

СЕЛЕКЦИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ β -ГЛЮКАНОВ В ЗЕРНЕ ОВСА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ, СЫРЬЯ И ФУРАЖА (обзор)

И.Г. ЛОСКУТОВ^{1, 2}, В.И. ПОЛОНСКИЙ³

Известно, что водорастворимые пищевые волокна оказывают диетическое, профилактическое и лечебное воздействие на организм человека. Управление по контролю продуктов и лекарств США (US Food and Drug Administration) выступило с официальным заявлением о том, что растворимые пищевые волокна из цельной зерновки овса в виде хлопьев, отрубей и муки способствуют снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. На основании имеющихся доказательств зависимости между потребленным количеством β -глоуанов и снижения холестерина (общего и низкой плотности) этой государственной организацией было рекомендовано ежедневное потребление не менее 3 г β -глоуанов из овса или ячменя. Европейская Организация по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Association, EFSA) также пришла к заключению о высокой ценности β -глоуанов. Физико-химические свойства, химические модификации и возможность промышленного применения β -глоуанов открывают для них четкие перспективы использования в пищевых продуктах, лекарственных и косметических средствах. Излагаются результаты изучения разнообразного сортового и видового материала по овсу на содержание β -глоуанов в зерновке. Констатируется, что голозерные формы овса имеют большее общее содержание указанного полисахарида по сравнению с пленчатыми, но последние содержат больше нерастворимых β -глоуанов в зерновке. Выполненная сравнительно недавно идентификация генов, участвующих в биосинтезе β -глоуанов зерновых культур, и созданная первая генетическая карта открывают новые возможности для генетического улучшения показателей качества зерна и получаемых из него пищевых продуктов, которые имеют важное значение для здоровья человека. В результате анализа популяции из 1700 линий овса, полученных из сорта Belinda (Швеция) с помощью индуцированного мутагенеза, были обнаружены образцы с содержанием β -глоуанов в зерновке от 1,8 до 7,5 %, при этом у родительской формы оно равнялось 4,9 %. Количество β -глоуанов в зерновке овса связано с накоплением белка и жира, с натурной массой зерна, а также с зерновой продуктивностью. Содержание этих полисахаридов зависит от метеорологических условий и агротехнических приемов возделывания сортов овса. С помощью компьютерного моделирования выполнено ранжирование факторов, влияющих на содержание β -глоуанов у пленчатых и голозерных сортов овса во время их выращивания. Анализ показал, что выбор сорта — наиболее важный параметр модели в определении окончательного накопления β -глоуана в зерновке по сравнению с другими факторами. Рассматриваются проблемы создания новых высокопродуктивных сортов овса с максимальным содержанием и оптимальной структурой этого полисахарида вместе с другими показателями качества зерновки, а также возможности получение функциональных продуктов питания на основе переработки зерна таких сортов. Делается вывод, что β -глоуаны будут играть все возрастающую роль в глобальной пищевой и медицинской отраслях. Для получения сортов разного (пищевого или кормового) направления использования необходим комплексный скрининг и выявление форм овса, контрастных по накоплению β -глоуанов.

Ключевые слова: овес, голозерный, пленчатый, *Avena*, β -глоуаны, полисахариды, пищевые волокна, липопротеиды, гликемических индекс, холестерин, раковые клетки, селекция, переработка, антипитательные свойства кормов.

В последние годы в некоторых западных странах начаты работы по изучению зерна ячменя и овса, содержащего β -глоуаны — вещества, способствующие профилактике ряда заболеваний человека. В России исследованию этих химических соединений в зерне овса сегодня посвящены лишь единичные работы. Род *Avena* L. принадлежит к семейству *Poaceae* (Мятликовые) и включает более двадцати видов, четыре из которых (*Avena sativa* L., *A. byzantina* C. Koch, *A. strigosa* Schreb. и *A. abyssinica* Hochst.) возделываются человеком. Мировые коллекции видов *Avena* насчитывают более 130 тыс. образцов, сохраняемых в 63 странах (1). Овес посевной (*Avena sativa*) — основной экономически значимый культивируемый вид. По мировому сбору зерна (24 млн т ежегодно) овес находится на 6-м месте после

пшеницы, риса, кукурузы, ячменя и сорго (2). Овес возделывается в Европе, Азии, Южной Америке, Австралии, меньше — в Африке. Наибольшие площади он занимает в России, Канаде и США. Эта мезофитная сельскохозяйственная культура хорошо адаптирована к широкому спектру почв и температурных условий.

Зерно овса имеет высокую питательную ценность, содержит ненасыщенные жирные кислоты, основные минеральные элементы, глобулярные белки и β -глюканы (самые высокие значения среди зерновых злаков), характеризуется наличием разнообразных химических веществ, проявляющих антиоксидантные свойства (3). Овес традиционно рассматривается как питательная зерновая культура, и существуют доказательства того, что продукты, получаемые из нее, могут помочь в предотвращении некоторых хронических заболеваний (4, 5). Кроме того, Постановлением ЕС 41/2009 овес недавно включен в число безглютеновых ингредиентов, безопасных при целиакии (хроническая непереносимость глютена — белков клейковины, которые содержатся главным образом в зерновках пшеницы, ржи и ячменя) при условии, что содержание клейковины в зерновке не должно превышать 20 ppm. При исследовании биохимических и иммунохимических характеристик 36 сортов овса выяснилось, что в большинстве образцов содержание таких белков было ниже 20 ppm и лишь у некоторых сортов превышало 80 ppm (6).

