты также часто обогащаются функциональными ингредиентами, в том числе семенами льна и льняной мукой (таблица 5). Экструзия – идеальный технологический процесс для обогащения продуктов белками, пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и другими добавками, что позволяет создавать продукты с регулируемой пищевой, биологической и энергетической ценностью. Для формирования композитных смесей используют различные группы пищевых продуктов:

Таблица 4
Молочные продукты с различным содержанием льняных ингредиентов

Вид льняного ингредиента	Название продукта	Количество ингредиента	Способ получения продукта	Источник
Льняное масло	Индийский йогурт Мороженное	1-3 % 3-12 %	Ферментация Замораживание	Goyal, 2016 Goh, 2006
Концентрат лигнанов	Сыр Йогурт Молоко Сывороточные напитки	1г/10л 100 мг 1 % 10мг/100мл	Пастеризация и ферментация Ферментация Тепловая обработка Пастеризация	Hyvarinen, 2006
Льняная суспензия	Масло	0,8-1,6 %	Суспензирование	Ivanov, 2011

Таблица 5
Различные виды продуктов, обогащенных семенами льна и льняной мукой

Продукт	Ингредиент	Количество ингредиента, %	Источник
Экструзионные продукты:			
Сухие завтраки	Льняная мука	10-12	Bhise, 2014; Осипова, 2016.
Макаронные изделия	Льняная мука, измельченные семена льна	5-20	Lee, 2004; Manthey, 2008; Sinha, 2008.
Снэки	Льняная мука	1-20	Trevisan, 2011; Mesquita, 2013; Vadukapuram, 2014.
Пасты, соусы	Льняная мука Обжаренные измельченные семена льна	3-6 25	Пат. 2524076[14]; Миневич, 2015; Ahmed, 2010
Колбасные изделия	Льняное масло	3,3	Ansorena, 2004
Чипсы Флаксы	Льняная мука Семена льна	10-20 100	Yuksel, 2014 Пономарева, 2017

[14] Патент Российской Федерации 2524076 Заявление №2013109883 от 05.03.2013. Опубликовано 27.07.2014. Бюллетень № 21. Соус майонезного типа с льняной мукой «Будь здоров». Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А.

муку различных злаков и круп, овощи и фрукты сублимированной сушки, сухие молочные продукты, вкусоароматические вещества. Добавка в зерновую смесь льняных продуктов (семян, муки) в количестве 12%, как показали авторы (Осипова, 2016) является оптимальной, позволяет повысить биологическую ценность и органолептические свойства изделий.

Снеки с льняной мукой обладали однородной пористой структурой, высокой растворимостью и, соответственно, высокой усвояемостью, сохраняя при этом важное комфортное потребительское свойство – хрусткость при употреблении таких продуктов (Mesquita, 2013). Снеки, приготовленные из кукурузной и льняной муки, показали 7-кратное увеличение содержания пищевых волокон, 2-кратное увеличение содержания протеина и не отличались по своим органолептическим свойствам от производимых в промышленности кукурузных снеков (Trevisan, 2011).

Макаронные изделия с льняной мукой и измельченными семенами льна показали стабильность α-линоленовой кислоты в результате экструзионной обработки. Однако для повышения прочности структуры этого вида изделий авторы рекомендовали использовать льняную муку в смеси с манной крупой из твердых сортов пшеницы – семолиной (Manthey, 2008; Sinha, 2008).

Использование льняной муки в качестве эмульгатора при производстве соусов позволяет обеспечить требуемую вязкость продукта, хорошую консистенцию, отличную стойкость эмульсии, устойчивость продукта при хранении, экономичность технологического процесса, приготовление продуктов любой жирности (Миневич, 2015).

Определенное повышение пищевой ценности сырокопченых колбас было достигнуто путем замены части (25%) свиного жира на льняное масло (Ansorena, 2004). При этом соотношение полиненасыщенных жирных кислот ω-6: ω-3, как определили эти авторы, удалось снизить с 14,1 до 1,7-2,1.

В работе (Yuksel, 2014) получали пшеничные чипсы с добавлением льняной муки. Такие чипсы характеризовались повышенным содержанием белка и полиненасыщенных жирных кислот класса ω-3. Наилучшие органолептическими свойствами обладали чипсы с содержанием льняной муки 10%.

Удовлетворительные результаты при использовании семян льна и льняной муки в пищевых технологиях можно объяснить функционально-технологическими свойствами их ингредиентов: некрахмальных полисахаридов слизи и протеинов (см. Таблица 6).

Функциональные свойства льняного белка, такие как связывание воды, абсорбция масла, эмульгирующая способность сравнимы с аналогичными свойствами широко используемого соевого белка (Kaushik, 2016).

Для полисахаридов семян льна характерна высокая водоудерживающая способность, которая срав-

Таблица 6
Функциональные ингредиенты семян льна: полисахариды слизи и протеины, в пищевых продуктах

Функциональный ингредиент	Использование/свойства	Источник
Полисахариды слизи	Эмульгатор и стабилизатор для соусов, колбас, мясных эмульсий, салатных заправок	Stewart, 2000; Eyres, 2015
	Влагоудерживающий агент	Lipilina, 2009
	Структурообразователь	Kishk, 2011
	Функциональный пищевой ингредиент (взаимодействие с полисахаридов с протеинами регулирует уровень глюкозы в крови)	Singer, 2011
Протеины	Стабилизатор, эмульгатор для мороженного, соусов, мясных эмульсий	Martinez-Flores, 2006
	Противогрибковое действие	Hu, 2008
	Обеспечение вязкоупругой текстуры экструдированных макаронных изделий, сухих завтраков и снеков	Wu, 2010
	Повышение пищевой ценности безглютеновых продуктов	Gambus, 2009
	Заменитель яиц и желатина в хлебобулочных изделиях и мороженном	Shearer, 2005
	Функциональный пищевой ингредиент	Moller, 2008

нима с аналогичным показателем гуаровой камеди (Singer, 2011; Sun, 2011).

Авторы (Barbary, 2009), на основе изучения таких свойств полисахаридов слизи семян льна, как растворимость, пеноустойчивость, вязкость, считают, что их можно использовать в качестве аналога гуммиарабика в пищевых технологиях.

Высокие технологические свойства льняной муки можно объяснить синергетическим взаимодействием льняных белков и полисахаридов (Kuhn 2014, Wang 2010). Льняная мука улучшает стабильность пены и водопоглотительную способность продуктов; введение обжаренной льняной муки до 16% не ухудшало органолептические свойства ХБИ, в частности индийского хлеба (Indian bread) (Hussain, 2008).

Заключение

Анализ научных источников показал, что семена льна и продукты их переработки являются источником биологически активных веществ и функциональных ингредиентов. Следует отметить, что бóльшая часть публикаций посвящена биологическим и клиническим исследованиям ω-линоленовой кислоты и лигнанов семян льна. Их эссенциальные функциональные ингредиенты (полисахариды слизи, протеины) стали привлекать большое внимание исследователей и практиков в связи с ростом мирового рынка продуктов здорового питания и популяризации здорового образа жизни.

В России в промышленных масштабах получают только льняное масло и льняную муку. У нас не осуществлены технологии глубокой переработки семян льна, которые позволяют получать целый ряд функциональных ингредиентов (белки, пищевые волокна, лигнаны, фенолокислоты) и их использовать для расширения ассортимента продуктов здорового питания, биологически активных добавок и фармпрепаратов.

