УДК 664.764 DOI:10.31677/2072-6724-2020-30-4-41-58

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ОТРУБЕЙ ПШЕНИЦЫ И РЖИ И ИХ РОЛЬ В ПРОФИЛАКТИКЕ ХРОНИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

[1]**Н.Л. Лукьянчикова**, кандидат биологических наук
[1]**В.А. Скрябин**, кандидат технических наук
[1,2]**К.А. Табанюхов**, аспирант

[1]Сибирский филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
[2]Новосибирский государственный аграрный университет
E-mail: tabanyuhov93@mail.ru

Ключевые слова: отруби, арабиноксиланы, пребиотики, диетические волокна, феруловая кислота.

Реферат. *Проведен анализ литературы по лечебно-профилактическому воздействию компонентов вторичных продуктов переработки ржи и пшеницы – диетических волокон и фенольных соединений – на здоровье человека. Особую роль играют связанные с феруловой кислотой растворимые арабиноксиланы и ксилоолигосахариды, которые обладают пребиотическими, антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами. Экспериментальные и эпидемиологические исследования показали, что включение в рацион зерновых отрубей оказывает положительный эффект на здоровье человека и способствует снижению риска заболеваний, связанных с западным типом питания – атеросклероза, диабета второго типа, различных видов онкологии.*

PECULIARITIES OF THE COMPOSITION OF WHEAT AND RYE BRAN AND THEIR ROLE IN THE PREVENTION OF CHRONIC DISEASES OF HUMAN REVIEW

[1]**N.L. Lukyanchikova**, Candidate of Biological Sciences
[1]**V.A. Skryabin**, Candidate of Technical Sciences
[1,2]**К.A. Tabanyukhov,** Graduate Student

[1]Siberian branch of FSBSI «FSC of food systems named by V.M. Gorbatov» RAS
[2]Novosibirsk State Agrarian University

Key words: bran, arabinoxylans, prebiotics, dietary fibers, ferulic acid.

Abstract. *The paper analyzes the literature on the therapeutic and prophylactic effects of components of secondary products of processing of rye and wheat – dietary fiber and phenolic compounds – on human health. A special role is played by soluble arabinoxylans and xylooligosaccharides associated with ferulic acid, which have prebiotic, antioxidant and immunomodulatory properties. Experimental and epidemiological studies have shown that the inclusion of cereal bran in the diet has a positive effect on human health and helps to reduce the risk of diseases associated with the Western type of diet – atherosclerosis, second type diabetes, and various types of oncology.*

Отруби занимают первое место из вторичных продуктов мукомольного производства и представляют собой главным образом твердую оболочку зерен. В процессе переработки пшеницы в отруби уходит до 25 % зерна, для ржи этот показатель может достигать 40 %. В состав отрубей входят алейроновый слой, плодовая и семенная оболочки, небольшая часть зародыша и эндосперма.

Современные исследования показывают, что благодаря своему составу: высокому содержанию и особым свойствам пищевых волокон, биологически ценного белка, микроэлементов, жирных кислот, а также фитохимических веществ – фенольных веществ, каротиноидов, токоферолов зерновые отруби должны занять важное место в лечебном и диетическом питании человека.

В настоящее время основное направление использования отрубей – кормовое, однако использование ржи и продуктов из нее в кормлении животных, особенно моногастричных, ограничено из-за высокого содержания растворимых пентозанов и β-глюканов, обладающих антипитательными свойствами.

Роль пищевых волокон зерновых в питании человека. Известно, что тип питания в значительной степени влияет на микрофлору кишечника, которая, воздействуя на иммунную и эндокринную систему человека, тесно связана с развитием многих заболеваний: диабета второго типа, ожирения, метаболического синдрома, атеросклероза и онкологических заболеваний. Важным элементом здорового питания являются диетические волокна. Диетические волокна (ДВ) – это полисахариды главным образом растительной природы, которые перевариваются в толстом кишечнике в незначительной степени и существенно влияют на процессы переваривания, усвоения, микробиоценоз и эвакуацию пищи [1].

Физиологическая потребность в ДВ различного происхождения для взрослого человека составляет 20 г, для детей старше 3 лет – 10–20 г в сутки [1], по рекомендациям из зарубежных источников – 25–40 г в сутки для взрослых [2–6]. Половину суточной нормы ДВ следует получать из зерновых продуктов и половину – из фруктов и овощей. По сравнению с ДВ фруктов и овощей ДВ зерновых содержат большее количество нерастворимых компонентов, обладающих послабляющим действием [7, 8].

Данные по содержанию ДВ в пшеничных и ржаных отрубях приведены в табл. 1, откуда можно сделать вывод, что употребление в пищу 30 г отрубей обеспечивает до 30–75 % суточной потребности взрослого человека в ДВ. Количество мономерных единиц ДВ составляет 3–9 и выше [1, 6].

ДВ зерновых представлены некрахмальными полисахаридами: целлюлозой, арабиноксиланами (АКС), фруктаном, β-глюканом и лигнином, который является ароматическим полимером, но может рассматриваться как ДВ, находясь в прочной связи с углеводными волокнами, в основном с целлюлозой. Содержание всех этих волокон значительно выше в отрубях, чем в эндосперме (см. табл. 1). Распределение их в оболочках зерна неравномерно (рис. 1).

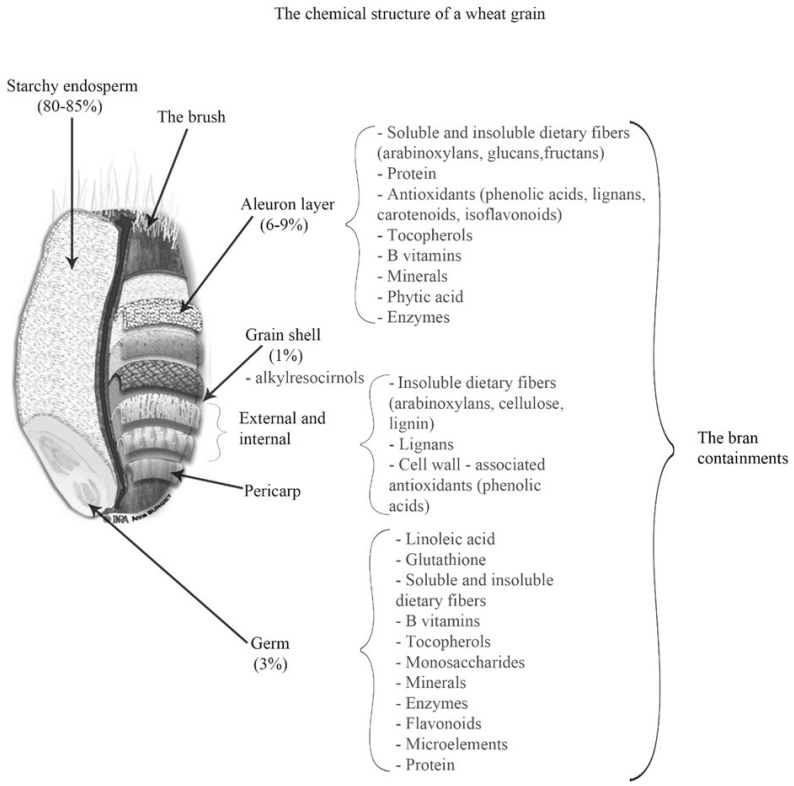

Рис. 1. Строение зерна пшеницы и химический состав отрубей [7]

Целлюлоза и лигнин нерастворимы в воде, в то время как АКС и β-глюканы обладают значительной гетерогенностью, могут быть как растворимыми, так и нерастворимыми в зависимости от их структуры. Как показано из рис. 1, растворимые ДВ концентрируются главным образом в алейроновом слое зерна, в то время как нерастворимые располагаются в его внешних оболочках [7, 8].

Таблица 1

Содержание диетических волокон в цельном зерне и отрубях пшеницы и ржи по данным разных авторов [9–16],%

Показатель	Общее количество ДВ	Раство-римые ДВ	Общий АКС	Раство-римые АКС	В-глюкан	Фруктан	Цел-люлоза	Лигнин
Рожь цельнозерновая	13,0–17,2	3,8–5,2	5,6–10,0		1,0–2,6	4,6–6,6	1,3–2,6	1,1–1,6
Отруби ржаные	37,0–47,5	4,5	20,8–25,1	1,7	3,4–5,3	6,6–7,2	5,0–6,5	3,5–4,5
Пшеница цельнозерновая	11,6	0,6–2,8	4,9–6,9		0,3–0,95	0,6–2,9	1,67–3,05	2,1–2,9
Отруби пшеничные	39,9–53,1	2,0	10,9–30,0	0,7	2,1–2,6	0,6–4,0	9,3–12,1	3,3–4,9

Нерастворимые волокна проходят через желудочно-кишечный тракт человека практически в неизменном виде. Они обладают высокой способностью к поверхностному удержанию воды и набуханию, что обеспечивает увеличение массы кала и ускоряет перистальтику. Пребиотическое действие этих соединений изучено недостаточно, в то время как известно, что растворимые ДВ подвергаются ферментации кишечной микрофлорой и являются пребиотиками.