Строение молекул β -D-глюканов. У злаков (в отличие от большинства сельскохозяйственных культур) клеточные стенки эндосперма зерновки содержат очень мало целлюлозы и состоят главным образом из арабиноксиланов и (1,3;1,4)- β -D-глюканов, соотношение которых существенно варьирует у разных видов: у ржи и пшеницы преобладают арабиноксиланы, у ячменя и овса — (1,3;1,4)- β -D-глюканы (7). Последние типичны для всех представителей семейства *Poaceae*. В ячмене содержание (1,3;1,4)- β -D-глюканов колеблется от 3 до 11 %, у ржи — 1-2 %, у пшеницы < 1 %, у других зерновых обнаружены его следы (8). (1,3;1,4)- β -D-глюканы — растворимые в воде линейные гомополисахариды, молекулы которых состоят примерно из 2500 остатков β -(1,3)- и β -(1,4)-D-глюкопиранозы. Большинство сегментов в полимерных цепях составляют тримеры и тетрамеры (9), обычно в зерновке овса их молярное отношение — 1,5:2,3 (10, 11). В растворимых β -глюканах преобладают трисахариды (12). Молярные массы растворимых β -глюканов овса — примерно 500000 г/моль, нерастворимых — менее 200000 г/моль (13). Сравнительно недавно создана компьютерная 3D-модель молекулы β -глюканов. По форме она представляет собой удлиненную извилистую цепь с шагом 41,35 Е. Согласно расчетам, жесткость цепи увеличивается с ростом соотношения трисахариды:тетрасахариды (14).

При растворении в воде арабиноксиланы и β -глюканы (вследствие большой молекулярной массы) образуют гидроколлоиды с высокой вязкостью (15, 16). У β -глюканов овса с большим соотношением тетрасахариды:трисахариды вязкость растворов выше (17).

Концентрацию β -глюканов измеряют химическими и физическими методами. По международному стандарту для определения содержания β -глюканов в овсяной фракции и крупе (тест-системы «Megazyme Inc.», США) используют двухступенчатый гидролиз лихеназой и β -глюкозидазой до глюкозы, продукты которой затем регистрируют спектрофотометрически в видимой части спектра (18). Недавно был разработан более дешевый модифицированный экспресс-микрометод для анализа зерновки. По эффективности (исследовали пшеничный хлеб, ячменную муку и овсяные отруби) он оказался сравним со стандартным методом (19). Еще один ме-

тод — физический — основан на измерении отражения от размолотой зерновки в ближней инфракрасной области спектра (20).

Влияние β -глюканов на содержание липопротеидов в крови. β -Глюканы относятся к пищевым волокнам — высокомолекулярным углеводам растительного происхождения, которые благотворно влияют на важные функции желудочно-кишечного тракта и системные процессы в организме человека (21). β -Глюканы способствуют снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний (22), поддерживают или снижают количество холестерина в крови и риск гипергликемического синдрома (23). Так, гипохолестеринемический эффект β -глюканов злаков отмечали при сравнении двух рационов: в один входил хлеб на основе цельнозерновой пшеничной муки, другой был обогащен мононенасыщенными жирными кислотами и включал хлеб с овсяным β -глюканом. В результате у испытуемых снижалось содержание общего холестерина, при этом в первой группе концентрация холестерина низкой плотности в плазме крови уменьшалась на 16,8 %, во второй — на 27,3%. Оба рациона способствовали снижению избыточной массы тела (во второй группе в большей степени) (24). В другом эксперименте овсяная диета приводила к статистически достоверному снижению содержания общего холестерина и холестерина низкой плотности в крови, а при кукурузной диете эти показатели не уменьшались (25).

Гликемия и β -глюканы. Пищевые волокна способны понижать гликемический индекс пищи, в состав которой они входят (26). В случае заболевания гликемией доза приема пищевых волокон важна для контроля поступления глюкозы в кровь и ответной реакции организма в виде секреции инсулина, так как у пациентов с избыточной массой тела секреция инсулина в ответ на поступление 3,8 г β -глюканов овса заметно снижалась (27). Овсяные β -глюканы, взаимодействуя с другими углеводами, влияют на их усвояемость и, как следствие, на снижение гликемической реакции. Так, при определенных соотношениях β -глюканов и крахмала в рационе уменьшается усвояемость крахмала и снижается поступление глюкозы в кровь, причем эффект проявлялся сильнее при более высоком соотношении этих компонентов в рационе (28). В опытах на мышах и в культуре *in vitro* показано, что β -глюканы овса способны регулировать метаболизм глюкозы, выступая потенциальным ингибитором β -глюкозидазы, что может эффективно улучшать внутреннюю среду желудочно-кишечного тракта (29).

Мета-анализ статей, описывающих 126 клинических случаев, продемонстрировал существенную обратную зависимость между содержанием общего холестерина, липопротеидов низкой плотности, повышением количества холестерина высокой плотности, с одной стороны, и употреблением β -глюканов — с другой. В то же время влияние β -глюканов на уменьшение концентрации глюкозы строго не доказано и требует более длительных клинических исследований (30). Способность снижать гликемический индекс связывают с вязкостью β -глюканов, которая обуславливает их функциональные и физиологические эффекты (31). Что касается нормализации содержания холестерина, то роль вязкости β -глюканов часто подтверждается лишь косвенно, а полученный результат не всегда статистически значим. Предполагают, что разная эффективность β -глюканов может частично объясняться изменением их свойства в зависимости от диеты и дозы (32).

Влияние β -глюканов на другие показатели здоровья человека. Добавление пищевых волокон продлевает чувство насыщения (33). Интенсивно исследуется возможность применения β -глюканов в онкологии. Противоопухолевую активность низкомолекулярных β -глюканов из зерновок овса изучали на раковых клетках Me45 и A431: полисахарид зна-

чительно снижал их жизнеспособность, не будучи токсичным для нормальных клеток NaCaT. Увеличение продолжительности инкубации и концентрации β -глюканов существенно усиливало эффект. Иммуноцитохимически показано, что β -глюканы индуцируют экспрессию особого белка в обеих линиях раковых клеток, тогда как в нормальных клетках эта реакция значительно ниже (34). β -Глюканы из зерновок овса оказывали цитотоксическое действие на клетки НТВ-140 меланомы кожи человека. Детальный механизм такой активности нуждается в дальнейшем изучении, но предварительные результаты, безусловно, представляют интерес (35).