Использование семян льна в качестве функционального продукта поддерживается на правительственном уровне разных стран. Так, в 2004 году Управление по контролю за продуктами и лекарствами США рекомендовало декларировать содержание ω-3 жирных кислот, в том числе ω-линоленовой кислоты, на этикетках пищевых продуктов (Morris, 2007). Это позволило потребителям регулировать потребление ω-3 жирных кислот путем выбора продуктов, включая семена льна и продукты с их использованием. В 2005 году в «Руководстве по питанию» (Dietary guidelines for Americans)[14] семена льна были названы растительным источником ω-3 жирных кислот. В нашей стране в 2005 году в ГОСТе Р 52349 полиненасыщенные жирные кислоты, пищевые волокна наряду с другими биологически активными веществами были отнесены к физиологически функциональным пищевым ингредиентам.[15] Соответствие семян льна требованиям как функциональному продукту по содержанию физиологически функциональных пищевых ингредиентов было обосновано, в частности, в работе (Цыганова, 2010).

В настоящее время семена льна считаются функциональным пищевым продуктом, функциональные ингредиенты которого оказывают доказанное физиологическое действие на организм человека. Функционально-технологические свойства пищевых ингредиентов семян льна позволяют улучшить технологические и органолептические свойства пищевых продуктов, а также повысить их пищевую ценность.

Множество научных исследований семян льна являются обоснованным подтверждением необходимости широкого внедрения этой многофункциональной культуры в пищевые технологии 21 века.

Литература

Бойцова, Т. М., Назарова, О. М. (2015). Настой семени льна в технологии производства ржано-пшеничного хлеба. *Хлебопечение России*, *3*, 24-26.

Кулакова, С. Н., Байков, В. Г., Бессонов В. В., Нечаев А. П., & Тарасова, В. В. (2009). Особенности растительных масел и их роль в питании. *Масложировая промышленность*, *3*, 16-20.

Куцик, Р. В., & Зузук, Б. М. (2006). Лен культурный. Аналитический обзор. *Провизор, 1,* 1-3.

Миневич, И. Э., Осипова,, Л. Л., Нечипоренко, А. П., Смирнова, Е. И., & Мельникова, М. И. (2018с). Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна. *Научный журнал Национальный Исследовательский Университет Информационных Технологий Механики и Оптики. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 2*(36), 3-11. https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11

[14] U.S. Department of Health and Human Services, U.S. Department of Agriculture (2005). Dietary guidelines for Americans 2005. http://www.healthierus.gov/dietaryguidelines

[15] ГОСТ Р 52349-2005 Продукты пищевые функциональные. Термины и определения(2006). Стандартинформ.

Миневич, И. Э., & Осипова, Л. Л. (2017). Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях. *Научный журнал Национальный Исследовательский Университет Информационных Технологий Механики и Оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств, 3*, 16-25. https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25

Миневич, И. Э., & Осипова, Л. Л. (2018a). Разработка рецептур и оценка качества мучных кондитерских изделий «Льняной маффин». *Хлебопродукты, 4*, 56-58.

Миневич, И. Э., & Осипова, Л. Л. (2018b). Функциональные свойства льняных белок-полисахаридных продуктов. *Хлебопродукты, 6*, 38-39.

Миневич, И. Э., Осипова, Л. Л., & Цыганова, Т. Б. (2019). Гидроколлоиды семян льна в технологии безглютеновых маффинов. *Хлебопродукты, 1*, 56-58. https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-1-56-58

Миневич, И. Э., Осипова, Л. Л., & Зубцов, В. А. (2015). Оценка соусов с льняной мукой профильным методом сенсорного анализа. В *Сельскохозяйственные машины* (с. 76-80).

Минкевич, И.А. (1957). *Лен масличный.*Сельхозгиз.

Новиков, Э. В., Басова, Н. В., Ущаповский, И. В., & Безбабченко, А. В. (2017). Масличный лен как глобальны сырьевой ресурс для производства волокна. *Молочнохозяйственный вестник, 3*, 187-203.

Новоселов, В. С. (1996). *Тайны льна и поиски науки. Кн.1. В глубь тысячелетий*. ВНИИЛ.

Осипова, Л. Л., Миневич, И. Э., & Зубцов, В. А. (2016). Новые рецептуры продуктов функционального назначения с использованием семян льна и льняной муки. В *Социально-экономические и экологические аспекты развития регионов и муниципальных образований: проблемы и пути их решения* (с. 253-258).

Пономарева, Е. И., Лукина, С. И., Одинцова, А. В., & Кобзева, А.О. (2017). Определение рациональных параметров приготовления флаксов. *Хлебопродукты. 5,* 39-41.

Прянишников, Д. Н. (1921). *Растения полевой культуры*. Госиздат.

Рудницкая, Ю. И., & Березовикова, И. П. (2012). Безопасность использования льняной муки в технологиях кулинарной продукции. *Техника и технология пищевых производств, 1*(24), 59А-63.

Танфильев, Г. (1923). *Очерк географии и истории главнейших культурных растений*. Госиздат Украины.

Толкачев, О. Н., & Жученко мл., А. А. (2000). Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании (обзор). *Химико-фармацевтический журнал*, *34(7)*, 23-30.

Ущаповский, И. В., Ожимкова, Е. В., Сульман, Э. М., Мартиросова, Е. И., & Плащина, И. Г. (2015). Генетическое разнообразие льна (Linum usitatissimum L.) по гликано-протеиновому составу слизи семян. *Российская сельскохозяйственная наука. 4,* 14-17.

Федосова, Г. А. (2005). Лен-долгунец в России. *Ботаника, 16*.

Федосова, Н. М., Вихарев, С. М., & Соколов, А. С. (2013). *Совершенствование методов оценки технологического качества льна и приемов его переработки: монография*. Издательство Костромского государственного технологического университета.

Хрикян, С. А. (2017). Эффективность выращивания льна масличного в современных условиях. *Молодой ученый, 1*, 281-284.

Цыганова, Т. Б., Миневич, И. Э., Зубцов, В. А., & Осипова, Л. Л. (2010). *Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки.* Издательство Эйдос.

Цыганова, Т. Б., Миневич, И. Э., & Осипова, Л. Л. (2019). Полисахариды семян льна: практическое применение. *Хранение и переработка сельхозсырья, 2*, 24-36. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.151

Цыганова, Т. Б., Миневич, И. Э., Осипова, Л. Л., Зубцов, В. А., & Смирнова, Е. И. (2017). К вопросу о пищевой безопасности семян льна и продуктов их переработки. *Хлебопечение России*, *2*, 23-26.

Adolphe, J. L., Whiting, S., & Junrlink, B. H. (2010). Health effects with consumption of the flax lignin secoisolariciresinol diglucoside. *British Journal of Nutrition, 103*, 929-938.

Ahmed, M. G., Header, E. A., El-Sherif, F. A., El-Dashlouty, M. S., & El-Brollose, S. A. (2010). Sensory, chemical and biological evaluation of some products fortified by whole flaxseed. *Egyptian Journal of Agricultural Research, 88*, 257–271.

Aliani, M., Ryland, D., & Pierce, G. N. (2012). Effect of flax addition on the flavor profile and acceptability of bagels. *Journal of Food Science, 77*(1), S62-S70. http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02509.x

Alix, S., Marais, S., Morwan, C., & Lebrun, L. (2008). Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties. *Composites Part A*, *39*, 1793-1801.

Alpaslan, M., & Hayta, M. (2006). The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. *Journal of Food Quality*, *29,* 617–627.

Amin, T., & Thakur, M. (2014). *Linum usitatissimum* L. (Flaxseed)–A Multifarious Functional Food. *Online International Interdisciplinary Research Journal, {Bi-Monthly}*, *IV(I),* 220-238.