В табл. 1 показаны данные разных авторов по содержанию диетических волокон пшеницы и ржи в цельном зерне и отрубях. Разброс значений определяется как сортами и условиями выращивания злаков, так и аналитическими методами. Особенностью ДВ ржи является значительное содержание растворимых компонентов, что обусловлено более высокой долей растворимых АКС, β-глюканов и фруктанов как в цельном зерне, так и в отрубях по сравнению с пшеницей. Показано, что растворимые ДВ зерна обладают наибольшим положительным воздействием на здоровье человека [8].

АКС злаков, которым придают наиболее важное значение в лечебном и диетическом питании человека, относятся к пентозанам, представляя собой линейный (1→4) -β-D-ксилопиранозил с боковым ответвлениями. Гетерогенность молекулам придают замещающие молекулы арабинозы (в O2, O3 или O2,3 положении) и боковые олигомерные цепочки, присоединяющиеся через 1→2, 1→3 или 1→5 связи [17].

Высокое соотношение арабиноза/ксилоза, наличие заместителей (галактозы, глюкозы, глюкуроновой кислоты), разветвленная структура молекулы) способствует повышению гидрофильности АКС [18].

Большая вязкость экстрактов цельной ржи (12.5 сР) по сравнению с экстрактами пшеницы (2,3 сР) обусловлена значительным содержанием в них растворимых АКС (соответственно 5,6–7,3 и 4,9%), в которых преобладает высокомолекулярная фракция (20,1–38,7 и 16,4%) с низким ветвлением и двузамещенными (в O2 и O3 положении) остатками ксилозы [12, 17]. Феруловая кислота (ФК) образует димеры, образующие ковалентные сшивки между полисахаридами оболочек ржи и пшеницы, что способствует формированию поперечно-связанной сет-

чатой структуры с высокой способностью к адсорбции воды и образованию гелевой структуры (рис. 2) [19]. Благодаря стабилизации феруловой кислотой гели устойчивы к воздействию pH, температуры и ионной силы [18].

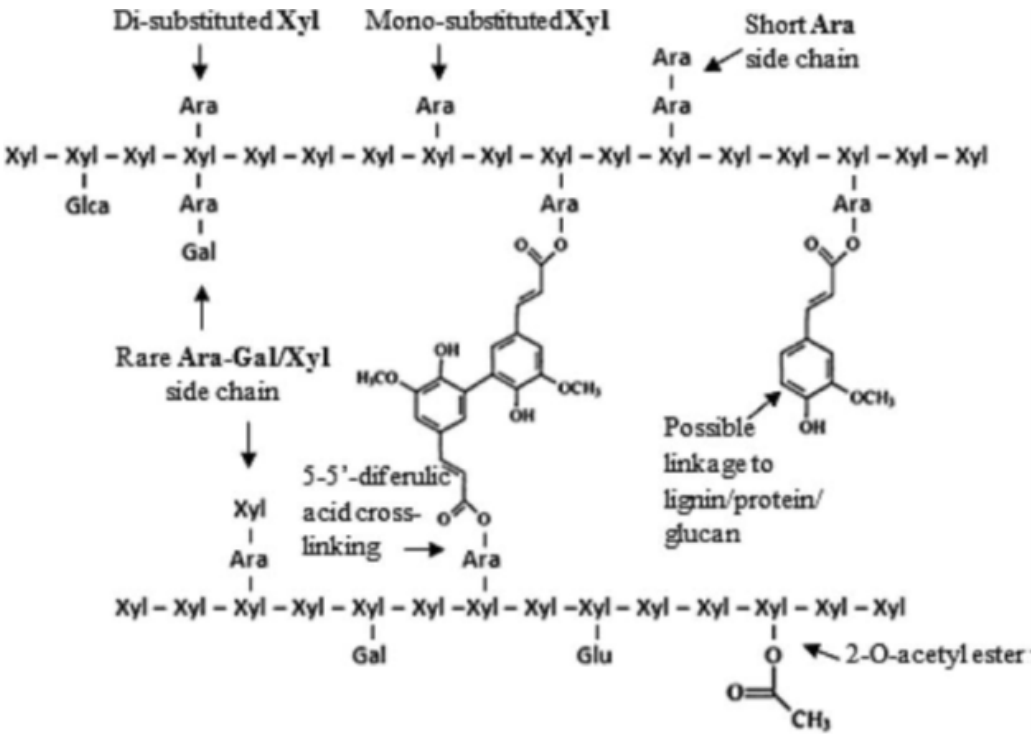

Рис. 2. Схематичное представление строения зернового АКС. Состав различных заместителей АКС варьирует в зависимости от источника. Диферуловая кислота образует поперечные связи между молекулами некрахмальных полисахаридов, лигнином и протеином, на рисунке – между двумя молекулами АКС [20]

Молекулярная масса АКС ржи варьирует в широких пределах, достигая нескольких сотен килодальтон [2].

Строение молекулы АКС обусловливает их растворимость и вязкость – свойства, которые во многом определяют их физиологический эффект.

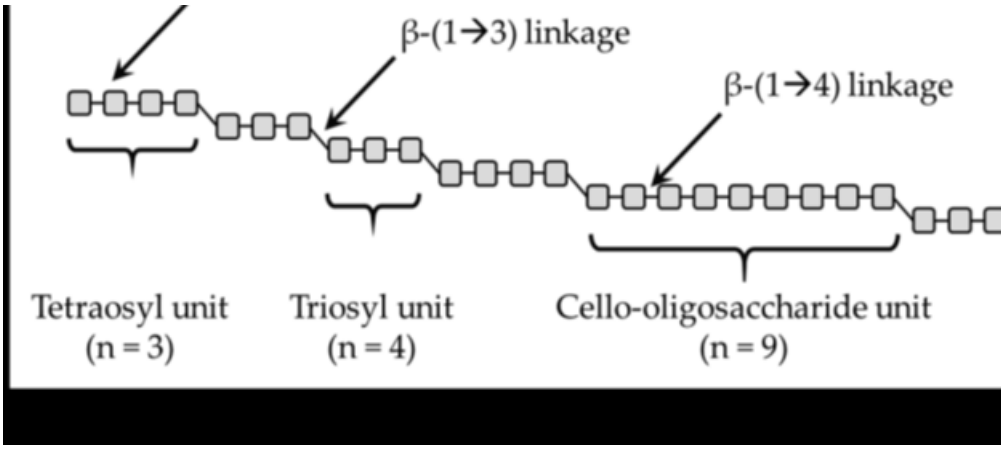

Рис. 3. Структура β-глюкана зерновых со смешанной связью. В молекуле чередуются три-, тетрацеллобиозные и более протяженные фрагменты, в которых глюкоза связана β– (1–4) -гликозидной связью. Данные фрагменты соединены между собой β– (1–3)-гликозидной связью [21]

β-Глюканы локализуются в эндосперме и клеточных стенках алейронового слоя зерна. Они являются линейными полимерами глюкозы с β– (1→3), (1→4) -гликозидными связями, где или три-, или тетрацеллобиозные фрагменты соединены β – (1→3)-связями (рис. 3). Так же как и АКС, они обладают способностью к формированию гелей, которая тем выше, чем больше молекулярная масса полимера и чем больше в нем доля трицеллобиозных фрагментов, способных образовывать устойчивые межмолекулярные сети [21, 22]. Соотношение трицеллобиозы и тетрацеллобиозы в растворимых β -глюканах ржи такое же, как у ячменя, и составляет 2,7–3,6, что выше, чем у глюканов овса (1,7–2,5) и ниже, чем у пшеницы (3,7–4,8) [10, 23]. Для β-глюканов ржи характерно также формирование нековалентных связей с незамещенными фрагментами молекулы АКС, соединенными в сетчатую структуру феруловой кислотой, чем объясняется более низкая экстрагируемость водой β-глюканов ржи по сравнению с β-глюканами овса и ячменя [10].

Влияние реологических свойств растворимых волокон ржи на процессы пищеварения. АКС и β-глюканы ржи могут до 10 раз увеличивать свою первоначальную массу, образуя в желудке и кишечнике вязкую гелеподобную массу [24, 25]. Образование геля при употреблении в пищу ржаных отрубей в более значительной степени связано с АКС с высокой молекулярной массой, чем с β-глюканами [12, 22].

Реологические свойства растворимых волокон ржи способствуют задержке опорожнения желудка и замедлению абсорбции питательных веществ в кишечнике и положительно воздействуют на жировой и углеводный обмен. Ограничение доступности пищеварительных ферментов способствует уменьшению адсорбции глюкозы, ослаблению постпрандиального гликемического ответа и снижению синтеза инсулина, что имеет важное значение для профилактики диабета второго типа [26, 27].

Обнаружено ингибирующее действие связанных с феруловой кислотой АКС на активность альфа-глюкозидазы, что уменьшает расщепление крахмала и также приводит к замедлению роста концентрации глюкозы в крови у больных диабетом второго типа [28].

Растворимые ДВ способны увеличивать экскрецию липидов с фекалиями благодаря способности связывать жиры. Было показано, что употребление растворимых АКС уменьшало содержание липопротеидов низкой плотности в крови крыс при обогащенной холестеролом диете [29].

Растворимые АКС способны связываться с желчными кислотами и способствуют выводу их с фекалиями и уменьшению реабсобрции, что ведет к снижению концентрации сывороточного холестерина благодаря вовлечению его в биосинтез желчных кислот [30, 31]. АКС способны регулировать метаболизм липидов, влияя на экспрессию генов ферментов, участвующих в синтезе липидов и их катаболизме, стимулируют бета-окисление жирных кислот, что приводит к уменьшению концентрации триглицеридов в сыворотке крови и печени [32].