Низкомолекулярные β -глюканы способствовали уменьшению активности супероксиддисмутазы у крыс с экспериментально вызванным воспалением кишечника, получавших овсяные β -глюканы разной молекулярной массы. При окислительном стрессе включение β -глюканов в рацион улучшало показатели в тканях селезенки. Полученные данные позволяют надеяться на использование гидроколлоидов β -глюканов для создания композиции с антиоксидантными свойствами (36).

Зерновые пищевые волокна, которые не перевариваются в тонкой кишке и функционируют либо в качестве субстрата для дальнейшей кишечной ферментации, либо как наполнитель, служат средством предотвращения некоторых кишечных заболеваний и, возможно, в какой-то степени выступают в роли терапевтического агента (37).

Таким образом, употребление в пищу овсяных продуктов способствует уменьшению содержания в крови холестерина, в том числе низкой плотности (38, 39), риска сердечно-сосудистых заболеваний, улучшению функционирования печени, снижению избыточной массы тела (40). Водорастворимые пищевые волокна (β -глюканы) и фенольные алкалоиды (авенантрамиды) можно включать в ежедневную диету как функциональные пищевые компоненты (41). Однако у β -глюканов овса есть и отрицательные свойства. Предполагается, что, связывая ионы железа, β -глюканы могут уменьшать его биологическую доступность (42). Кроме того, питательная ценность овса для нежвачных животных отрицательно коррелирует с содержанием пищевых волокон в зерновке (43).

Скрининг сортов и видов овса по содержанию β -глюканов. На протяжении многих десятилетий селекция на высокую продуктивность и устойчивость растений к стресс-факторам привела к некоторому снижению генетического разнообразия по признакам качества. Поэтому увеличение количества арабиноксиланов и β -глюканов в зерновке в настоящее время весьма актуально. Содержание и состав пищевых волокон генетически детерминированы. Это означает (44), что возможно создавать линии растений с разным соотношением β -глюканов и арабиноксиланов для целевого использования. Так, изменение соотношения этих компонентов для увеличения показателя вязкости позволит получить сорта для производства цельнозерновых продуктов питания, а ее снижение у фуражных сортов предотвратит отрицательные последствия при скармливании зерна домашней птице и свиньям (44). Изучение содержания β -глюканов у овса связано с его использованием не только в диетических целях, но и в медицинской промышленности (45).

Выполненная сравнительно недавно идентификация генов, участвующих в биосинтезе β -глюканов у зерновых культур (15), и созданная первая генетическая карта (46) — важные этапы в генетическом улучшении качества зерна и получаемых из него пищевых продуктов. Стратегия исследований включает использование природного генетического разнообразия и его расширение методами мутагенеза и трансгенеза (47). При-

менение мутагенеза с целью изменения содержания β -глюканов в зерновке овса описано в литературе (48, 49). В популяции 1700 линий сорта Belinda (Швеция), полученных с помощью мутагенеза, обнаружены формы с высоким ($> 6,7\%$) и низким ($< 3,6\%$) содержанием β -глюканов в зерновке при максимальном варьировании показателя от 1,8 до 7,5 % (у родителя — 4,9 %) (48).

Генетическое разнообразие овса по содержанию β -глюканов в зерновке оценивалось в рамках двух европейских программ. В проекте NE-ALTHGRAIN Diversity Screen (начат в 2005 году и выполнялся в основном на пшенице) у 5 сортов овса в одних и тех же условиях содержание β -глюканов и антиоксидантов в зерновке существенно различалось (3). В следующем проекте (European Project «Avena genetic resources for quality in human consumption») изучение 658 сортов овса подтвердило вклад как генетической, так и экологической составляющей в формирование признака (50).

Интересно, что у многих диких видов овса обнаружено высокое содержание β -глюканов в зерновке (50), при том что эти исследования очень немногочисленны. Изучение ограниченного набора диких образцов, в том числе *A. sterilis* L., выявило повышенное (до 6 %) количество β -глюканов в зерновке у всех гексаплоидных видов (*A. fatua* L., *A. occidentalis* Durie., *A. byzantina*) по сравнению с ди- и тетраплоидными (51-56).

Сравнение коллекционных образцов овса по содержанию важных биохимических компонентов позволило идентифицировать исходный материал, представляющий интерес для селекции (57). В американской коллекции овса содержание β -глюканов имело разброс от 2,6 до 8,5 % (58, 59). В разных сообщениях указывались значения показателя от 1,9 до 7,5 % (8, 60). У сортов гексаплоидного культурного овса из коллекции ВИР (Россия) количество водорастворимых полисахаридов в зерновке варьирует от 2,58 до 3,52 % (61). В российско-шведском проекте (ВИР и Nordic Gene Bank, NordGen) оценка сортов овса по содержанию β -глюканов выявила его варьирование от 3,3 до 6,2 % (62, 63).

В зерновке 4 сортов овса, выращенных в 11 различных условиях (место и год), доля влияния генотипа на содержание полисахаридов (23 %) превысила воздействие на их молярную массу (4 %). Внешние условия значительно больше сказались на молярной массе β -глюканов (71 %), чем на их содержании в зерновке (42 %). Выявлена отрицательная корреляция между количеством осадков и молярной массой β -глюканов. В то же время имеется существенная положительная связь между содержанием β -глюканов и их молярной массой. Поскольку оба эти показателя играют важную физиологическую роль в процессе усвоения пищи, то, по мнению авторов, селекция на повышенное содержание β -глюканов, вероятно, будет сопровождаться увеличением их молекулярной массы (64). Выращивание 15 образцов *Avena sativa* и 3 образцов *A. byzantia* выявило значительные сортовые различия по содержанию белка и β -глюканов, а также положительную корреляцию между урожаем зерна и содержанием в нем β -глюканов. Максимальное накопление этих полисахаридов за 2 года изучения отмечали у сортов Bw 103, Maxima и Rocio (65).