Ansorena, D., & Astiasarán, I. (2004). The use of linseed oil improves nutritional quality of the lipid fraction of dry-fermented sausages. *Food Chemistry, 87,* 69–74. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.019

Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B., & Jamil, A. (2013). Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (Linum usitatissimum Linseed.): enhancement in yield, quality and phenolics of the oil. *Grasas y Aceites,* 64(5), 463–471. http://dx.doi.org/10.3989/gya.132212

Ason, P. J. C., Ayres, D. C., & Baxter, H.(1990). *Chemistry and Pharmacology of Natural Products.* Cambridge University Press.

Barbary, O. M., Al-Sohaimy, S. A., El-Saadani, M. A. (2009). Extraction, Composition and Physicochemical Properties of Flaxseed Mucilage. *International Journal of Advance Agricultural Research, 14(3),* 605-621.

Bashir, S. Masud, T., & Latif, A. (2006). Effect of flaxseed (Linum usitatissimum) on the baking properties of cakes and cookies. *International Journal of Agricultural Research 1*, 496–502. http://dx.doi.org/10.3923/ijar.2006.496.502.

Bernacchia, R., Preti, R., & Vinci, G. (2014). Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. *Austin Journal of Nutrition and Food sciences*, *2(8)*, 1045.

Bhatty, R. S., & Cherdkiatgumchai, P. (1990). Compositional analysis of laboratory-prepared and commercial samples of linseed meal and of hull isolated from flax. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 57*, 79-84.

Bhise, S., Kaur, A., & Aggarwal, P. (2014). Development of protein enriched noodles using texturized defatted meal from sunflower, flaxseed and soybean. *Journal of Food Science and Technology, 52,* 5882–5889. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1630-1

Chen, J. K., Bruce, V. M., & McDonald, B. E. (1991). Dietary α-linolenic acid is as effective as oleic acid and linoleic acid in lowering blood cholesterol in normolipedemic men. *The American Journal of Clinical Nutrition, 53,* 1230-1234.

Conforti, F. D, & Cachaper, K. F. (2009). Effects of selected antioxidants on physical and sensory characteristics of yeast bread containing flaxseed meal. *International Journal of Consumer Study, 33,* 89–93. http://dx.doi.org/10.1111/ j.1470-6431.2008.00729.x

Coonor, W. E. (2000). Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition, 71,*197-201.

De Lorgeril, M., Salen, P., Laporte, F., & de Leiris, J. (2001). Alpha-linolenic acid in the prevention and treatment of coronary heart disease. *European Heart Journal Supplements, 3,* 26-32.

Demark-Wahnefried, W., Polascik, T. J., & George, S. L. (2008). Flaxseed supplementation (not dietary fat restriction) reduces prostate cancer proliferation rates in men presurgery. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 17(12),* 3577-3587.

Emaga, T. H., Rabetafika, N., & Blecker, C. S. (2012). Kinetics of the hydrolysis of polysaccharide galacturonic acid and neutral sugars chains from flaxseed mucilage. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 16(2)*, 139-147.

Engberg, R. M, Jakobsen, K., & Hartfill, W. (1993). The biological activity of natural source tocopherols in pigs fed on a linoleic acid rich die. *Fat Science Technology, 95*, 537-542.

Englyst, K. N., Liu S., & Englyst H. N. (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61* (Supp. L) 1. P. 19-39.

Eyres, L. (2015). Flaxseed fibre - a functional superfood. *Food Standards Australia New Zealand*, *15(5)*, 24.

Gambus H., Gambus F., & Pastuszka D., (2009). Quality of gluten-free supplemented cakes and biscuits. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60*, 31-50.

Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2013). Flaxseed – a nutritional punch. Mini Review. *International Food Research Journal, 20(2),* 519-525.

Gebauer, S. K., Psota, T. L., Harris, W. S., & Kris-Etherton, P. M. (2006). n-3 fatty acid dietary recommendations and food sources to achieve essentiality and cardiovascular benefits. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *83,* 1526S–1535S.

Gogus, U., & Smith, C. (2010). n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science and Technology 45.* 417–436.

Goh, K. K. T., Ye, A., & Dale, N. (2006). Characterisation of ice cream containing flaxseed oil. *International Journal of Food Science and Technology 41*, 946–953.

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science and Technology, 51(9), 1633–1653. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9

Guimaraes, R. D. C. A, Macedo, M. L. R, Munhoz, C. L., Filiu, W., Viana, L. H., Nozaki, V. T., & Hiane, P. A. (2013). Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats. *Food Science and Technology* (Campinas), 33(1), 209–217. http://dx.doi.org/10.1590/SO101-20612013005000029

Gutte, K. B., Sahoo, A. K., & Ranveer R. C. (2015). Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 31*(1), 42-51.

Hao, M., & Beta, T. (2012). Development of Chinese

steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts. *Food Chemistry, 133*, 1320–1325. http://dx.doi.org/10.1016/j. foodchem.2012.02.008

Hassan, A. A., Rasmy, N. M., Foda, M.I ., & Bahgaat, W. K. (2012). Production of functional biscuits for lowering blood lipids. *World Journal of Dairy and Food Sciences, 7*, 01–20.

Hu, Y., Hall, C., & Wolf-Hall, C. (2008). Antifungal activity stability of flaxseed protein extract using response surface methodology. *Journal of Food Science, 73 (1),* M9-14.

Hurteau, M. C. (2004). Unique new food products contain good omega fats. *Journal of Food Science Education, 3(4),* 52-53.

Hussain, S., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Sheikh, M. A. (2008). Chemical composition and functional properties of flaxseed (*Linum usitatissimum*) flour. *Sarhad Journal of Agriculture, 24*(4), 649–653.

Hyvarinen, H. K, Pihlava, J.-M., & Hiidenhovi, J. A. (2006). Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*, 8788–8792. http://dx.doi.org/10.1021/jf061285n.

Imran, M., Ahmad, N., & Anjum, F. M. (2015). Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. *Nutrition Journal, 14*, 71-79.

Ivanov, S., Rashevskaya, T., & Makhonina, M. (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Science, 1,* 275–280. http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.043.

Johnsson, A., Kamal-Eldin, A., Lundoren, L. N., & Aman, P. (2000). HPLC method for analysis of secoisolariciresinol diclucoside in flaxseeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48*, 5216-5219.

Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed—A potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology, 52*, 1857–1871.

Kaushik, P., Dowling, K., McKnight, S., Barrow, C., Wang, B., & Adhikari, B. (2016). Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry, 197*, 212-220.

Khattab, R., Zeitoun, M., & Barbary, O. M. (2012). Evaluation of pita bread fortified with defatted flaxseed flour. *Current Nutrition and Food Science, 8,* 91–101. http://dx.doi.org/10.2174/157340112800840790

Khouryieh, H., & Aramouni, F. (2012). Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*, 2366–2372. http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5642

Kishk, Y. M. K.., Elsheshetawy, H. E., & Mahmoud, E. A. (2011). Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 46*, 661-668.

Kolotov, A. P. (2015). Economic efficiency of cultivation of oil flax in the middle Urals. *APK Rossii. [Agrarian and industrial complex of Russia],72(2)*, 135-140.

Korkina, L., Kostyu, K. V., Luca, C., & Pastore, S. (2011). Plant phenolylpropanoids as emerging antiflammatory agents. Mini-Review. *Journal of Medicinal Chemistry, 11*, 823-835.

Kuhn, K. R., Netto, F. M., & Cunha, R. L. D. (2014). Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier comdined with whey protein isolate. *Food Research International, 58,* 89-97.

Lee, R. E., Manthey, F. A., & Iii, C. A. H. (2004). Content and stability of hexane extractable lipid at various steps of producing macaroni containing ground flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation, 28,* 133– 144. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.tb00816.x

Lei, B., Li-Chan, E. C. Y., Oomah, B. D., & Mazza, G. (2003). Distribution of cadmium- binding components in flax (Linum usitatissimum L.) seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 814–821.