Влияние ДВ на аппетит. Аппетит находится под влиянием различных факторов. С одной стороны, вязкое содержимое желудка и кишечника, формируемое растворимыми волокнами ржи, задерживает эвакуацию пищи и этим дольше сохраняет эффект насыщения. Однако было показано, что при употреблении растительных волокон с низкой вязкостью более выражено выделение анорексиногенных гормонов (ССК, PPY, GLP-1), подавление продукции грелина и связанное с ними чувство сытости [33].

Влияние зерновых ДВ на иммунитет. Высокомолекулярные АКС ржи и пшеницы, содержащие заместители (галактозу, глюкуроновую кислоту), по своему строению сходны с бактериальными липополисахаридами и способны связываться с рецепторами иммунных клеток и стимулировать их активность, оказывая влияние на первичный и приобретенный иммунитет. При этом наличие ФК усиливает иммуностимулирующую функцию АКС благодаря поддержа-

нию третичной структуры молекулы, узнаваемой рецептором [34]. Описано иммуностимулирующее действие β-глюканов ржи и других злаков на функции фагоцитов [35, 36].

Пребиотические свойства пищевых волокон. ДВ ржи и пшеницы подвергаются ферментации кишечной микрофлорой и избирательно стимулируют рост полезных микроорганизмов кишечника. Скорость ферментации ДВ ржаных отрубей in vitro выше, чем у ДВ пшеничных отрубей, что связано с более высоким содержанием растворимых компонентов в ДВ ржи и большим ветвлением АКС пшеницы (см. табл. 1) [37].

Основным ферментируемым полимером является АКС, ксилановая основа которого деполимеризуется бактериями *Bacteroides* с образованием арабиноксилоолигосахаридов (АКОС). Дальнейшая ферментация происходит в нижних отделах кишечника (рис. 4).

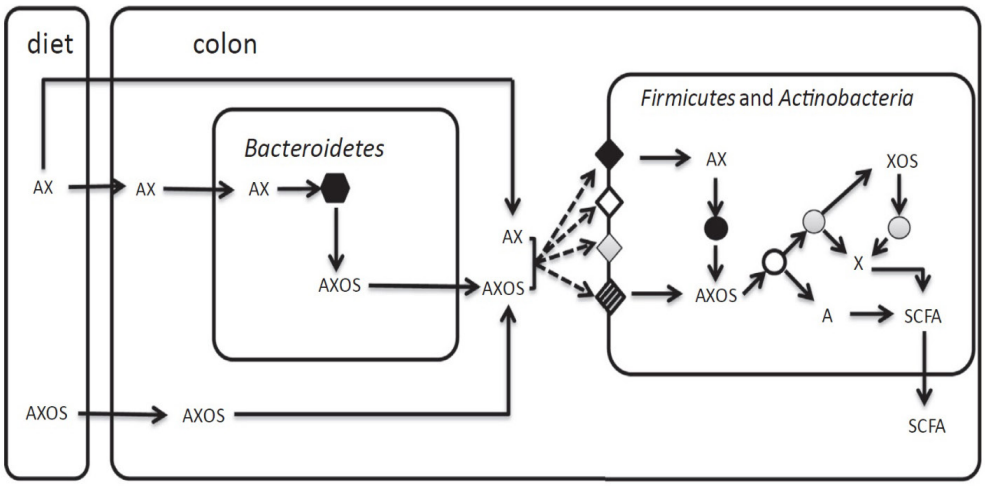

Рис. 4. Схема взаимодействия АКС и АКСОС с микробиотой кишечника, продуцирующей КЖК. *Bacteroides* способны метаболизировать высокомолекулярные АКС, в том числе с разветвленной структурой. Частично деполимеризованные АКС и АКСОС ферментируются в нижних отделах кишечника бактериями *Rosebura* и *Actinobacteria* (к которым относят *Bifidobacteria*) с выработкой КЖК [38]
Обозначения: AX – арабиноксиланы; AXOS – арабиноксилоолигосахариды;
XOS – ксилоолигосахариды; A – арабиноза, X – ксилоза

Показано, что АКС, АКОС и β-гликаны злаков стимулируют микрофлору нижних отделов пищеварительного тракта (*Bifidobacterium, Lactobacterium, Roseburia* sp., *Eubacterium*) [39–41]. В отношении *Lactobacterium* и *Bifidobacterium* особенно эффективны КОС, связанные с ФК, благодаря наличию у них эстеразы, высвобождающей ФК из КОС [42]. Полезная микрофлора, в свою очередь, продуцирует короткоцепочечные жирные кислоты (КЖК) – ацетат, пропионат и бутират, что ведет к положительному воздействию на здоровье человека: снижению pH в кишечнике и ингибированию роста патогенной флоры, уменьшению системного воспаления и инсулинорезистентности, нормализации массы тела и жировой ткани, влиянию на аппетит путем подавления синтеза грелина, улучшению адсорбции минеральных веществ, а в итоге – уменьшению риска сердечно-сосудистых заболеваний и рака толстой кишки [19, 39, 40, 43, 20].

В ржаных и пшеничных отрубях (преимущественно в алейроновом слое) также содержатся фруктаны (см. табл. 1), которые по своей химической природе представляют собой полимеры фруктозы со степенью полимерности от 2 до 60, преимущественно содержащие β– (2→6)-фруктозил-фруктозные связи, в отличие от более изученного фруктозана инулина, который содержит β– (2→1)- фруктозил-фруктозные связи. Рожь является лидером по содержанию фруктанов среди зерновых [44]. Содержание фруктанов больше в незрелых зернах, чем в зре-

лых [14]. Есть данные, что фруктаны злаков не перевариваются в верхних отделах пищеварительного тракта и метаболизируются кишечной микрофлорой, которая продуцирует КЖК. Пребиотические свойства фруктанов зерновых изучены недостаточно [2, 14]. Показан положительный эффект фруктанов на биодоступность кальция в кишечнике [45]. Однако они могут вызывать нежелательные побочные эффекты в виде повышенного газообразования и вздутия кишечника [14].

Антиоксидантная активность отрубей. Окислительный стресс вызывается различными видами активного кислорода, такими как анион, атомарный кислород, пероксид водорода, анион пероксинитрита, пероксильный радикал и высокоактивный гидроксильный радикал. Они способны взаимодействовать с липидами клеточных мембран, ДНК и углеводами. Вовлечение в эту реакцию полиненасыщенных жирных кислот инициирует цепную реакцию перекисного окисления липидов. Этот процесс ведет к разрушению биологических мембран, образованию аддуктов с ДНК и усилению мутагенного процесса. Все это ведет к дегенеративным процессам, неврологическим расстройствам, старению, заболеваниям сердечно-сосудистой системы, диабету, раку. Антиоксиданты – это вещества, способные за счет своей акцепторной способности взаимодействовать со свободными радикалами и прерывать цепную реакцию перекисного окисления.

Антиоксидантные вещества зерновых сконцентрированы в основном во внешних оболочках, что связано с их защитной функцией по отношению к неблагоприятным воздействиям. Антиоксидантные свойства отрубей обусловлены главным образом наличием производных фенольных кислот (коричной и бензойной), в меньшей степени – алкилрезорцинолов, полифенольных соединений (лигнанов и флавоноидов). Антиоксидантную активность проявляют также токоферолы и каротиноиды [45], фитиновая кислота [46] и ионы металлов (железа, цинка, меди, селена) [7].

До 80 % фенольных кислот сконцентрировано во внешних оболочках ржи и пшеницы [47].

Рожь и пшеница отличаются высоким содержанием ФК (производное коричной кислоты) и алкилрезорцинолов (табл. 2). Концентрация ФК в ржаных и пшеничных отрубях значительно выше, чем других фенольных кислот (синаповой, кумаровой, гидро- и дигидробензойной, кофейной), и именно ФК определяет их высокую антиоксидантную активность [45, 48].

Таблица 2

Содержание фенольных соединений в цельных зернах и отрубях пшеницы и ржи [49–52]

Показатели	Пшеница (зерно)	Пшеничные отруби	Рожь (зерно)	Ржаные отруби
Фенольные соединения общие, мг/кг	-	2 800–5643	-	5 840
Фенольные кислоты, мг/кг	-	1 942–5400	6–1366	25–4190
Феруловая кислота, мг/кг	160–2130	1 964–3000	39–1170	1 684–3720
Лигнаны (мкг/100 г), в том числе	867		1891	
секоизоларисирезинол	33	110	47	65
матаирезинол	3	0	132	167
Алкилрезорцинолы, мг/кг	339–759	2 211–3225	525–1008	2758–4108

В оболочках зерна ФК может присутствовать в свободном, конъюгированном и связанном виде. Конъюгированная ФК связана с низкомолекулярными компонентами, главным образом сахарами, а связанная формирует химическую связь как с растворимыми, так и нерастворимыми волокнами (АКС или лигнанами) и белками [48, 53]. С АКС образуется эфирная связь через гидроксил в С5-положении арабинофуранозила, диферуловая кислота образует поперечные связи между различными волокнами (АКС и лигнином) (см. рис. 2). Образование таких связей

способствует уменьшению растворимости волокон: в растворимой фракции концентрация ФК в 100 раз меньше, чем в нерастворимой [54].