При скрещиваний высокоглюкановых и высокоурожайных линий овса у гибридов F_4 , выращенных в двух пунктах штата Айова, проявилась положительная корреляция между содержанием и вязкостью β -глюканов, причем линии с высоким накоплением β -глюканов, как правило, были низкоурожайными. Как среди семей, так и среди линий внутри семей наблюдали значительные различия по большинству указанных признаков. Следовательно, целенаправленный отбор может повысить количество и

вязкость β -глюканов в зерновке у создаваемых сортов (66), а существующее генотипическое разнообразие овса по накоплению β -глюканов достаточно для прогресса селекции в этом направлении (67).

При внутривидовом скрещивании содержание β -глюкана в зерновке наследуется полигенно с аддитивным эффектом (68), не столь сильно зависит от места и условий выращивания, как содержание белка и масла в зерновке, и не коррелирует с размером самой зерновки (69-72). Увеличение количества β -глюканов, с одной стороны, отрицательно связано с количеством белка в зерновке (53), с другой — прямо пропорционально повышению содержания белка и обратно пропорционально — жира (73). По всей видимости, динамика накопления β -глюканов в зерновке отличается от таковой для других биохимических компонентов (74).

Сравнение содержания β -глюканов и других агрономических показателей у 9 сортов в контрастных климатических условиях Европы (на широтах от Норвегии до Германии) выявило сортовые различия в пределах 3,7-5,1 и 4,3-5,3 % соответственно у ячменя и овса. Доля влияния экологического фактора у культур составляла соответственно 3,8-5,5 и 3,8-5,3 %. Теплая и сухая погода в период налива существенно повышала количество β -глюкана у овса (75).

Содержание β -глюканов в зерновке голозерного и пленчатого овса. В целом в зерновке пленчатых образцов среднее содержание β -глюканов варьирует от 3,1 до 4,5 %, у голозерных — от 3,8 до 4,9 % (76). При выращивании 10 сортов овса в течение 3 лет в одной и той же местности у пленчатых генотипов по сравнению с голозерными суммарное содержание пищевых волокон, β -глюканов и белков было повышено (77). Содержание растворимых β -глюканов уменьшается от сортов голозерного овса (3,91-7,47 %) к сортам пленчатого (1,97-4,09 %), нерастворимых — снижается в обратном порядке (с 13,79-33,73 до 5,15-10,80 %). Гистологическое изучение зерновки показало, что количество нерастворимых β -глюканов падает в направлении от внешних покровов к эндосперму (78).

В полевых опытах на 11 образцах голозерного (стандартный сорт Polat и 5 линий) и пленчатого (сорт Bohup и 4 линии) овса отмечалось, что у голозерных форм количество пищевых волокон в зерновке было ниже, чем у пленчатых, при существенно большем содержании белка и жира (79). Голозерные и пленчатые сорта овса, выращиваемые в Италии в течение 2 лет по зерновому предшественнику, накапливали на 9 % больше β -глюканов, чем возделываемые после бобовых культур. Среди голозерных генотипов высоким содержанием β -глюканов характеризовались сорта Bikini, Nave (Италия) и Abel (Чехия), а сорт Kongadin накапливал наибольшее количество пищевых волокон. Голозерные образцы рассматриваются в связи с производством функциональных пищевых продуктов (80).

С помощью компьютерного моделирования (метод Монте-Карло) ранжировали факторы, влияющие на содержание β -глюканов у пленчатых и голозерных сортов овса. Оказалось, что количество β -глюканов в основном определяется сортом. Условия возделывания и сроки хранения негативно влияли на анализируемый показатель. Используемую модель предлагается применять для оценки разных приемов агротехники (81).

Исследование овсяных хлопьев, произведенных из 37 голозерных (Китай) и 44 пленчатых образцов (США, Канада, Новая Зеландия, Швеция, Дания и Великобритания) зерна, показало, что в первом варианте содержание β -глюканов и железа было значительно меньше, а скорость поглощения воды при комнатной температуре — больше. При этом экспертная оценка овсяных хлопьев из голозерных образцов была ниже (82).

Качество и физиологическая роль β -глюканов. Уже отмечалось, что не только содержание, но и качество β -глюканов, определяемое, например, по вязкости раствора и обуславливающее их функциональную активность, — важная селекционная характеристика. При сравнении 1 % водных экстрактов β -глюкана у 5 линий овса с повышенным содержанием этого полисахарида (до 7,8 % против 4,4 % у обычного сорта Paul) выявили значительные сортовые различия по реологическим свойствам. Этот факт, а также разницу в кривых изменения вязкости в зависимости от концентрации авторы объясняют неодинаковой молекулярной массой (83). В другой работе у 5 сортов овса, выращиваемых 2 года в условиях Норвегии, оценили химический состав и питательные свойства зерна при скармливании цыплятам-бройлерам в течение 2 нед. Изученные образцы существенно различались по питательной ценности, которая отрицательно коррелировала с содержанием пищевых волокон (43).

У овса фактор «условия выращивания» значительно влиял на вязкость мучной суспензии, оцениваемую с помощью ротационного вискозиметра, а также на экстрагируемость β -глюканов. При этом существенную зависимость экстрагируемости от генотипа не выявили. Что касается химической структуры β -глюканов, то были обнаружены достоверные различия в степени полимеризации молекул, обусловленные как генотипом, так и условиями выращивания. У сорта HiFi (США) с высоким процентом β -глюканов в зерновке молекулы этого полимера характеризовались пониженной долей трисахаридов и повышенной — тетрасахаридов по сравнению с сортами, имеющими среднее содержание β -глюканов (12).

Связь содержания β -глюканов в зерновке с другими агрономическими признаками. В задачи селекции входит выведение как высоко-, так и низкоглюкановых линий овса. Для разделения гибридной популяции на эти крайние группы необходимы четкие маркеры. Поэтому исследуются возможные связи содержания β -глюканов с различными физическими, морфологическими, физиологическими, агрономическими и генетико-молекулярными признаками генотипов.