Lipilina, E, & Ganji, V. (2009). Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics– a pilot study. *Journal of Foodservice, 20*, 52–59. http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-0159.2008.00124.x

Lunn, J. & Theobald, H. E. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Food and Nutrition Bulletin, 31*(3), 178-224. http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-3010.2006.00571.x

Manthey, F. A., Sinha, S., Wolf-Hall, C. E., & Hall, C. A. (2008). Effect of flaxseed flour and packaging on shelf life of refrigerated pasta. *Journal of Food Processing and Preservation, 32,* 75–87. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2007.00166.x

Maramde, P. W., Shond, P. J., & Wanasundara, J. P. D. (2008). An in-vitro investigation of selected biological activities of hydrolysed flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 85(12),* 1155-1164.

Marpalle, P., Sonawane, S. K., & Arya, S. S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, Food Science and Technology 58*, 614–619.

Martinesz-Flores, H., Barrera, E., Garnica-Romo, M., Penagos, C., Saavedra, J., & Macaradra-Alvarez, R. (2006). Functional characteristics of protein flaxseed concentrated obtained applying a response surface methodology. *Journal of Food Science, 71,* 495-498.

McCullough, R. S., Edel, A.L., Bassett, C. M. C.,

LaVallee, R. K., Dibrov, E., Blackwood, D. P., Ander, B. P., & Pierce, G. N. (2011).The alpha linolenic acid content of flaxseed is associated with an induction of adipose leptin expression. *Lipids, 46*, 1043–1052.

Mentes, O., Bakkalbassi, E., & Ercan, R. (2008). Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread. *Food Science and Technology International, 14,* 299–306. http://dx.doi.org/10.1177/1082013208097192

Mesquita, C. D. B., Leonel, M., & Mischan, M. M. (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. Food Science and Technology (Campinas), 33, 404–410. https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000073

Moller, N. P., Scholz-Ahrens, K. E., Ross, N., & Schrezenmeir, J. (2008). Bioactive peptides and proteins from foods: indication for health effects. *European Journal of Nutrition, 47*, 171-182.

Moraes, É. A., Dantas, M. I. D. S., Morais, D. D. C., Silva, C. O. D., Castro, F. A. F. D., Martino, H. S. D., & Ribeiro, S. M. R. (2010). Sensory evaluation and nutritional value of cakes prepared with whole flaxseed flour. *Food Science and Technology (Campinas), 30*, 974–979. https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400021

Morris, D. H. (2007). Flax—a health and nutrition primer, (4th edn.) Available from: https://flaxcouncil.ca/resources/nutrition/technical-nutrition-information/flax-a-health-and-nutrition-primer/

Muir, A., Westcott, N. (Eds). (2003). Flax: The genus Linum. Chemical Rubber Company Press. http://dx.doi.org/10.1201/9780203437506

Mukker, J. K., Kotlyarova, V., Singh, R. S. P., & Alcorn, J. (2010). HPLC method with fluorescence detection for the quantitative determination of flaxseed lignans. *Journal of Chromatography : Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 878*(30), 3076-3082.

Oomah, B. D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 81*(9), 889-894.

Oomah, B. D., & Mazza, G. (Ed). (1998). *Flaxseed Products for disease prevention in Functional foods: Biochemical & Processing Aspects*. Chemical Rubber Company Press.

Oomah, B. D., Kenaschuk, E. O., & Mazza, G. (1996). Phytic acid content of flaxseed as influenced by cultivar, growing season, and location. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44,* 2663-2666.

Patil, S. S., Sheety, V. S., Todkar, A. P., & Bodhankar, H. B. (2013). Effect of incorporation of flaxseed flour on the nutritional and sensorial quality of biscuit. *Journal of Food Science Research*, *4*, 20–23.

Qian K. (2014). *Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls* [Unpublished doctoral dissertation]. Ontario, Canada.

Rabetafika, H. N., Van Remoortel, V., Danthine, S., Paquot, M., & Blecker, C. (2011). Flaxseed proteins: Food uses and health benefits. *International Journal of Food Science & Technology 46,* 221–228.

Rajiv, J., Indrani, D., Prabhasankar, P., & Rao, G. V. (2011). Rheology, fatty acid profile and storage characteristics of cookies as influenced by flax seed (Linum usitatissimum). *Journal of Food Science and Technology, 49,* 587–593. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0307-2

Ramcharitar, A., Badrie, N., Mattfeldt-Beman, M., Matsuo, H., Ridley, Ch. (2005). Consumer acceptability of muffins with flaxseed (Linum usitatissimum). *Journal of Food Science, 70*(7), s504-s507. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11499.x

Rangrej, V., Shah, V., Patel, J., & Ganorkar, P. M. (2014). Effect of shortening replacement with flaxseed oil on physical, sensory, fatty acid and storage characteristics of cookies. *Journal of Food Science and Technology, 52*(6),3694-3700. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1430-7.

Rathi, P., & Mogra, R. (2012). Development and sensory evaluation of superior products with flaxseed. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2*, 12–15.

Riediger, N. D., Othman, R., Fitz, E., Pierce, G. N., Suh, M., & Moghadasian, M. H. (2009). Low n6:n3 fatty acid ratio, with fish or flaxseed oil, in high fat diet improves plasma lipids and beneficially alters tissue fatty acid composition in mice. *European Journal of Nutrition, 47*, 153–160.

Rubilar, M., Gutierrez, C., Verdugo, M., & Shene, C. (2010). Flaxseed as a source of functional ingredients. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10*(3), 373-377.

Russo, R., & Reggiani, R. (2014). Variation in the Content of Cyanogenic Glycosides in Flaxseed Meal from Twenty-one Varieties. *Food and Nutrition Sciences, 5*(5), 1456-1462. http://dx.doi.org/10.4236/fns.2014.515159

Sahoo, A. K., & Rahul, C. (2015) Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, *31*(1), 42-51.

Sakagami, Ii., Komatsu, N., Simpson, A., Nonoyama, M., Konno, K., Yoshida, T., Kuroiwa, Y., Tanuma, S. (1991). Antinumor, antiviral and immunopotentiating activities of pine cone extracts: Potential medicinal effieacy of natural and synthetic lignin-related materials (review). *Anticancer Research, 11*, 881-888.

Shearer, A. E., & Davies, C. G. (2005). Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal.

Journal of Food Quality, 28, 137–153. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00004.x

Shim, Y. Y., Gui, Bo, Arnison, P. G., Wang, Y., & Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed *(Linum usitetissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *38*(1), 5-20.

Simopoulos, A. P. (2000), Human requirement for omega-3 polyunsaturated fatty acids. P*oultry Science, 79*, 961–970.

Singer, F. A. W., Taha, F. S., Mohamed, S. S., Gibriel, A., & El-Nawawy, M. (2011). Preparation of Mucilage/ Protein Products from Flaxseed. *American Journal of Food Technology, 6,* 260-278. http://dx.doi.org/10.3923/ajft.2011.260-278

Singh, K. K., Mridula, D., Rehal, J., & Barnwal, P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 51,* 210-222.

Sinha, S., & Manthey, F. A. (2008). Semolina and hydration level during extrusion affect quality of fresh pasta containing flaxseed flour. *Journal of Food Processing and Preservation, 32,* 546–559. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00195.x

Stewart, S., & Mazza, G. (2000). Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *Journal of Food Quality, 23*, 373-390.