Большая часть фенольных кислот находится в связанном виде [53, 55]. Соотношение форм фенольных кислот в пшенице и ржи обусловлено генетическими причинами и практически не зависит от условий выращивания.

В озимой пшенице их содержание значительно выше, чем в яровой [48, 53]. Согласно некоторым исследованиям, антиоксидантные свойства проявляют как несвязанные фенольные соединения, так и свободные от фенолов АКС, но максимальные значения антиоксидантной активности проявляют АКС, связанные с феруловой кислотой [56–58].

Алкилрезорцинолы, являющиеся фенольными липидами, обладают менее выраженными антиоксидантными свойствами, которые усиливаются у метаболитов in vivo. Они обладают также антибактериальными, антигрибковыми и противопаразитарными свойствами [56].

В целом по содержанию фенольных соединений ржаные и пшеничные отруби сравнимы с ягодами (аронией черноплодной, бузиной черной, голубикой, черной смородиной), которые являются общеизвестными источниками природных полифенолов. Преимуществом зерновых продуктов является нахождение их в сухом виде, что значительно увеличивает сохранность активных компонентов [59].

Влияние употребления отрубей на риск развития диабета второго типа. Риск развития диабета второго типа обусловлен сложным взаимодействием генетических факторов и образа жизни, в котором диета является основным и подлежащим контролю фактором. Диетические изменения и контроль веса более эффективны, чем фармакологическое вмешательство [20]. Употребление цельнозерновых продуктов уменьшает риск диабета на 20–30 %, что обусловлено как составом диетических волокон, так и содержанием витаминов, минералов и фитохимических веществ [60]. Доказана существенная роль в этом волокон цельнозерновых продуктов, чего не наблюдается в отношении волокон фруктового и овощного происхождения [61]. При этом положительное воздействие оказывают как растворимые, так и нерастворимые диетические волокна зерновых. Если эффект растворимых волокон связан с их вязкостью и снижением доступности пищеварительных ферментов и влиянием на скорость всасывания глюкозы, липидов и аминокислот, то механизм действия нерастворимых волокон остается неясным [61]. Пребиотические свойства волокон и развитие полезной микрофлоры снижают воспалительные реакции и препятствуют развитию ожирения [20]. С другой стороны, в патогенезе диабета второго типа принимает участие окислительно-свободнорадикальная дегенерация поджелудочной железы. Антиоксидантные компоненты волокон снижают окислительный стресс, восстанавливают активность антиоксидантных ферментов, уменьшая окислительное повреждение β-клеток поджелудочной железы, которое провоцирует развитие диабета [60, 62].

Антиканцерогенный эффект отрубей ржи и пшеницы. Противораковое действие отрубей при регулярном их употреблении обусловлено разными механизмами и определяется их антиоксидантными, пребиотическими и иммуномодуляторными свойствами.

ФК отрубей в незначительной степени проникает в кровь и воздействует главным образом на желудочно-кишечный тракт [60]. До 95 % связанной в составе АКС и КОС ФК достигает толстой кишки, где освобождается под действием микробных эстераз. Как связанная с АКС и КОС, так и освобожденная в кишечнике ФК и ее метаболиты могут проявлять антиоксидантную защиту, препятствуя перекисному окислению липидов и формированию аддуктов с ДНК и мутагенному процессу, напрямую воздействуя на клетки кишечного эпителия, уменьшая риск рака толстой и прямой кишки [19, 63].

Показана важная роль АКС в противораковом иммунитете [64].

АКС и АКОС с ковалентно связанной ФК избирательно стимулируют полезную микрофлору толстого кишечника (бифидум- и лактобактерии) и продукцию КЖК, в том числе бути-

рата, который оказывает наибольший положительный эффект на здоровье кишечника, обладает противовоспалительным действием, благотворно влияет на иммунитет, что снижает риск рака толстой кишки [42].

Эпидемиологические исследования показывают влияние употребления зерновых волокон на снижение риска развития разных форм рака. В ряде работ продемонстрирована обратная связь между включением в рацион цельнозерновых злаков и раком толстой и прямой кишки, раком поджелудочной железы [65–67]. Притом снижение риска рака толстой и особенно прямой кишки наблюдалось именно при употреблении цельнозерновых волокон, но не волокон фруктового или овощного происхождения [67].

Кроме того, в литературе обсуждается возможный эффект ржаных и пшеничных отрубей по отношению к гормонзависимым формам рака благодаря наличию в их оболочках лигнанов, а именно матаирезинола и секоизоларисирезинола, которые обычно находятся в связанном с лигнином состоянии [68]. Наиболее высокое содержание этих лигнанов в оболочках зерна ржи (см. табл. 2), но по этому показателю она уступает сое [69]. Лигнаны являются бифенольными соединениями, которые в результате ферментации в нижних отделах кишечника преобразуются в вещества со слабой эстрогенной и антиоксидантной активностью – энтеродиол и энтеролактон. Данные соединения влияют на метаболизм половых гормонов и на внутриклеточные ферменты, синтез белка, действие фактора роста, пролиферацию злокачественных клеток, дифференцировку и ангиогенез, что делает их вероятными кандидатами на роль естественных защитных соединений от гормонзависимого и других форм рака. В опытах на животных и культуре клеток было показано, что фитоэстрогены конкурируют за места связывания с эстрогеновыми рецепторами, ослабляют эстрогенный эффект и тормозят развитие эстрогензависимых опухолей [51, 70]. Эпидемиологические исследования подтверждают, что фитоэстрогены являются противораковыми природными соединениями, препятствующими развитию гормонзависимых форм рака [70]. Возможно, противораковый эффект лигнанов осуществляется и другими, эстрогеннезависимыми механизмами [71]. Слабый эстрогенный эффект метаболитов лигнанов способствует облегчению симптомов недостатка эстрогенов, возникающих у женщин в постменопаузе [69].

Заключение. Современный стиль жизни и западный тип питания (сладкая, жирная, рафинированная пища с низким содержанием растительных волокон, красное мясо) ведет к истощению микробиоты человека, что ассоциировано с многими хроническими неинфекционными заболеваниями – ожирением, сердечно-сосудистыми заболеваниями, диабетом второго типа, аллергическими заболеваниями, раком толстой и прямой кишки. Этот тип питания повышает уровень половых гормонов в плазме и снижает концентрацию глобулина, связывающего половые гормоны, увеличивая биодоступность этих стероидов, и, как следствие, риск гормонзависимых типов онкологии – рака груди и простаты [69].

Обогащение рациона человека цельнозерновыми продуктами оказывает лечебно-профилактическое воздействие, уменьшая риск возникновения данных заболеваний [72, 73]. Одним из путей решения этой проблемы может быть расширение ассортимента хлебобулочных изделий, производство хлеба из цельнозерновой муки и добавление отрубей при выпечке хлеба из муки высшего сорта, что позволит обогатить его пищевыми волокнами и биологически более ценным белком, не содержащим глютена. Второй путь – получение биологически активных ингредиентов, являющихся продуктами биотрансформации оболочек зерна, таких как полисахаридно-белковые концентраты, ксилоолигосахариды, полифенольные препараты и диетические волокна пшеницы и ржи, которые могут использоваться как пищевые добавки, уменьшающие оксидативный стресс и корректирующие кишечную микрофлору человека.

Оздоравливающий эффект отрубей связан с синергичным и аддитивным воздействием ДВ и фитохимических веществ, содержащихся во вторичных продуктах переработки зерна, по-

скольку эффект цельных зерен превосходит действие изолированных волокон и фитохимических веществ [73, 74].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *МР 2.3.1.2432–08* Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения российской Федерации: метод. рекомендации. – М., 2008. – 29 с.

2. *Rakha A., Aman P., Andersson R.* Characterisation of dietary fibre components in rye products // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 119 (3). – P. 859–867. – https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2009.09.090

3. *EFSA* Panel on Dietetic Products; Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Carbohydrates and Dietary Fibre // European Food Safety Authority Journal. – 2011. – Vol. 8 (3). – P. 1462, 1–77.

4. *Institute* of Medicine (IOM). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids (Macronutrients). – The National Academic Press: Washington DC, USA, 2005. – P. 1331.

5. *Joint* WHO/FAO Expert Consultation. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. – World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2003. – P. 149.

6. *Carbohydrates* and Health, Scientific Advisory Committee on Nutrition. – London: TSO, 2015. – P. 369.