В качестве неразрушающего косвенного метода предложена экспресс-оценка пленчатости зерновок ячменя и овса (84), которая, вероятно, может быть полезна для прогноза содержания пищевых волокон.

В Шотландии при изучении 33 сортов овса показано, что корреляция между накоплением β -глюканов в зерновке и агрономическими признаками, как правило, либо отсутствует, либо полученные результаты (по годам или по влиянию условий выращивания) противоречивы. В одном из селекционных питомников прослеживалась значимая положительная связь между количеством β -глюканов в зерновке и ее натурной массой, содержанием белка, выходом муки, а также отрицательная — с датой выметывания. Авторы оптимистично заключили, что одновременные сдвиги по этим признакам не должны препятствовать успеху селекционной работы, так как наблюдаемые корреляции нестабильны (67). Описана отрицательная корреляция между содержанием β -глюканов в зерновке овса и общим содержанием пищевых волокон и сырой клетчатки, а также положительная корреляция — с содержанием белка (77).

В Финляндии течение 2 лет в восьми пунктах сравнивали содержание β -глюканов у 12 сортов овса и выявили значимую положительную корреляцию между содержанием β -глюканов и урожайностью, продолжительностью вегетационного периода, натурой и массой 1000 зерен, а также существенную негативную корреляцию рассматриваемого химического показателя с содержанием белка и степенью пленчатости зерновки (76).

При изучении 431 генотипа овса American Gene Bank методом широкой геномной ассоциации (genome-wide association study — GWAS) с определением QTL, связанных с содержанием β -глюканов в зерновке, обнаружены три независимых маркера, тесно ассоциированные с целевым признаком. Сравнение этих данных с результатами, полученными на рисе, показало, что один из описанных маркеров, локализованный на 7-й хромосоме риса, связан с семейством генов *Cs1F*, которые отвечают за синтез β -глюканов в зерновке. В будущем такое изучение зерновок овса может быть успешным при определении QTL для маркеров с более высокой плотностью (85).

Таким образом, имеющиеся данные подтверждают важное значение β -глюканов — водорастворимых пищевых волокон, которые оказывают диетическое, профилактическое и лечебное воздействие на организм человека. Физико-химические свойства, химические модификации, технологичность открывают четкие перспективы использования β -глюканов в пищевых продуктах, лекарственных и косметических средствах, и в этих глобальных отраслях β -глюканы будут играть все возрастающую роль (86). В то же время в кормопроизводстве актуальна проблема снижения количества пищевых волокон и антипитательных свойств фуражного зерна. В настоящее время во Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова в рамках совместных российских и международных программ проводится комплексное изучение большого и разнообразного набора образцов овса с целью выделения контрастных по содержанию β -глюканов форм для использования в пищевом и кормовом направлениях.

Итак, разработка функциональных продуктов питания на основе зерна овса предполагает получение высокопродуктивных сортов с максимальным содержанием и оптимальной химической структурой β -глюканов в сочетании с другими показателями качества зерновки, тогда как требования к кормовым сортам по количеству и качеству этого полисахарида противоположные. Недостаточная изученность и противоречивость имеющихся данных пока что сдерживают прогресс в этих областях селекции. Поэтому необходимы комплексные исследования всего разнообразия овса с целью выделения контрастных исходных форм и создания сортов для пищевого и кормового направлений использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boczkowska M., Podyma W., Łapiński B. Oat. In: Genetic and genomic resources for grain cereals improvement. Academic Press, 2016: 159-225.
2. Arendt E.K., Zannini E. Oats. In: Cereal grains for the food and beverage industries. Woodhead Publishing, 2013: 243-282.
3. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.-M., Nyström L., Li L., Rakszegi M., Fraš A., Boros D., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Andersson A.A.M., Dimberg L., Bedő Z., Ward J.L. Phytochemical and fiber components in oat varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56 (21): 9777-9784.
4. Welch R.W. Nutrient composition and nutritional quality of oats and comparisons with other cereals. In: Oats: chemistry and technology /F.H. Webster, P.J. Wood (eds.). American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA, 2011: 95-107.
5. Kendall C.W.C., Esfahani A., David J.A., Jenkins D.J.A. The link between dietary fibre and human health. Food Hydrocolloids, 2010, 24(1): 42-48.
6. Ballabio C., Uberti F., Manferdelli S., Vacca E., Boggini G., Redaelli R., Catassi C., Lionetti E., Pecas E., Restani P. Molecular characterisation of 36 oat varieties and in vitro assessment of their suitability for coeliacs' diet. Journal of Cereal Science, 2011, 54(1): 110-115.
7. Fincher G.B., Stone B.A. Cell walls and their components in cereal grain technology. In:

Advances in cereal science and technology /Y. Pomeranz (ed.). American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA, 1986: 207-295.