Sudha, M. L., Begum, K., & Ramasarma, P.R. (2010). Nutritional character- istics of linseed/flaxseed (Linum usitatissimum) and its applica tion in muffin making. *Journal of Texture Studies, 41*, 563–578. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x

Sun, J., Li, X., Xu, X., & Zhou, G. (2011). Influence of Various Levels of Flaxseed Gum Addition on the Water-Hoiding Capacities of Heat-Induced Porcine Myofibrillar Protein. *Journal of Food Science, 76*(3), 472-478.

Suzuki, R., Rylander-Rudqvist, T., Sajis, S., Bergkvist, L., Adlercreutz, H., & Wolk, A. (2008). Dietary lignans and postmenopausal breast cancer risk by oestrogen receptor status: a prospective cohort study of Swedish women. *British Journal of Cancer, 98*(3), 636-640.

Thompson, L. U., & Cunnane, S. C. (2003). *Flaxseed in Human Nutrition*, second edition. American Oil Chemists' Society Press.

Trevisan, A. J. B., & Arêas, J. A. G. (2011). Development of corn and flaxseed snacks with high-fibre content using response surface methodology (RSM). *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 63,* 362–367. http://dx.doi.org/10.3109/09637486.2011.629179

Tzen, J., Cao, Y., Laurent, P., Ratnayake, C., & Huang, A. (1993). Lipids, proteins, and structure of seed oil bodies from diverse species. *Plant Physiology, 101*, 267-276.

Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2010). Antioxidant and angiotensin converting enzyme-inhibitory properties of a flaxseed protein-derived high Fischer ratio peptide mixture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(8), 4762–4768. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20218606

Vadukapuram, N., Hall, C., Tulbek, M., & Niehaus, M. (2014). Physicochemical properties of flaxseed fortified extruded bean snack. *International Journal of Food Science, 1–8.* https://doi.org/10.1155/2014/478018.

Wang, B., Li, D., Wang, L. J., & Ozkan, N. (2010). Effect of concentrated flaxseed protein on the stability and rheological properties of soybean oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering, 96*(4), 555-561.

Warrand, J., Michaud, P., Miller, G., Courtois, D., & Ralainirina, R. (2003). Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of new anionic polymer. *Chromatographia*, *58*(5-6), 331-335.

Warrand, J., Michaud, P., Picton, L., & Muller, G. (2005). Structural investigation of neutral polysaccharide of Linun usitatissimum L. seed. *International Journal of Biological Macromolecules, 35*(3-4), 121-125.

Wu, M., Li, D., Wang, L. J., Ozkan, N., & Mao, Z. H. (2010) Rheological properties of extruded dispersions of flaxseed-maize blend. *Journal of Food Engineering, 98*, 480-491.

Yuksel,F.,Karaman,S.,&Kayacier,A.(2014).Enrichment of wheat chips with omega-3 fatty acid by flaxseed addition: Textural and some physicochemical properties. *Food Chemistry, 145,* 910–917. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.079.

Functional Significance of Flax Seeds and Practice of Their Use in Food Technologies

Irina E. Minevich
The Federal State Budget Research Institution Federal Research Center for Bust Fiber Crops
17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russian Federation
E-mail: irina_minevich@mail.ru

Due to the unique properties, flax seeds arouse our interest as a source of biologically active substances necessary for functional nutrition and maintaining active human health. The seeds are rich in essential polyunsaturated fatty acids, dietary fibre, high-grade protein, polypeptides and lignans, which belong to the class of phytoestrogens that support the most important physiological functions of the human body. The data of the practical usage of flax seeds in food technologies that are aimed at creating healthy food products are scattered in the domestic scientific literature. The purpose of this review is to summarise information published in domestic and foreign literature on the analysis of the functional significance of flax seeds and their practical usage in food products. The data prove the promising qualities and the necessity of the widespread introduction of this crop in food technology. Based on the analysis of the functional significance of flax seeds and the processed products, the practical feasibility of their widespread usage in food technology was investigated. The paper gives brief information about the history of flax and the dynamics of flax seed production in Russia. Based on the analysis of scientific sources, the role of biologically active substances and functional ingredients of flax seeds in reducing the risk and preventing a number of diseases (oncological, cardiovascular, etc.) is shown. The information is based on the results of studies on the introduction of flax seeds into a wide range of products. Flax seeds are used mainly in a whole, crushed form or in the form of flour. In addition to flour and oil, upcoming functional food ingredients are protein and polysaccharide that are the byproducts of flax seed processing. It is shown that flax seeds and the products of the stages of processing are used to increase the nutritional value of baked products; they are useful for flour, confectionery, dairy, meat, and other products including extruded ones. The data on the optimal content of flax seeds and their ingredients in food products are presented. It was shown that their organoleptic and physicochemical properties could be improved. A lot of scientific research of flax seeds is a reasonable confirmation of the need for the widespread introduction of this multifunctional crop in food technology of the 21st century.

Keywords: flax, oilseeds, polysaccharides, proteins, dietary fiber, food technology, biologically active substances, functional ingredients

References

Boytsova, T. M., & Nazarova, O. M. (2015). Flax seed infusion in the technology of production of rye-wheat bread. *Hlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], *3*, 24-26.

Kulakova, S. N., Baykov, V. G., Bessonov, V. V., Nechaev, A. P., & Tarasova, V. V. (2009). Features of vegetable oils and their role in nutrition. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry], *3*, 16-20.

Kutsik, R. V., & Zuzuk B. M. (2006). Cultural flax. Analytical review. *Provizor* [Provizor], *1*, 1-3.

Minevich, I. E., Osipova, L. L., & Zubtsov, V. A. (2015). Evaluation of flaxseed sauces using the profile method of sensory analysis. In *Agricultural machinery* (c. 76-80).

Minevich, I. E., & Osipova, L. L. (2017). Hydrocolloids of flax seeds: characteristics and prospects for use in food technology. *Nauchnyj zhurnal Nacional'nyj Issledovatel'skij Universitet Informacionnyh Tekhnologij Mekhaniki i Optiki. Ceriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv»* [Scientific journal National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics. Series: Processes and Food Production Equipment], *3*, 16-25.https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25

Minevich, I. E., & Osipova, L. L. (2018a). Formulation and quality assessment of flour confectionery "Flax muffin". *Hleboprodukty* [Bakery products], *4*, 56-58.

Minevich, I. E., & Osipova, L. L. (2018b). Function-

This article is published under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.

How to Cite
Minevich, I. E. (2019). Functional Significance of Flax Seeds and Practice of Their Use in Food Technologies. *Health, Food & Biotechnology, 1*(2). https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224

al properties of flaxseed protein-polysaccharide products. *Hleboprodukty* [Bakery products], *6*, 38-39.

Minevich I. E., Osipova, L. L., Nechiporenko, A. P., Smirnova, E. I., & Melnikova, M. I. (2018c). Features of the extraction process of mucus polysaccharides from flax seeds. *Nauchnyj zhurnal Nacional'nyj Issledovatel'skij Universitet Informacionnyh Tekhnologij Mekhaniki i Optiki. Ceriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv»* [Scientific journal National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics series "Processes and Food Production Equipment"], *2*(36), 3-11. https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11

Minevich, I. E., Osipova, L. L., & Tsyganova, T. B. (2019). Hydrocolloids of flax seeds in the technology of gluten-free muffins. *Hleboprodukty* [Bakery products], *1*, 56-58. https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-1-56-58

Minkevich, I. A. (1957). Len maslichnyj [Oil flax]. Selkhozgiz.

Novikov, E. V., Basova, N. V., Ushchapovsky, I. V., & Bezbabchenko, A. V. (2017). Oil flax as a global raw material resource for fiber production. *Molochnohozyajstvennyj vestnik* [Dairy Newsletter], *3*, 187-203.