7. *Farget A.* New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? // Nutrition Research Reviews. – 2010. – Vol. 23 (1). – P. 65–134. – https://doi.org/ 10.1017/S0954422410000041

8. *Chawla R., Patil G.R.* Soluble dietary fiber // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2010. – Vol. 9 (2). – P. 178–196. – https://doi.org/10.1111/j.1541–4337.2009.00099.x

9. *Extensive* dry ball milling of wheat and rye bran leads to in situ production of arabinoxylan oligosaccharides through nanoscale fragmentation / V. Van Craeyveld, U. Holopainen, E. Selinheimo, K. Poutanen, J.A. Delcour, C.M. Courtin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57 (18). – P. 8467–8473. – https://doi.org/ 10.1021/jf901870r

10. *Extractability,* stracture and molecular weight of β-glucan from Canadian rye (*Secale cereale* L.) whole male / S.M. Ragaee, P.S. Wood, Q. Wang [et al.] // Cereal Chemistry. – 2008. – Vol. 85 (3). – P. 283–288. – https://doi.org/ 10.1094/CCHEM-85–3–0283

11. *Glisto L.V., Knudsen K.E.B.* Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics // Journal of Cereal Science. – 1999. – Vol. 29 (1). – P. 89–97. – https://doi.org/ 10.1006/jcrs.1998.0214

12. *Studies* on rye (*Secale cereale* L.) lines exhibiting a range of extract viscosities. 1. Composition, molecular weight distribution of water extracts, and biochemical characteristics of purified water-extractable arabinoxylan / S.M. Ragaee, G.L. Campbell, G.J. Scoles [et al.] // Journal of Agricaltural and Food Chemisrty. – 2001. – Vol. 49 (5). – P. 2437–2445. – https://doi.org/10.1021/jf001227g

13. *Henry R.J.* Pentosan and (1→3), (1→4) -b-glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. Journal of Cereal Science. – 1987. – Vol. 6. – P. 253–258. – https://doi.org/ 10.1016/S0733–5210 (87) 80062–0

14. *Cereal* grain fructans: structure, variability and potential health effects effect / J. Verspreet, E. Dorner, W.V. den Engle [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2015. – Vol. 43 (1). – P. 32–42. – https://doi.org/ 10.1016/j.tifs.2015.01.006

15. *Variation* in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the HEALTHGRAIN Diversity Screen / K. Gebruers, E. Dornez, F. Boros [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56. – P. 9740–9749. – https://doi.org/10.1021/jf800975w

16. *Contents* of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen / A.A.M. Andersson, R. Andersson, V. Piironen [et al.] // Food Chemistry. – 2013. – Vol. 136. – P. 1243–1248. – https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2012.09.074

17. *Content,* structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries / S. Bengtsson, R. Andersson, E. Westerlund, P. Aman // J. Sci. Food Agric. – 1992. – Vol. 58. – P. 331–337. – https://doi.org/10.1002/jsfa.2740580307

18. *Izydorczyk M.S., Biliaderis C.G.* Cereal Arabinoxylans Advances in Structure and Physicochemical Properties // Carbohydrate Polymers. – 1995). – Vol. 28 (1). – P. 33–48. – https://doi.org/10.1016/0144–8617 (95) 00077–1

19. *Mendez-Encinas M.A., Rascon-Chu A. H.F.* Astiazaran-Garsia and D.E. Valencia-Rivera. Ferulated Arabinoxylan and their gels: Functional properties and potential application as antioxidant and anticancer agent // Oxidative Medicine and cellular Longevity. – 2018 (Special issue). – P. 1–22. https://doi.org/10.1155/2018/2314759

20. *Microbial* ecology: human gut microbes associated with obesity / R.E. Ley, P.J. Turnbaugh, S. Klein, J.I. Gordon // Nature. – 2006. – Vol. 444 (7122). – P. 1022–1023. – https://doi.org/ doi:10.1007/s00284–010–9582–9

21. *Evaluation* of structure in the formation of gels by structurally diverse (1→3), (1→4) -β-d-glucans from four cereal and one lichen species / S.M. Tosh, Y. Brummer, P.J. Wood [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2004. – Vol. 57 (3). – P. 249–259. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.05.009

22. *Wood P.J.* Oat and rye β-glucan: properties and function // Cereal Chemistry. – 2010. – N.4. – P. 315–330. – https://doi.org/10.1094/CCHEM-87–4–0315

23. *Wood P.J., Weisz J., Blackwell B.A.,* Structural studies of (1→3), (1→4) -β-d-glucans by 13C-nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance an ion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase // Cereal. Chemistry. – 1994. – Vol. 71 (3). – P. 301–307.

24. *Генотипическая* изменчивость содержания пентозанов зерне озимой ржи / М.Л. Пономарева, С.Н. Пономарев, М.Ш. Тагиров, Л.Ф. Гильмуллина, Г.С. Маннапова // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – № 52 (5). – С. 1041–1048. – https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.1041rus

25. *Nutrient* and lignin content, dough properties and baking performance of rye samples used in Scandinavia / M. Nillson, P. Aman, H. Harkonen // Acta agriculturæ Scandinavica Section B: Soil and plant science. – 1997. – Vol. 47 (1). – P. 26–34. – https://doi.org/10.1080/09064719709362435

26. *Effects* of a Bioavailable Arabinoxylan-enriched White Bread Flour on Postprandial Glucose Response in Normoglycemic Subjects / A.G. Falchi, I. Grecchi, C. Muggia [et al.] // Journal of dietary supplements. – 2016. – Vol. 13 (6). – P. 1–8. – https://doi.org/ 10.3109/19390211.2016.1156798

27. *Topping D.* Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health // Journal of Cereal Science. – 2007. – Vol. 46 (3). – P. 220–229. – https://doi.org/ 10.1016/j.jcs.2007.06.004

28. *Malunga L.N., Eck P., Beta T.* Inhibition of intestinal alpha-glucosidase and glucose absorption by feruloylated arabinoxylan mono– and oligosaccharides from corn bran and wheat aleurone // Journal of Nutrition and Metabolism. – 2016. – P. 1–9. – https://doi.org/10.1155/2016/1932532

29. *Effects* of soluble corn bran arabinoxylans on cecal digestion, lipid metabolism, and mineral balance (Ca, Mg) in rats / Lopez H.W., Levrat, M.A., Guy C. [et al.] // Journal of Nutritional Biochemistry. – 1999. – Vol. 10 (9). – P. 500–509. – https://doi.org/10.1016/S0955–2863 (99) 00036–4

30. *Gunness P., Gidley M.J.* Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides // Food & Function. – 2010. – Vol. 1 (2). – P. 149–155. – https://doi.org/10.1039/c0fo00080a

31. *Circulating* triglycerides and bile acids are reduced by a soluble wheat arabinoxylan via modulation of bile concentration and lipid digestion rates in a pig model / P. Gunness, B.A Williams., W.J. Gerrits [et al.] // Molecular Nutrition & Food Research. – 2016. – Vol. 60 (3). – P. 642–651. – https://doi.org/ 10.1002/mnfr.201500686

32. *Molecular* interactions of a model bile salt porcine bile with (1,3:1,4) – β-glucans and arabinoxylans probes by 13C NMR and SAXS / P. Gunness, B.M. Flanagan, J.P. Mata [et al.] // Food chemistry. – 2015. – Vol. 197. – P. 676–685. – https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.104

33. *Viscosity* of oat bran-enriched beverages influences gastrointestinal hormonal responses of healthy human / K.R. Juvonen, A.K. Purhonen, A.K. Salmenkallio-Marttila [et al.] // Jornal of Nutrition. – 2008. – Vol. 139 (3). – P. 461–466. – https://doi.org/ 10.3945/jn.108.099945

34. *Cereal-derived* arabinoxylans as biological response modifiers: Extraction, molecular features, and immune-stimulating properties / S. Zhang, W. Li, C.J. Smith, H. Musa // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2015. – Vol. 55 (8). – P.1035–1052. – https://doi.org/10.1080/10408398.2012.705188

35. *Vetvicka V., Vetvickova J.* Comparison of immunological effect of commertially available β-glucans // Part III. International Clinical Pathology Journal. – 2016. – Vol. 2 (4). – P. 78–83. – https://doi.org/ 10.15406/icpjl.2016.02.00046

36. *Molecular* weight dependency on the production of the TNF stimulated by fractions of rye (1→3), (1→4) β– glucan: rye mixed-linkage β-glucan stimulates the production of TNF / J. P. Roubroeks, L. Ryan, G. Skjak-Bræk, B. E. Christensenn // Scandinavian Journal of Immunology. – 2008. – Vol. 52 (6). – P. 584–587. – https://doi.org/ 10.1111/j.1365–3083.2000.00826.x

37. *In vitro* fermentation of polysaccharides of rye, wheat and oat brans and inulin by human faecal bacteria / S. Karppinen, K. Liukkonen, A. – M. Aura // Journal of Science of Food and Agriculture. – 2000. – Vol. 80 (10). – P. 1469–1476. – https://doi.org/10.1002/1097–0010 (200008) 80:10<1469:: AID-JSFA675>3.0.CO;2-A

38. *Arabinoxylan* structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions / Z. Chen, S. Li, Y. Fu [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2019. – Vol. 54. – P. 536–551. – https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007

39. *Журлова Е.Д., Карпельянц Л.В.* Исследование пребиотической активности ксилоолигосахаридов из ржаных и пшеничных отрубей in vitro // Scientific Jornal «ScienceRise». – 2015. – Vol. 4, N 1 (9). – P. 79–84. https://doi.org/10.15587/2313–8416.2015.40627

40. *Bifidobacteria* and butyrate-producing colon bacteria: importance and strategies for their stimulation in the human gut / A. Riviere, M. Selak, D. Lantin [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–21. – https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2016.00979

41. *Wheat-derived* arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic effect increase satietogenic gut peptides and reduce metabolic endotoxemia in diet-induced obese mice / A. M. Neyrinck, V. F. Van Hee, N. Piront [et al.] // Nutrition and Diabetes. – 2012. – Vol. 2 (1). – e28-e28. – https://doi.org/ 10.1038/nutd.2011.24.

42. *Szwajgier D., Jakubczyk A.* Biotransformation of ferulic acid by Lactobacillus acidophilus KI and selected Bifidobacterium strains // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. – 2010. – Vol. 9 (1). – P. 45–59.