8. Wood P.J., Beer M.U. Functional oat products. In: Functional foods: Biochemical and processing aspects /G. Mazza (ed.). Technomic Publishing Co, Lancaster, PA, USA, 1998: 1-37.
9. Wood P.J. Physicochemical characteristics and physiological properties of oat (1/3),(1/4)- β -D-glucan. In: Oat bran /P.J. Wood (ed.). American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA, 1993: 83-112.
10. Miller S.S., Fulcher R.G. Oat endosperm cell walls: II. Hot-water solubilization and enzymatic digestion of the wall. *Cereal Chemistry*, 1995, 72(2): 428-432.
11. Skendi A., Biliaderis C.G., Lazaridou A., Izydorczyk M.S. Structure and rheological properties of water soluble β -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena bysantina*. *Journal of Cereal Science*, 2003, 38(1): 15-31.
12. Doehlert D.C., Simsek S. Variation in β -glucan fine structure, extractability, and flour slurry viscosity in oats due to genotype and environment. *Cereal Chemistry*, 2012, 89(5): 242-246.
13. Johansson L., Tuomainen P., Ylinen M., Ekholm P., Virkki L. Structural analysis of water-soluble and -insoluble β -glucans of whole-grain oats and barley. *Carbohydrate Polymers*, 2004, 58(3): 267-274.
14. Li W., Cui S.W., Wang Q., Yada R.Y. Study of conformational properties of cereal β -glucans by computer modeling. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(2): 377-382.
15. Collins H.M., Burton R.A., Topping D.L., Liao M.-L., Bacic A., Fincher G.B. Variability in fine structures of noncellulosic cell wall polysaccharides from cereal grains: potential importance in human health and nutrition. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(4): 272-282.
16. Li J.-M., Nie S.-P. The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods. *Food Hydrocolloids*, 2016, 53(2): 46-61.
17. Ryu J.-H., Lee S., You S.G., Shim J.-H., Yoo S.-Ho. Effects of barley and oat β -glucan structures on their rheological and thermal characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 89(4): 1238-1243.
18. AACC International Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 32-22.01. Beta-Glucan in Oat Fractions and Unsweetened Oat Cereals. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A, 1999.
19. Motilva M.-J., Serra A., Borrás X., Romero M.-P., Domínguez A., Labrador A., Peiry L. Adaptation of the standard enzymatic protocol (Megazyme method) to microplate format for β -(1,3)(1,4)-d-glucan determination in cereal based samples with a wide range of β -glucan content. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(2): 224-227.
20. Munck L. The revolutionary aspect of exploratory chemometric technology. Narayana Press, Gylling, Denmark, 2005.
21. Brownlee I.A. The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(2): 238-250.
22. Petition for health claim: Barley betafiber and coronary heart disease. FDA — Food and Drug Administration. Office of Nutritional Products, Labeling and Dietary Supplements (hfs-800), 2006. Режим доступа: <http://www.fda.gov/ohrms/dockets/dockets/06p0393/06p-0393-cp00001-002-vol1.pdf>. Без даты.
23. Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: Foods, nutrients and food ingredients with authorised EU health claims. Woodhead Publishing, 2014: 25-45.
24. Reyna-Villasmil N., Bermúdez-Pirela V., Mengual-Moreno E., Arias N., Cano-Ponce C., Leal-Gonzalez E., Souki A., Inglett G.E., Israeli Z.H., Hernández-Hernández R., Valasco M., Arraiz N. Oat-derived β -glucan significantly improves HDLC and diminishes LDLC and non-HDL cholesterol in overweight individuals with mild hypercholesterolemia. *American Journal of Therapeutics*, 2007, 14(2): 203-212.
25. Karmally W., Montez M.G., Palmas W., Martinez W., Branstetter A., Ramakrishnan R., Holleran S.F., Haffner S.M., Ginsberg H.N. Cholesterol-lowering benefits of oat-containing cereal in hispanic Americans. *Journal of the American Dietetic Association*, 2005, 105(6): 967-970.
26. Regand A., Chowdhury Z., Tosh S.M., Wolever T.M.S., Wood P. The molecular weight, solubility and viscosity of oat beta-glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility. *Food Chemistry*, 2011, 129(2): 297-304.
27. Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(2): 312-326.
28. Regand A., Chowdhury Z., Tosh S.M., Wolever T.M.S., Wood P. The molecular weight, solubility and viscosity of oat beta-glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility. *Food Chemistry*, 2011, 129(2): 297-304.
29. Dong J., Cai F., Shen R., Liu Y. Hypoglycaemic effects and inhibitory effect on intestinal disaccharidases of oat beta-glucan in streptozotocin-induced diabetic mice. *Food Chemistry*, 2011, 129(3): 1066-1071.
30. Tiwari U., Cummins E. Meta-analysis of the effect of β -glucan intake on blood cholesterol and glucose levels. *Nutrition*, 2011, 27(10): 1008-1016.