Novoselov, V. S. (1996). *Tajny l'na i poiski nauki. Kn.1. V glub' tysyacheletij* [Secrets of flax and the quest for science. Book 1. Deep into the millennia]. TVNIIIL.

Osipova, L. L., Minevich, I. E., & Zubtsov, V. A. (2016). New recipes for functional products using flax seeds and flax flour. In *Social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie aspekty razvitiya regionov i municipal'nyh obrazovanij: problemy i puti ih reshenij*a [Socio-economic and environmental aspects of the development of regions and municipalities] (p. 253-258).

Ponomareva, E. I., Lukina, S. I., Odintsova, A. V., & Kobzeva, A. O. (2017). Determination of rational parameters for the preparation of flax. *Hleboprodukty* [Bakery products], *5*, 39-41.

Pryanishnikov, D. N. (1921). *Rasteniya polevoj kul'tury* [Field crop plants]. State Publishing House.

Rudnitskaya, Yu.I., & Berezovikova, I.P. (2012). The safety of using flax flour in culinary technology. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv* [Technique and technology of food production], *1*(24), 59A-63.

Tanfilev, G. (1923). *Ocherk geografii i istorii glavnejshih kul'turnyh rastenij* [Essay on the geography and history of the most important cultivated plants]. Gosizdat Ukrainy.

Tolkachev, O. N., & Zhuchenko Jr., A. A. (2000). Biologically active substances of flax: use in medicine and nutrition (review). *Himiko-farmacevticheskij zhurnal* [Journal of Pharmaceutical Chemistry]*, 34*(7), 23-30.

Ushchapovsky, I. V., Ozhimkova, E. V., Sulman, E. M., Martirosova, E. I., & Cloak, I. G. (2015). Genetic diversity of flax (Linum usitatissimum L.) by the glycan-protein composition of seed mucus. *Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka* [Russian agricultural science], *4*, 14-17.

Fedosova, N. M., Vikharev, S. M., & Sokolov, A. S. (2013). *Sovershenstvovanie metodov ocenki tekhnologicheskogo kachestva l'na i priemov ego pererabotki* [Improving methods for assessing the technological quality of flax and methods of processing it]. Izdatel'stvo Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta

Fedosova, G. A. (2005). "Len-dolgunets" in Russia. Botanika [Botany], 16.

Khrikyan, S. A. (2017). The effectiveness of growing oil flax in modern conditions. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist], *1*, 281-284.

Tsyganova T. B., Minevich, I. E., Zubtsov, V. A., & Osipova, L. L. (2010). *Pishchevaya cennost' semyan l'na i perspektivnye napravleniya ih pererabotki* [Nutritional value of flax seeds and promising directions for their processing]. Izdatel'stvo Eidos.

Tsyganova, T. B., Minevich, I. E., & Osipova, L. L. (2019). Flax seed polysaccharides: practical use. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials], *2,* 24-36. https://doi.org/10.36107/spfp.2019.151

Tsyganova, T. B., Minevich, I. E., Osipova, L. L., Zubtsov, V. A., & Smirnova, E. I. (2017). On the issue of food safety of flax seeds and their processed products. *Hlebopechenie Rossii* [Bakery in Russia], *2*, 23-26.

Adolphe, J. L., Whiting, S., & Junrlink, B. H. (2010). Health effects with consumption of the flax lignin secoisolariciresinol diglucoside. *British Journal of Nutrition, 103*, 929-938.

Ahmed, M. G., Header, E. A., El-Sherif, F. A., El-Dashlouty, M. S., & El-Brollose, S. A. (2010). Sensory, chemical and biological evaluation of some products fortified by whole flaxseed. *Egyptian Journal of Agricultural Research, 88*, 257–271.

Aliani, M., Ryland, D., & Pierce, G. N. (2012). Effect of flax addition on the flavor profile and acceptability of bagels. *Journal of Food Science, 77*(1), S62-S70. http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02509.x

Alix, S., Marais, S., Morwan, C., & Lebrun, L. (2008). Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties. *Composites Part A*, *39*, 1793-1801.

Alpaslan, M., & Hayta, M. (2006). The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. *Journal of Food Quality*, *29,* 617–627.

Amin, T., & Thakur, M. (2014). *Linum usitatissimum* L. (Flaxseed)–A Multifarious Functional Food. *Online International Interdisciplinary Research Journal, {Bi-Monthly}*, *IV(I),* 220-238.

Ansorena, D., & Astiasarán, I. (2004). The use of linseed oil improves nutritional quality of the lipid fraction of dry-fermented sausages. *Food Chemistry, 87,* 69–74. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.019

Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B., & Jamil, A. (2013). Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (Linum usitatissimum Linseed.): enhancement in yield, quality and phenolics of the oil. *Grasas y Aceites,* 64(5), 463–471. http://dx.doi.org/10.3989/gya.132212

Ason, P. J. C., Ayres, D. C., & Baxter, H.(1990). *Chemistry and Pharmacology of Natural Products.* Cambridge University Press.

Barbary, O. M., Al-Sohaimy, S. A., El-Saadani, M. A. (2009). Extraction, Composition and Physicochemical Properties of Flaxseed Mucilage. *International Journal of Advance Agricultural Research, 14(3),* 605-621.

Bashir, S. Masud, T., & Latif, A. (2006). Effect of flaxseed (Linum usitatissimum) on the baking properties of cakes and cookies. *International Journal of Agricultural Research 1*, 496–502. http://dx.doi.org/10.3923/ijar.2006.496.502.

Bernacchia, R., Preti, R., & Vinci, G. (2014). Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. *Austin Journal of Nutrition and Food sciences*, *2(8)*, 1045.

Bhatty, R. S., & Cherdkiatgumchai, P. (1990). Compositional analysis of laboratory-prepared and commercial samples of linseed meal and of hull isolated from flax. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 57*, 79-84.

Bhise, S., Kaur, A., & Aggarwal, P. (2014). Development of protein enriched noodles using texturized defatted meal from sunflower, flaxseed and soybean. *Journal of Food Science and Technology, 52*, 5882–5889. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1630-1

Chen, J. K., Bruce, V. M., & McDonald, B. E. (1991). Dietary α-linolenic acid is as effective as oleic acid and linoleic acid in lowering blood cholesterol in normolipedemic men. *The American Journal of Clinical Nutrition, 53,* 1230-1234.

Conforti, F. D, & Cachaper, K. F. (2009). Effects of selected antioxidants on physical and sensory characteristics of yeast bread containing flaxseed meal. *International Journal of Consumer Study, 33,* 89–93. http://dx.doi.org/10.1111/ j.1470-6431.2008.00729.x

Coonor, W. E. (2000). Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition, 71,*197-201.

De Lorgeril, M., Salen, P., Laporte, F., & de Leiris, J. (2001). Alpha-linolenic acid in the prevention and treatment of coronary heart disease. *European Heart Journal Supplements, 3,* 26-32.

Demark-Wahnefried, W., Polascik, T. J., & George, S. L. (2008). Flaxseed supplementation (not dietary fat restriction) reduces prostate cancer proliferation rates in men presurgery. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 17(12),* 3577-3587.

Emaga, T. H., Rabetafika, N., & Blecker, C. S. (2012). Kinetics of the hydrolysis of polysaccharide galacturonic acid and neutral sugars chains from flaxseed mucilage. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 16(2)*, 139-147.

Engberg, R. M, Jakobsen, K., & Hartfill, W. (1993). The biological activity of natural source tocopherols in pigs fed on a linoleic acid rich die. *Fat Science Technology, 95*, 537-542.