43. *Macfarlane S., Macfarlane G. T., Cummings J. H.* Review Article: Prebiotics in the gastrointestinal tract // Alimentary Pharmacology & Therapeutics. – 2006. – Vol. 24 (5). – P. 701–714. – https://doi.org/ 10.1111/j.1365–2036.2006.03042.x

44. *Fructan* content of rye and rye products / S. Karppinen, O. Myllymaki, P. Forsel, K. Poutanen K. // Cereal. Chemistry. – 2009. – Vol. 80 (2). – P. 169–171. – https://doi.org/ 10.1094/CCHEM.2003.80.2.168

45. *Sapirstein H. D.* Bioactive compounds in wheat bran / C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, J. Faubion (Eds.). Encyclopedia of Food Grains, Nutrition and Food Grains, second ed., 2016. vol. 2. – Elsevier Academic Press, Oxford, 2016. – P. 268–276.

46. *Graf E., Eaton J. W.* Antioxidant Functions of Phytic Acid // Free Radical Biology & Medicine. – 1990. – Vol. 8 (1). – P. 61–69. – https://doi.org/ 10.1016/0891–5849 (90) 90146-a.

47. *Mattila P., Pihlava J. – M., Hellström J.* Contents of phenolic acids, alkyl– and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53. – P. 8290–8295. – https://doi.org/ 10.1021/jf051437z

48. *Content* of Phenolic Acids and Ferulic Acid Dehydrodimers in 17 Rye (*Secale cereale* L.) Varieties / M. F. Andreasen, L. P. Christensen, A. S. Meyer, A. Hansen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2000. – Vol. 48 (7). – P. 2837–2842. – https://doi.org/ 10.1021/jf991266w

49. *Dykes L., Rooney L. W.* Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits // Cereal Foods World. – 2007. – Vol. 52. – P. 105–111. – https://doi.org/10.1094/CFW-52–3–0105

50. *Ross A. B., Aman P., Kamal-Eldin A.* Alkylresorcinols as markers of whole grain wheat and rye in cereal products // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Vol. 52 (26). – P. 8242–8246. – https://doi.org/ 10.1021/jf049726v

51. *Quantification* of lignans in food using isotope dilution gas chromatography/mass spectrometry / J. L. Peñalvo, K. Haajanen, N. P. Botting, H. Adlercreutz // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53 (24). – P. 9342–9347. – https://doi.org/10.1021/jf051488w

52. *Определение* природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах / А. Яшин, Я. Яшин, П. Федина, Н. Черноусова // Аналитика. – 2012. – № 1. – С. 32–36.

53. *Li L., Shewry P.R., Ward J.L.* Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56 (21). – P. 9732–9739. – https://doi.org/10.1021/jf801069s

54. *Diferulates* as structural components in soluble and insoluble cereal dietary fibre / M. Bunzel, J. Ralph, J.M. Marita [et al.] // Journal of the Science and Food Agriculture. – 2001. – Vol. 81 (7). – P. 653–660. – https://doi.org/10.1002/jsfa.861

55. *Phytochemicals* and dietary fiber components in rye varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen / L. Nyström, A. – M. Lampi, A.A.M. Andersson // Journal of the Science and Food Agriculture. – 2008. – Vol. 56 (21). – P. 9758–9766. – https://doi.org/ 10.1021/jf801065r

56. *Comparison* of the immunological activities of arabinoxylans from wheat bran with alkali and xylanase-aided extraction / S. Zhou, X. Liu, Y. Guo [et al.] // Carbohydrate polymers. – 2010. – Vol. 81 (4). – P. 784–789. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.040

57. *Malunga L.N., Izydorczyk M., Beta T.* Effect of water-extractable arabinoxylans from wheat aleurone and bran on lipid peroxidation and factors influencing their antioxidant capacity // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. – 2017. – Vol. 10. – P. 20–26. – https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.05.001

58. *Ferulic* Acid Content and Appearance Determine the Antioxidant Capacity of Arabinoxylano-ligosaccharides / J. Snelders, E. Dornez, J.A. Delcour, C.M. Courtine // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2013. – Vol. 61 (42). – P. 10173–10182. – https://doi.org/10.1021/jf403160x

59. *Журлова Е.Д.* Разработка биотехнологии функциональных ингредиентов из зернового сырья: дис. … канд. техн. наук. – Одесса, 2015. – 250 с.

60. *Belobrajdic D.P., Bird A.R.* The potential role of phytochemicalsin wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes // Nutrition Journal. – 2013. – Vol. 12 (62). – P. 1–12. – https://doi.org/10.1186/1475–2891–12–62

61. *Fiber* and magnesium intake and incidents of type 2 diabetes / M.B. Schulze, M. Sculz, C. Heidemann // Achives of Internal Medicine. – 2007. – Vol. 167 (9). – P. 956–965. – https://doi.org/ doi: 10.1001/archinte.167.9.956

62. *Protection* against Oxidative Stress in Diabetic Rats by Wheat Bran Feruloyl Oligosaccharides / S. – I. Ou, G.M. Jackson, X. Jiao // Journal of Agricultural and. Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55 (8). – P. 3191–3195. – https://doi.org/ 10.1021/jf063310v

63. *Vitaglione P., A. Napolitano A., Fogliano V.* Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut // Trends in Food Science & Technology. – 2008. – Vol. 19 (9). – P. 451–463. – https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005

64. *Antitumor* and immunomodulatory activity of arabinoxylans: A major constituent of wheat bran / L. Cao, X. Liu, T. Qian [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2011. – Vol. 48 (1). – P. 160–164. – https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.10.014

65. *Whole* grain foodintake and cancer risk. International / L. Chatenoud, A. Tavni, Vecchia La [et al.] // Journal of Cancer. – 1998. – Vol. 77 (1). – P. 24–28. – https://doi.org/10.1002/ (sici) 1097–0215 (19980703) 77:1<24:: aid-ijc5>3.0.co;2–1

66. *Whole* grain consumption and risk of colorectal cancer: a population-basedcohort of 60.000 women / S.C. Larsson, E. Giovannucci, L. Berghvist, A. Wolk // British Journal of Cancer. – 2005. – Vol. 92 (9). – P. 1803–1807. – https://doi.org/ 10.1038/sj.bjc.6602543

67. *Dietary* fiber ad whole grain consumption in relation to colorectal cancer / A. Schatzkin, T. Mouw, Y. Park [et al.] // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2007. – Vol. 85 (5). – P. 1353–1360. – https://doi.org/10.1093/ajcn/85.5.1353.

68. *Dietary* lignins are precursors of mammalian lignans in rats / A.N. Begum, C. Nicolle, I. Mila [et al.] // The Journal of Nutrition. – 2004. – Vol. 134 (1). – P. 120–127. – https://doi.org/ 10.1093/jn/134.1.120

69. *Adlercreutz C.H., Mazur W.* Phyto-estrogens and western diseases. Annals of Medicine. – 1997. – Vol. 29 (2). – P. 95–120. – https://doi.org/10.3109/07853899709113696

70. *Soybean* phytoestrogen intake and cancer risk / C.H. Adlercreutz, B.R. Goldin, S.L. Gorbach [et al.] // The Journal of Nutrition. – 1995. – Vol. 125 (3). – P. 757S-770S. – https://doi.org/ 10.1093/jn/125.3_Suppl.757S.

71. *Effects* of phytoestrogens on aromatase, 3β– and 17β-hydroxysteroid dehydrogenase activities and human breast cancer cells / J. – C. Le Bail, Y. Champavier, A. – J. Chulia, G. Habrioux // Life Sciences. – 2000. – Vol. 66 (14). – P. 1281–1291. – https://doi.org/10.1016/s0024–3205 (00) 00435–5

72. *Putting* the Whole Grain Puzzle Together: Health Benefits Associated with Whole Grains-Summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium / S. Jonnalagadda, L. Harnack, R. H. Liu [et al.] // The Journal of Nutrition. – 2011. – Vol. 141 (5). – P. 1011S-1022S. – https://doi.org/10.3945/jn.110.132944

73. *Liu R.* H. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action // The Journal of Nutrition. – 2004. – Vol. 134 (12). – P. 3479S-3485S. – https://doi.org/10.1093/jn/134.12.3479S

74. *Slavin J.* Whole grain and human health // Nutrition Reseach Reviews. – 2004. – N 17 (1). – P. 99–110. – https://doi.org/10.1079/NRR200374

REFERENCES

1. MR 2.3.1.2432–08 Normy fiziologicheskih potrebnostej v energii i pishchevyh veshchestvah dlya razlichnyh grupp naseleniya Rossijskoj Federacii: metod. Rekomendacii. – M., 2008. – 29 c.

2. Rakha A., Aman P., Andersson R. Characterisation of dietary fibre components in rye products // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 119 (3). – P. 859–867. https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2009.09.090

3. EFSA Panel on Dietetic Products; Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Carbohydrates and Dietary Fibre // European Food Safety Authority Journal. – 2011. – Vol. 8 (3). – P. 1462, 1–77.

4. Institute of Medicine (IOM). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids (Macronutrients). – The National Academic Press: Washington DC, USA, 2005. – P. 1331.

5. Joint WHO/FAO Expert Consultation. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. – World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2003. – P. 149.