31. Wood P.J. Oat and rye β -glucan: properties and function. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(4): 315-330.
32. Wood P.J. Cereal β -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science*, 2007, 46(3): 230-238.
33. Pentikäinen S., Karhunen L., Flander L., Katina K., Meynier A., Aymard P., Vinoy S., Poutanen K. Enrichment of biscuits and juice with oat β -glucan enhances postprandial satiety. *Appetite*, 2014, 75(4): 150-156.
34. Choromanska A., Kulbacka J., Rembalkowska N., Pilat J., Oledzki R., Harasym J., Saczko J. Anticancer properties of low molecular weight oat beta-glucan – An in vitro study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 80(9): 23-28.
35. Parzonko A., Makarewicz-Wujec M., Jaszewska E., Harasym J., Kozłowska-Wojciechowska M. Pro-apoptotic properties of (1,3)(1,4)- β -d-glucan from *Avena sativa* on human melanoma HTB-140 cells in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 72(1): 757-763.
36. Błaszczyk K., Wilczak J., Harasym J., Gudej S., Suchecka D., Krylikowski T., Lange E., Gromadzka-Ostrowska J. Impact of low and high molecular weight oat beta-glucan on oxidative stress and antioxidant defense in spleen of rats with LPS induced enteritis. *Food Hydrocolloids*, 2015, 51(10): 272-280.
37. Zhang G., Hamaker B.R. Cereal carbohydrates and colon health. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(4): 331-341.
38. Davy B.M., Davy K.P., Ho R.C., Beske S.D., Davrath L.R., Melby C.L. High-fiber oat cereal compared with wheat cereal consumption favorably alters LDL-cholesterol subclass and particle numbers in middle-aged and older men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76(2): 351-358.
39. Delaney B., Nicolosi R.J., Wilson T.A., Carlson T., Frazer S., Zheng G.-H., Hess R., Ostergren K., Haworth J., Knutson N. β -Glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic syrian golden hamsters. *The Journal of Nutrition*, 2003, 133(93): 468-475.
40. Chang H.-C., Chien-Ning Huang C.-N., Yeh D.-M., Wang S.-J., Peng C.-H., Wang C.-J. Oat prevents obesity and abdominal fat distribution, and improves liver function in humans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2013, 68(1): 18-23.
41. Gao C., Gao Z., Greenway F.L., Burton J.H., Johnson W.D., Keenan M.J., Enright F.M., Martin R.J., Chu Y.F., Zheng J. Oat consumption reduced intestinal fat deposition and improved health span in *Caenorhabditis elegans* model. *Nutrition Research*, 2015, 35(6): 834-843.
42. Faure A.M., Koppenol W.H., Nyström L. Iron(II) binding by cereal beta-glucan. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 115(1): 739-743.
43. Svihus B., Gullord M. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, 102(1-4): 71-92.
44. Toole G.A., Gall G.L., Colquhoun I.J., Drea S., Opanowicz M., Bed Z., Shewry P.R., Mills E.N.C. Spectroscopic analysis of diversity in the spatial distribution of arabinoxylan structures in endosperm cell walls of cereal species in the HEALTHGRAIN diversity collection. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(2): 134-141.
45. Hurt H.D., Mathews R., Ink S.L. Biomedical considerations of oat dietary fiber and beta-glucans. *Proc. 3rd Inter. Oat Confer. Lund, Sweden, 1988: 206-222.*
46. Song G., Huo P., Wu B., Zhang Z. A genetic linkage map of hexaploid naked oat constructed with SSR markers. *The Crop Journal*, 2015, 3(2): 353-357.
47. Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(2): 312-326.
48. Sikora P., Tosh S.M., Brummer Y., Olsson O. Identification of high β -glucan oat lines and localization and chemical characterization of their seed kernel β -glucans. *Food Chemistry*, 2013, 137(1-4): 83-91.
49. Chawade A., Sikora P., Brautigam M., Larsson M., Vivekanand V., Nakash M.A., Chen T., Olsson O. Development and characterization of an oat TILLING-population and identification of mutations in lignin and β -glucan biosynthesis genes. *BMC Plant Biology*, 2010, 10(1): 86-99.
50. Redaelli R., Frate V.D., Bellato S., Terracciano G., Ciccioritti R., Germeier C.U., Stefanis E.D., Sgrulletta D. Genetic and environmental variability in total and soluble β -glucan in European oat genotypes. *Journal of Cereal Science*, 2013, 57(2): 193-199.
51. Leggett J. M. Using and conserving *Avena* genetic resources. *Proc. 5th Inter. Oat Confer. Saskatoon, Canada, 1996, v. I: 128-132.*
52. Howarth C., Cowan A., Leggett J.M., Valentine J. Using molecular mapping to access and understanding valuable traits in wild relatives of oats. *Proc. 6th Inter. Oat Confer. Canterbury, New Zealand, 2000: 157-159.*

53. Miller S.S., Wood P.J., Pietrzak L.N., Fulcher R.G. Mixed linkage beta-glucan, protein content and kernel weigh in *Avena* species. *Cereal Chemistry*, 1993, 70(2): 231-233.
54. Cho K.C., White P.J. Enzymatic analysis of beta-glucan content in different oat genotypes. *Cereal Chemistry*, 1993, 70(5): 539-542.
55. Frey K.J. Genetic resources of oats. In: Use of plant introductions in cultivar development. Crop Science Society of America, Special publ. Part 1, 1991, 17: 15-24.
56. Welch R.W., Leggett J.M., Lloyd J.D. Variation in the kernel (1,3)(1,4)-beta-D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *Journal of Cereal Science*, 1991, 13(2): 173-178.
57. Loskutov I. Novel and traditional oat breeding directions. Proc. 32nd Nordic Cereal Congress. Espoo, Finland, 2015: 19.
58. Peterson D.M. Oat β -glucans and tocopherols. Proc. 4th Inter. Oat Conference. Adelaide, Australia, 1992, V. I: 19-24.
59. Peterson D.M. Oat — a multifunctional grain. Proc. 7th Inter. Oat Conference. Helsinki, Finland, 2004: 21-26.
60. Wood P.J., Paton D., Siddiqui I.R. Determination of β -glucan in oats and barley. *Cereal Chemistry*, 1977, 54(3): 524-533.
61. Салмина И.С., Ярош Н.П., Коваль Л.А. Полисахариды семян культурных видов овса. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 1981, 70(3): 38-44.
62. Лоскутов И.Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. СПб, 2007.
63. Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena* L. In: Wild crop relatives: genomic & breeding resources. V. 1. Cereals /C. Kole (ed.). Springer, Heidelberg, Berlin, NY, 2011: 109-184.
64. Andersson A.A.M., Börjesdotter D. Effects of environment and variety on content and molecular weight of β -glucan in oats. *Journal of Cereal Science*, 2011, 54(1): 122-128.
65. Martinez M.F., Arelovich H.M., Wehrhahne L.N. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 2010, 116(1-2): 92-100.
66. Chernyshova A.A., White P.J., Scott M.P., Jannink J.-L. Selection for nutritional function and agronomic performance in oat. *Crop Science*, 2007, 47(9): 2330-2339.
67. Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrup D.E. β -Glucan content and its relationship to agronomic characteristics in elite oat germplasm. *Crop Science*, 1995, 35(6): 965-970.
68. Holthaus J.F., Holland J.B., White P.J., Frey K.J. Inheritance of β -glucan content of oat grain. *Crop Science*, 1996, 36(3): 567-572.
69. Brunner B.R., Freed R.D. Oat grain beta-glucan content as affected by nitrogen level, location and year. *Crop Science*, 1994, 34(2): 473-476.
70. Ganssmann W. Beta-glucan content in German oat cultivars and in oat bran obtained from them. Proc. 5th Inter. Oat Conference. Saskatoon, Canada, 1996, V. 2: 65-67.
71. Miller S.S., Vincent D.J., Weisz J., Fulcher R.G. Oat beta-glucans: an evaluation of eastern Canadian cultivars and unregistered lines. *Canadian Journal of Plant Science*, 1993, 73(3): 429-436.
72. Peterson D.M. Genotype and environment effects on oat beta-glucan concentration. *Crop Science*, 1991, 31(7): 1517-1520.
73. Kibite S., Edney M.J. The inheritance of beta-glucan concentration in an oat (*Avena sativa* L.) cross. Proc. 5th Inter. Oat Conference. Saskatoon, Canada, 1996, V. 2: 77-79.
74. Cox T.S., Frey K.J. Complementarity of genes for high groat-protein percentage from *Avena sativa* L. and *A. sterilis* L. *Crop Science*, 1985, 25(1): 106-109.
75. Uhlen A.K., Holtekjuhlen A.K., Sahlström S., Assveen M. Mixed linked (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4) β -D-glucans in barley and oat varieties grown in contrasting environments. Proc. 32nd Nordic Cereal Congress. Espoo, Finland, 2015: 56.
76. Saastamoinen M., Plaami S., Kumpulainen J. Genetic and environmental variation in β -glucan content of oats cultivated or tested in Finland. *Journal of Cereal Science*, 1992, 16(3): 279-290.
77. Havrlentová M., Bieliková M., Mendel L., Kraic J., Hozlár P. The correlation of (1-3)(1-4)- β -d-glucan with some qualitative parameters in the oat grain. *Agriculture*, 2008, 54(2): 65-71.
78. Gajdošová A., Petrušáková Z., Havrlentová M., Červená V., Hozová B., Šturdík E., Kogan G. The content of water-soluble and water-insoluble β -d-glucans in selected oats and barley varieties. *Carbohydrate Polymers*, 2007, 70(1): 46-52.
79. Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(3): 413-418.
80. Redaelli R., Sgrulletta D., Scalfati G., De Stefanis E., Cacciatori P. Naked oats for improving human nutrition: genetic and agronomic variability of grain bioactive components. *Crop Science*, 2009, 49(7): 1431-1437.
81. Tiwari U., Cummins E. Simulation of the factors affecting β -glucan levels during the