Englyst, K. N., Liu S., & Englyst H. N. (2007). Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61* (Supp. L) 1. P. 19-39.

Eyres, L. (2015). Flaxseed fibre - a functional superfood. *Food Standards Australia New Zealand*, *15(5)*, 24.

Gambus H., Gambus F., & Pastuszka D., (2009). Quality of gluten-free supplemented cakes and biscuits. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60*, 31-50.

Ganorkar, P. M., & Jain, R. K. (2013). Flaxseed – a nutritional punch. Mini Review. *International Food Research Journal, 20(2),* 519-525.

Gebauer, S. K., Psota, T. L., Harris, W. S., & Kris-Etherton, P. M. (2006). n-3 fatty acid dietary recommendations and food sources to achieve essentiality and cardiovascular benefits. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *83,* 1526S–1535S.

Gogus, U., & Smith, C. (2010). n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science and Technology 45.* 417–436.

Goh, K. K. T., Ye, A., & Dale, N. (2006). Characterisation of ice cream containing flaxseed oil. *International Journal of Food Science and Technology 41*, 946–953.

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. Journal of Food Science and Technology, 51(9), 1633–1653. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9

Guimaraes, R. D. C. A, Macedo, M. L. R, Munhoz, C. L., Filiu, W., Viana, L. H., Nozaki, V. T., & Hiane, P. A. (2013). Sesame and flaxseed oil: nutritional quality and effects on serum lipids and glucose in rats. *Food Science and Technology* (Campinas), 33(1), 209–217. http://dx.doi.org/10.1590/SO101-20612013005000029

Gutte, K. B., Sahoo, A. K., & Ranveer R. C. (2015).

Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 31*(1), 42-51.

Hao, M., & Beta, T. (2012). Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts. *Food Chemistry, 133*, 1320–1325. http://dx.doi.org/10.1016/j. foodchem.2012.02.008

Hassan, A. A., Rasmy, N. M., Foda, M.I ., & Bahgaat, W. K. (2012). Production of functional biscuits for lowering blood lipids. *World Journal of Dairy and Food Sciences, 7*, 01–20.

Hu, Y., Hall, C., & Wolf-Hall, C. (2008). Antifungal activity stability of flaxseed protein extract using response surface methodology. *Journal of Food Science, 73 (1),* M9-14.

Hurteau, M. C. (2004). Unique new food products contain good omega fats. *Journal of Food Science Education, 3(4),* 52-53.

Hussain, S., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Sheikh, M. A. (2008). Chemical composition and functional properties of flaxseed (*Linum usitatissimum*) flour. *Sarhad Journal of Agriculture, 24*(4), 649–653.

Hyvarinen, H. K, Pihlava, J.-M., & Hiidenhovi, J. A. (2006). Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*, 8788–8792. http://dx.doi.org/10.1021/jf061285n.

Imran, M., Ahmad, N., & Anjum, F. M. (2015). Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. *Nutrition Journal, 14*, 71-79.

Ivanov, S., Rashevskaya, T., & Makhonina, M. (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Science, 1,* 275–280. http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.043.

Johnsson, A., Kamal-Eldin, A., Lundoren, L. N., & Aman, P. (2000). HPLC method for analysis of secoisolariciresinol diclucoside in flaxseeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48*, 5216-5219.

Kajla, P., Sharma, A., & Sood, D. R. (2015). Flaxseed—A potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology, 52*, 1857–1871.

Kaushik, P., Dowling, K., McKnight, S., Barrow, C., Wang, B., & Adhikari, B. (2016). Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry, 197*, 212-220.

Khattab, R., Zeitoun, M., & Barbary, O. M. (2012). Evaluation of pita bread fortified with defatted flaxseed flour. *Current Nutrition and Food Science, 8,* 91–101. http://dx.doi.org/10.2174/157340112800840790

Khouryieh, H., & Aramouni, F. (2012). Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 92*, 2366–2372. http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5642

Kishk, Y. M. K.., Elsheshetawy, H. E., & Mahmoud, E. A. (2011). Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 46*, 661-668.

Kolotov, A. P. (2015). Economic efficiency of cultivation of oil flax in the middle Urals. *APK Rossii. [Agrarian and industrial complex of Russia],72(2)*, 135-140.

Korkina, L., Kostyu, K. V., Luca, C., & Pastore, S. (2011). Plant phenolylpropanoids as emerging antiflammatory agents. Mini-Review. *Journal of Medicinal Chemistry, 11*, 823-835.

Kuhn, K. R., Netto, F. M., & Cunha, R. L. D. (2014). Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier comdined with whey protein isolate. *Food Research International, 58,* 89-97.

Lee, R. E., Manthey, F. A., & Iii, C. A. H. (2004). Content and stability of hexane extractable lipid at various steps of producing macaroni containing ground flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation, 28,* 133– 144. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.tb00816.x

Lei, B., Li-Chan, E. C. Y., Oomah, B. D., & Mazza, G. (2003). Distribution of cadmium- binding components in flax (Linum usitatissimum L.) seed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*, 814–821.

Lipilina, E, & Ganji, V. (2009). Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics– a pilot study. *Journal of Foodservice, 20*, 52–59. http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-0159.2008.00124.x

Lunn, J. & Theobald, H. E. (2006). The health effects of dietary unsaturated fatty acids. *Food and Nutrition Bulletin, 31*(3), 178-224. http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-3010.2006.00571.x

Manthey, F. A., Sinha, S., Wolf-Hall, C. E., & Hall, C. A. (2008). Effect of flaxseed flour and packaging on shelf life of refrigerated pasta. *Journal of Food Processing and Preservation, 32,* 75–87. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2007.00166.x

Maramde, P. W., Shond, P. J., & Wanasundara, J. P. D. (2008). An in-vitro investigation of selected biological activities of hydrolysed flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 85(12),* 1155-1164.

Marpalle, P., Sonawane, S. K., & Arya, S. S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, Food Science and Technology 58*, 614–619.

Martinesz-Flores, H., Barrera, E., Garnica-Romo, M., Penagos, C., Saavedra, J., & Macaradra-Alvarez, R. (2006). Functional characteristics of

protein flaxseed concentrated obtained applying a response surface methodology. *Journal of Food Science, 71,* 495-498.

McCullough, R. S., Edel, A.L., Bassett, C. M. C., LaVallee, R. K., Dibrov, E., Blackwood, D. P., Ander, B. P., & Pierce, G. N. (2011).The alpha linolenic acid content of flaxseed is associated with an induction of adipose leptin expression. *Lipids, 46*, 1043–1052.

Mentes, O., Bakkalbassi, E., & Ercan, R. (2008). Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread. *Food Science and Technology International, 14,* 299–306. http://dx.doi.org/10.1177/1082013208097192

Mesquita, C.D.B., Leonel, M., & Mischan, M.M. (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Science and Technology (Campinas), 33,* 404–410. https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000073.

Moller, N.P., Scholz-Ahrens, K.E., Ross, N, & Schrezenmeir, J. (2008). Bioactive peptides and proteins from foods: indication for health effects. *European Journal of Nutrition, 47*, 171-182.

Moraes, E.A., Dantas, M.I.D.S., Morais, D.D.C, et al.(2010). Sensory evaluation and nutritional value of cakes prepared with whole flaxseed flour. *Food Science and Technology (Campinas), 30*, 974–979.

Morris, D.H. (2007). Flax—a health and nutrition primer, (4th edn.) Available from: https://flaxcouncil.ca/resources/nutrition/technical-nutrition-information/flax-a-health-and-nutrition-primer/

Muir, A.(Ed), Westcott, N.(Ed). (2003). *Flax: The genus Linum*. London: Chemical Rubber Company Press, 320p. http://dx.doi.org/10.1201/9780203437506

Mukker, J.K., Kotlyarova, V., Singh, R.S. et. al. (2010). HPLC method with fluorescence detection for the quantitative determination of flaxseed lignans. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, 878(30)*, 3076-3082.