6. Carbohydrates and Health, Scientific Advisory Committee on Nutrition. – London: TSO, 2015. – P. 369.

7. Farget A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? // Nutrition Research Reviews. – 2010. – Vol. 23 (1). – P. 65–134. – https://doi.org/ 10.1017/S0954422410000041

8. Chawla R., Patil G. R. Soluble dietary fiber // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2010. – Vol. 9 (2). – P. 178–196. – https://doi.org/10.1111/j.1541–4337.2009.00099.x

9. Extensive dry ball milling of wheat and rye bran leads to in situ production of arabinoxylan oligosaccharides through nanoscale fragmentation / V. Van Craeyveld, U. Holopainen, E. Selinheimo, K. Poutanen, J. A. Delcour, C. M. Courtin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57 (18). – P. 8467–8473. – https://doi.org/ 10.1021/jf901870r

10. Extractability, stracture and molecular weight of β-glucan from Canadian rye (Secale cereale L.) whole male / S. M. Ragaee, P. S. Wood, Q. Wang [et al.] // Cereal Chemistry. – 2008. – Vol. 85 (3). – P. 283–288. – https://doi.org/ 10.1094/CCHEM-85–3–0283

11. Glisto L. V., Knudsen K. E. B. Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics // Journal of Cereal Science. – 1999. – Vol. 29 (1). – P. 89–97. – https://doi.org/ 10.1006/jcrs.1998.0214

12. Studies on rye (Secale cereale L.) lines exhibiting a range of extract viscosities. 1. Composition, molecular weight distribution of water extracts, and biochemical characteristics of purified water-extractable arabinoxylan / S. M. Ragaee, G. L. Campbell, G. J. Scoles [et al.] // Journal of Agricaltural and Food Chemisrty. – 2001. – Vol. 49 (5). – P. 2437–2445. – https://doi.org/10.1021/jf001227g

13. Henry R. J. Pentosan and (1→3), (1→4) -b-glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. Journal of Cereal Science. – 1987. – Vol. 6. – P. 253–258. – https://doi.org/ 10.1016/S0733–5210 (87) 80062–0

14. Cereal grain fructans: structure, variability and potential health effects effect / J. Verspreet, E. Dorner, W.V. den Engle [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2015. – Vol. 43 (1). – P. 32–42. – https://doi.org/ 10.1016/j.tifs.2015.01.006

15. Variation in the content of dietary fiber and components thereof in wheats in the HEALTHGRAIN Diversity Screen / K. Gebruers, E. Dornez, F. Boros [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56. – P. 9740–9749. – https://doi.org/10.1021/jf800975w

16. Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen / A.A.M. Andersson, R. Andersson, V. Piironen [et al.] // Food Chemistry. – 2013. – Vol. 136. – P. 1243–1248. – https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2012.09.074

17. Content, structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries / S. Bengtsson, R. Andersson, E. Westerlund, P. Aman // J. Sci. Food Agric. – 1992. – Vol. 58. – P. 331–337. – https://doi.org/10.1002/jsfa.2740580307

18. Izydorczyk M. S., Biliaderis C. G. Cereal Arabinoxylans Advances in Structure and Physicochemical Properties // Carbohydrate Polymers. – 1995). – Vol. 28 (1). – P. 33–48. – https://doi.org/10.1016/0144–8617 (95) 00077–1

19. Mendez-Encinas M.A., Rascon-Chu A. H.F. Astiazaran-Garsia and D.E. Valencia-Rivera. Ferulated Arabinoxylan and their gels: Functional properties and potential application as antioxidant and anticancer agent // Oxidative Medicine and cellular Longevity. – 2018 (Special issue). – P. 1–22. https://doi.org/10.1155/2018/2314759

20. Microbial ecology: human gut microbes associated with obesity / R. E. Ley, P. J. Turnbaugh, S. Klein, J. I. Gordon // Nature. – 2006. – Vol. 444 (7122). – P. 1022–1023. – https://doi.org/ doi:10.1007/s00284–010–9582–9

21. Evaluation of structure in the formation of gels by structurally diverse (1→3), (1→4) **-β**-d-glucans from four cereal and one lichen species / S. M. Tosh, Y. Brummer, P. J. Wood [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2004. – Vol. 57 (3). – P. 249–259. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.05.009

22. Wood P. J. Oat and rye **β**-glucan: properties and function // Cereal Chemistry. – 2010. – N.4. – P. 315–330. – https://doi.org/10.1094/CCHEM-87–4–0315

23. Wood P. J., Weisz J., Blackwell B. A., Structural studies of (1→3), (1→4) **-β**-d-glucans by 13C-nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance an ion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase // Cereal. Chemistry. – 1994. – Vol. 71 (3). – P. 301–307.

24. Genotipicheskaya izmenchivost» soderzhaniya pentozanov zerne ozimoj rzhi / M. L. Ponomareva, S. N. Ponomarev, M.SH. Tagirov, L. F. Gil'mullina, G. S. Mannapova // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2017. – № 52 (5). – S. 1041–1048. – https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.1041rus

25. Nutrient and lignin content, dough properties and baking performance of rye samples used in Scandinavia / M. Nillson, P. Aman, H. Harkonen // Acta agriculturæ Scandinavica Section B: Soil and plant science. – 1997. – Vol. 47 (1). – P. 26–34. – https://doi.org/10.1080/09064719709362435

26. Effects of a Bioavailable Arabinoxylan-enriched White Bread Flour on Postprandial Glucose Response in Normoglycemic Subjects / A. G. Falchi, I. Grecchi, C. Muggia [et al.] // Journal of dietary supplements. – 2016. – Vol. 13 (6). – P. 1–8. – https://doi.org/ 10.3109/19390211.2016.1156798

27. Topping D. Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health // Journal of Cereal Science. – 2007. – Vol. 46 (3). – P. 220–229. – https://doi.org/ 10.1016/j.jcs.2007.06.004

28. Malunga L. N., Eck P., Beta T. Inhibition of intestinal alpha-glucosidase and glucose absorption by feruloylated arabinoxylan mono– and oligosaccharides from corn bran and wheat aleurone // Journal of Nutrition and Metabolism. – 2016. – P. 1–9. – https://doi.org/10.1155/2016/1932532

29. Effects of soluble corn bran arabinoxylans on cecal digestion, lipid metabolism, and mineral balance (Ca, Mg) in rats / Lopez H. W., Levrat, M.A., Guy C. [et al.] // Journal of Nutritional Biochemistry. – 1999. – Vol. 10 (9). – P. 500–509. – https://doi.org/10.1016/S0955–2863 (99) 00036–4

30. Gunness P., Gidley M. J. Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides // Food & Function. – 2010. – Vol. 1 (2). – P. 149–155. – https://doi.org/10.1039/c0fo00080a

31. Circulating triglycerides and bile acids are reduced by a soluble wheat arabinoxylan via modulation of bile concentration and lipid digestion rates in a pig model / P. Gunness, B.A Williams., W. J. Gerrits [et al.] // Molecular Nutrition & Food Research. – 2016. – Vol. 60 (3). – P. 642–651. – https://doi.org/ 10.1002/mnfr.201500686

32. Molecular interactions of a model bile salt porcine bile with (1,3:1,4) – **β**-glucans and arabinoxylans probes by 13C NMR and SAXS / P. Gunness, B. M. Flanagan, J. P. Mata [et al.] // Food chemistry. – 2015. – Vol. 197. – P. 676–685. – https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.104

33. Viscosity of oat bran-enriched beverages influences gastrointestinal hormonal responses of healthy human / K. R. Juvonen, A. K. Purhonen, A. K. Salmenkallio-Marttila [et al.] // Jornal of Nutrition. – 2008. – Vol. 139 (3). – P. 461–466. – https://doi.org/ 10.3945/jn.108.099945

34. Cereal-derived arabinoxylans as biological response modifiers: Extraction, molecular features, and immune-stimulating properties / S. Zhang, W. Li, C. J. Smith, H. Musa // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2015. – Vol. 55 (8). – P.1035–1052. – https://doi.org/10.1080/10408398.2012.705188

35. Vetvicka V., Vetvickova J. (Comparison of immunological effect of commertially available **β**-glucans // Part III. International Clinical Pathology Journal. – 2016. – Vol. 2 (4). – P. 78–83. – https://doi.org/ 10.15406/icpjl.2016.02.00046

36. Molecular weight dependency on the production of the TNF stimulated by fractions of rye (1→3), (1→4) **β**– glucan: rye mixed-linkage **β**-glucan stimulates the production of TNF / J. P. Roubroeks, L. Ryan, G. Skjak-Bræk, B. E. Christensenn // Scandinavian Journal of Immunology. – 2008. – Vol. 52 (6). – P. 584–587. – https://doi.org/ 10.1111/j.1365–3083.2000.00826.x

37. In vitro fermentation of polysaccharides of rye, wheat and oat brans and inulin by human faecal bacteria / S. Karppinen, K. Liukkonen, A. – M. Aura // Journal of Science of Food and Agriculture. – 2000. – Vol. 80 (10). – P. 1469–1476. – https://doi.org/10.1002/1097–0010 (200008) 80:10<1469:: AID-JSFA675>3.0.CO;2-A

38. Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions / Z. Chen, S. Li, Y. Fu [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2019. – Vol. 54. – P. 536–551. – https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007

39. ZHurlova E.D., Karpel'yanc L. V. Issledovanie prebioticheskoj aktivnosti ksilooligosaharidov iz rzhanyh i pshenichnyh otrubej in vitro // Scientific Jornal «ScienceRise». – 2015. – Vol. 4, N 1 (9). – P. 79–84. https://doi.org/10.15587/2313–8416.2015.40627

40. Bifidobacteria and butyrate-producing colon bacteria: importance and strategies for their stimulation in the human gut / A. Riviere, M. Selak, D. Lantin [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–21. – https://doi.org/ 10.3389/fmicb.2016.00979

41. Wheat-derived arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic effect increase satietogenic gut peptides and reduce metabolic endotoxemia in diet-induced obese mice / A. M. Neyrinck, V. F. Van Hee, N. Piront [et al.] // Nutrition and Diabetes. – 2012. – Vol. 2 (1). – e28-e28. – https://doi.org/ 10.1038/nutd.2011.24.