- cultivation of oats. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(2): 175-183.
82. Hu X.-Z., Zheng J.-M., Li X.-P., Xu C., Zhao Q. Chemical composition and sensory characteristics of oat flakes: A comparative study of naked oat flakes from China and hulled oat flakes from western countries. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(2): 297-301.
 83. Colleoni-Sirghie M., Kovalenko I.V., Briggs J.L., Fulton B., White P.J. Rheological and molecular properties of water soluble (1,3)(1,4)- β -D-glucans from high- β -glucan and traditional oat lines. *Carbohydrate Polymers*, 2003, 52(4): 439-447.
 84. Polonskiy V.I., Sumina A.V. Nondestructive methods for evaluating quality of grain in barley and oat genotypes. Proc. 32nd Nordic Cereal Congress. Espoo, Finland, 2015: 54.
 85. Newell M.A., Asoro F.G., Scott V.P., White P.J., Beavis W.D., Jannink J.-L. Genome-wide association study for oat (*Avena sativa* L.) beta-glucan concentration using germplasm of worldwide origin. *Theor. Appl. Genet.*, 2012, 125: 1687-1696 (doi: 10.1007/s00122-012-1945-0).
 86. Zhu F., Du B., Xu B. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocolloids*, 2016, 52(2): 275-288.

¹ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт
генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44,
e-mail: i.loskutov@vir.nw.ru;

²ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный
университет,

199034 Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9;

³ФГБОУ ВО Красноярский государственный

аграрный университет,

660049 Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 90,

e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Поступила в редакцию
16 июня 2016 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2017, V. 52, № 4, pp. 646-657

CONTENT OF β -GLUCANS IN OAT GRAIN AS A PERSPECTIVE DIRECTION OF BREEDING FOR HEALTH PRODUCTS AND FODDER (review)

I.G. Loskutov^{1, 2}, V.I. Polonskiy³

¹Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Federal Agency of Scientific Organizations, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail i.loskutov@vir.nw.ru (corresponding author);

²Saint-Petersburg State University, 7-9, Universitetskaya nab., Petersburg, 199034 Russia;

³Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, pr. Mira, Krasnoyarsk, 660049 Russia, e-mail vadim.polonskiy@mail.ru
ORCID: Polonskiy V.I. orcid.org/0000-0002-7183-0912

The authors declare no conflict of interests

Received June 16, 2016

doi: 10.15389/agrobiol.2017.4.646eng

Abstract

The paper offers a review of the published data on the structure of β -glucan molecules in the oat kernel, their influence on the lipoprotein content and glycemic index, on the digestive system operation and cancer cells, as well as on other human health indicators. It is noted that water-soluble food fibers have both dietary, prophylactic and healing effects on the human organism (official reports of the US Food and Drug Administration and European Food Safety Association, EFSA). It is discussed that physicochemical properties, chemical modifications and possibilities of industrial application of β -glucans define clear perspectives for their potential use in foods, medicinal and cosmetic products. Besides, the results of analyzing the diversity of oat cultivars and species for the β -glucans content in the kernel are discussed. It is stated that the forms of naked oat have a higher total content of this polysaccharide than the hulled oats, while the latter contain more insoluble β -glucans in the oat kernel. It should be noted that the content of fibers depends on the meteorological conditions and agricultural methods of oat cultivation. The content of β -glucans in the kernel is related to the accumulation of protein and fat in the kernel, to the grain volume weight and to grain productivity. The problems of creating new productive oat cultivars with the maximum content and optimal structure of the said polysaccharide combined with other qualitative characters of the kernel, as well as possibilities of producing functional foods from the processed grain of such cultivars are considered. It is concluded that β -glucans will have an increasing importance in the global food and pharmaceutical industries.

Keywords: oat, naked, hulled, *Avena*, β -glucans, polysaccharides, food fibers, lipoproteins, glycemic index, cholesterol, cancer cells, breeding, processing.