Oomah, B.D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 81(9)*, 889-894.

Oomah, B.D., Kenaschuk, E.O., & Mazza, G. (1996). Phytic acid content of flaxseed as influenced by cultivar, growing season, and location. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *44,* 2663-2666.

Oomah, B.D., & Mazza, G. (Ed). (1998). *Flaxseed Products for disease prevention in Functional foods: Biochemical & Processing Aspects*. Chemical Rubber Company Press, 480p.

Patil, S.S., Sheety, V.S., Todkar, A.P., & Bodhankar, H.B. (2013). Effect of incorporation of flaxseed flour on the nutritional and sensorial quality of biscuit. *Journal of Food Science Research*, *4*, 20–23.

Qian K. (2014). *Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls*. A Thesis Presented to The University of Guelph In partial fulfilment of requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Food Science Guelph, Ontario, Canada. 107p.

Rabetafika, H.N., Van Remoortel, V., Danthine, S., Paquot, M., & Blecker, C. (2011). Flaxseed proteins: Food uses and health benefits. *International Journal of Food Science & Technology 46,* 221–228.

Rajiv, J, Indrani, D, Prabhasankar, P, & Rao, G.V. (2011). Rheology, fatty acid profile and storage characteristics of cookies as influenced by flax seed (Linum usitatissimum). *Journal of Food Science and Technology, 49*, 587–593. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0307-2.

Ramcharitar , A, Badrie, N, Mattfeldt-Beman, M, et al. (2005). Consumer acceptability of muffins with flaxseed (Linum usitatissimum). *Journal of Food Science,70(7),* s504-s507. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11499.x.

Rangrej, V., Shah, V., Patel, J., & Ganorkar, P.M. (2014). Effect of shortening replacement with flaxseed oil on physical, sensory, fatty acid and storage characteristics of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, *52(6),*3694-3700. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1430-7.

Rathi, P., & Mogra, R. (2012). Development and sensory evaluation of superior products with flaxseed. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2*, 12–15.

Riediger, N.D., Othman, R., Fitz, E., Pierce, G.N., Suh, M., & Moghadasian, M.H. (2009). Low n6:n3 fatty acid ratio, with fish or flaxseed oil, in high fat diet improves plasma lipids and beneficially alters tissue fatty acid composition in mice. *European Journal of Nutrition, 47*, 153–160.

Rubilar, M., Gutierrez, C., Verdugo, M., & Shene, C. (2010). Flaxseed as a source of functional ingredients. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition 10(3)*, 373-377.

Russo, R., & Reggiani, R. (2014). Variation in the Content of Cyanogenic Glycosides in Flaxseed Meal from Twenty-one Varieties. *Food and Nutrition Sciences*, *5(5)*, 1456-1462. http://dx.doi.org/10.4236/fns.2014.515159

Sahoo, A. K., & Rahul, C. (2015) Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. *31(1)*, 42-51.

Sakagami, Ii., Komatsu, N., Simpson, A., Nonoyama, M., Konno, K. at al. (1991). Antinumor, antiviral and immunopotentiating activities of pine cone extracts: Potential medicinal effieacy of natural and synthetic lignin-related materials (review).

Anticancer Research, 11, 881-888.

Shearer, A.E., & Davies, C.G. (2005). Physicochemical properties of freshly baked and stored wholewheat muffins with and without flaxseed meal. *Journal of Food Quality, 28*, 137–153. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00004.x.

Shim, Y.Y., Gui, Bo, Arnison, P.G., Wang, Y., & Reaney, M.J.T. (2014). Flaxseed *(Linum usitetissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *38(1),* 5-20.

Simopoulos, A. P. (2000), Human requirement for omega-3 polyunsaturated fatty acids. P*oultry Science, 79*, 961–970.

Singer, F. A. W., Taha, F. S., Mohamed, S. S., Gibriel, A., & El-Nawawy, M. (2011). Preparation of Mucilage/ Protein Products from Flaxseed. *American Journal of Food Technology, 6,* 260-278. http://dx.doi.org/10.3923/ajft.2011.260-278

Singh, K. K., Mridula, D., Rehal, J., & Barnwal, P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 51,* 210-222.

Sinha, S., & Manthey, F. A. (2008). Semolina and hydration level during extrusion affect quality of fresh pasta containing flaxseed flour. *Journal of Food Processing and Preservation, 32,* 546–559. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00195.x

Stewart, S., & Mazza, G. (2000). Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *Journal of Food Quality, 23*, 373-390.

Sudha, M. L., Begum, K., & Ramasarma, P.R. (2010). Nutritional character- istics of linseed/flaxseed (Linum usitatissimum) and its applica tion in muffin making. *Journal of Texture Studies, 41*, 563–578. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x

Sun, J., Li, X., Xu, X., & Zhou, G. (2011). Influence of Various Levels of Flaxseed Gum Addition on the Water-Hoiding Capacities of Heat-Induced Porcine Myofibrillar Protein. *Journal of Food Science, 76*(3)*,* 472-478.

Suzuki, R., Rylander-Rudqvist, T., Sajis, S., Bergkvist, L., Adlercreutz, H., & Wolk, A. (2008). Dietary lignans and postmenopausal breast cancer risk by oestrogen receptor status: a prospective cohort study of Swedish women. *British Journal of Cancer, 98*(3), 636-640.

Thompson, L. U., & Cunnane, S. C. (2003). *Flaxseed in Human Nutrition*, second edition. American Oil Chemists' Society Press.

Trevisan, A. J. B., & Arêas, J. A. G. (2011). Development of corn and flaxseed snacks with high-fibre content using response surface methodology (RSM). *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 63,* 362–367. http://dx.doi.org/10.3109/09637486.2011.629179

Tzen, J., Cao, Y., Laurent, P., Ratnayake, C., & Huang, A. (1993). Lipids, proteins, and structure of seed oil bodies from diverse species. *Plant Physiology, 101*, 267-276.

Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2010). Antioxidant and angiotensin converting enzyme-inhibitory properties of a flaxseed protein-derived high Fischer ratio peptide mixture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(8), 4762–4768. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20218606

Vadukapuram, N., Hall, C., Tulbek, M., & Niehaus, M. (2014). Physicochemical properties of flaxseed fortified extruded bean snack. *International Journal of Food Science, 1–8*. https://doi.org/10.1155/2014/478018.

Wang, B., Li, D., Wang, L. J., & Ozkan, N. (2010). Effect of concentrated flaxseed protein on the stability and rheological properties of soybean oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering, 96*(4), 555-561.

Warrand, J., Michaud, P., Miller, G., Courtois, D., & Ralainirina, R. (2003). Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of new anionic polymer. *Chromatographia*, *58*(5-6), 331-335.

Warrand, J., Michaud, P., Picton, L., & Muller, G. (2005). Structural investigation of neutral polysaccharide of Linun usitatissimum L. seed. *International Journal of Biological Macromolecules, 35*(3-4), 121-125.

Wu, M., Li, D., Wang, L. J., Ozkan, N., & Mao, Z. H. (2010) Rheological properties of extruded dispersions of flaxseed-maize blend. *Journal of Food Engineering, 98*, 480-491.

Yuksel,F.,Karaman,S.,&Kayacier,A.(2014).Enrichment of wheat chips with omega-3 fatty acid by flaxseed addition: Textural and some physicochemical properties. *Food Chemistry, 145,* 910–917. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.079.