42. Szwajgier D., Jakubczyk A. Biotransformation of ferulic acid by Lactobacillus acidophilus KI and selected Bifidobacterium strains // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. – 2010. – Vol. 9 (1). – P. 45–59.

43. Macfarlane S., Macfarlane G. T., Cummings J. H. Review Article: Prebiotics in the gastrointestinal tract // Alimentary Pharmacology & Therapeutics. – 2006. – Vol. 24 (5). – P. 701–714. – https://doi.org/10.1111/j.1365–2036.2006.03042.x

44. Fructan content of rye and rye products / S. Karppinen, O. Myllymaki, P. Forsel, K. Poutanen K. // Cereal. Chemistry. – 2009. – Vol. 80 (2). – P. 169–171. – https://doi.org/ 10.1094/CCHEM.2003.80.2.168

45. Sapirstein H. D. Bioactive compounds in wheat bran / C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, J. Faubion (Eds.). Encyclopedia of Food Grains, Nutrition and Food Grains, second ed., 2016. vol. 2. – Elsevier Academic Press, Oxford, 2016. – P. 268–276.

46. Graf E., Eaton J. W. Antioxidant Functions of Phytic Acid // Free Radical Biology & Medicine. – 1990. – Vol. 8 (1). – P. 61–69. – https://doi.org/ 10.1016/0891–5849 (90) 90146-a.

47. Mattila P., Pihlava J. – M., Hellström J. Contents of phenolic acids, alkyl– and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53. – P. 8290–8295. – https://doi.org/ 10.1021/jf051437z

48. Content of Phenolic Acids and Ferulic Acid Dehydrodimers in 17 Rye (Secale cereale L.) Varieties / M. F. Andreasen, L. P. Christensen, A. S. Meyer, A. Hansen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2000. – Vol. 48 (7). – P. 2837–2842. – https://doi.org/ 10.1021/jf991266w

49. Dykes L., Rooney L. W. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits // Cereal Foods World. – 2007. – Vol. 52. – P. 105–111. – https://doi.org/10.1094/CFW-52–3–0105

50. Ross A. B., Aman P., Kamal-Eldin A. Alkylresorcinols as markers of whole grain wheat and rye in cereal products // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2004. – Vol. 52 (26). – P. 8242–8246. – https://doi.org/ 10.1021/jf049726v

51. Quantification of lignans in food using isotope dilution gas chromatography/mass spectrometry / J. L. Peñalvo, K. Haajanen, N. P. Botting, H. Adlercreutz // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2005. – Vol. 53 (24). – P. 9342–9347. – https://doi.org/10.1021/jf051488w

52. Opredelenie prirodnyh antioksidantov v pishchevyh zlakah i bobovyh kul'turah / A. YAshin, YA. YAshin, P. Fedina, N. CHernousova // Analitika. – 2012. – № 1. – S. 32–36.

53. Li L., Shewry P. R., Ward J. L. Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen // Journal of Agricultural and Food Chemistryyu – 2008. – Vol. 56 (21). – P. 9732–9739. – https://doi.org/10.1021/jf801069s

54. Diferulates as structural components in soluble and insoluble cereal dietary fibre / M. Bunzel, J. Ralph, J. M. Marita [et al.] // Journal of the Science and Food Agriculture. – 2001. – Vol. 81 (7). – P. 653–660. – https://doi.org/10.1002/jsfa.861

55. Phytochemicals and dietary fiber components in rye varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen / L. Nyström, A. – M. Lampi, A.A.M. Andersson // Journal of the Science and Food Agriculture. – 2008. – Vol. 56 (21). – P. 9758–9766. – https://doi.org/ 10.1021/jf801065r

56. Comparison of the immunological activities of arabinoxylans from wheat bran with alkali and xylanase-aided extraction / S. Zhou, X. Liu, Y. Guo [et al.] // Carbohydrate polymers. – 2010. – Vol. 81 (4). – P. 784–789. – https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.040

57. Malunga L. N., Izydorczyk M., Beta T. Effect of water-extractable arabinoxylans from wheat aleurone and bran on lipid peroxidation and factors influencing their antioxidant capacity // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. – 2017. – Vol. 10. – P. 20–26. – https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.05.001

58. Ferulic Acid Content and Appearance Determine the Antioxidant Capacity of Arabinoxylanoligosaccharides / J. Snelders, E. Dornez, J. A. Delcour, C. M. Courtine // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2013. – Vol. 61 (42). – P. 10173–10182. – https://doi.org/10.1021/jf403160x

59. ZHurlova E. D. Razrabotka biotekhnologii funkcional'nyh ingredientov iz zernovogo syr'ya: dis. … kand. tekhn. nauk. – Odessa, 2015. – 250 s.

60. Belobrajdic D. P., Bird A. R. The potential role of phytochemicalsin wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes // Nutrition Journal. – 2013yu – Vol. 12 (62). – P. 1–12. – https://doi.org/10.1186/1475–2891–12–62

61. Fiber and magnesium intake and incidents of type 2 diabetes / M. B. Schulze, M. Sculz, C. Heidemann // Achives of Internal Medicine. – 2007. – Vol. 167 (9). – P. 956–965. – https://doi.org/ doi: 10.1001/archinte.167.9.956

62. Protection against Oxidative Stress in Diabetic Rats by Wheat Bran Feruloyl Oligosaccharides / S. – I. Ou, G. M. Jackson, X. Jiao // Journal of Agricultural and. Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55 (8). – P. 3191–3195. – https://doi.org/ 10.1021/jf063310v

63. Vitaglione P., A. Napolitano A., Fogliano V. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut // Trends in Food Science & Technology. – 2008. – Vol. 19 (9). – P. 451–463. – https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005

64. Antitumor and immunomodulatory activity of arabinoxylans: A major constituent of wheat bran / L. Cao, X. Liu, T. Qian [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2011). – Vol. 48 (1). – P. 160–164. – https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.10.014

65. Whole grain foodintake and cancer risk. International / L. Chatenoud, A. Tavni, Vecchia La [et al.] // Journal of Cancer. – 1998. – Vol. 77 (1). – P. 24–28. – https://doi.org/10.1002/ (sici) 1097–0215 (19980703) 77:1<24:: aid-ijc5>3.0.co;2–1

66. Whole grain consumption and risk of colorectal cancer: a population-basedcohort of 60.000 women / S. C. Larsson, E. Giovannucci, L. Berghvist, A. Wolk // British Journal of Cancer. – 2005. – Vol. 92 (9). – P. 1803–1807. – https://doi.org/ 10.1038/sj.bjc.6602543

67. Dietary fiber ad whole grain consumption in relation to colorectal cancer / A. Schatzkin, T. Mouw, Y. Park [et al.] // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2007. – Vol. 85 (5). – P. 1353–1360. – https://doi.org/10.1093/ajcn/85.5.1353.

68. Dietary lignins are precursors of mammalian lignans in rats / A. N. Begum, C. Nicolle, I. Mila [et al.] // The Journal of Nutrition. – 2004). – Vol. 134 (1). – P. 120–127. – https://doi.org/ 10.1093/jn/134.1.120

69. Adlercreutz C. H., Mazur W. Phyto-estrogens and western diseases. Annals of Medicine. – 1997. – Vol. 29 (2). P. 95–120. – https://doi.org/10.3109/07853899709113696

70. Soybean phytoestrogen intake and cancer risk / C. H. Adlercreutz, B. R. Goldin, S. L. Gorbach [et al.] // The Journal of Nutrition. – 1995. – Vol. 125 (3). – P. 757S-770S. – https://doi.org/ 10.1093/jn/125.3_Suppl.757S.

71. Effects of phytoestrogens on aromatase, 3**β**– and 17**β**-hydroxysteroid dehydrogenase activities and human breast cancer cells / J. – C. Le Bail, Y. Champavier, A. – J. Chulia, G. Habrioux // Life Sciences. – 2000. – Vol. 66 (14). – P. 1281–1291. – https://doi.org/10.1016/s0024–3205 (00) 00435–5

72. Putting the Whole Grain Puzzle Together: Health Benefits Associated with Whole Grains-Summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium / S. Jonnalagadda, L. Harnack, R. H. Liu [et al.] // The Journal of Nutrition. – 2011. – Vol. 141 (5). – P. 1011S-1022S. – https://doi.org/10.3945/jn.110.132944

73. Liu R. H. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action // The Journal of Nutrition. – 2004. – Vol. 134 (12). – P. 3479S-3485S. – https://doi.org/10.1093/jn/134.12.3479S

74. Slavin J. Whole grain and human health // Nutrition Reseach Reviews. – 2004. – N 17 (1). – P. 99–110. – https://doi.org/10.1079/NRR200374