

ОЦЕНКА ГЕНОТИПОВ ОВСА НА СОДЕРЖАНИЕ β -ГЛЮКАНОВ В ЗЕРНЕ НА ОСНОВАНИИ ЕГО ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.И. ПОЛОНСКИЙ¹, И.Г. ЛОСКУТОВ^{2, 3}, А.В. СУМИНА⁴

Зерно овса (*Avena sativa* L.) содержит уникальные пищевые волокна (1,3;1,4)- β -D-глюканов, которые благотворно влияют на здоровье человека. В то же время указанные полисахариды выступают как негативный фактор при усвоении питательных веществ нежвачными животными. В связи с этим актуальна селекция овса на повышенное (крупяное направление) и пониженное (кормовое использование) содержание β -глюканов в зерне, причем для выполнения скрининга селекционного материала целесообразно использовать простые, экспрессные и не разрушающие зерно методы анализа. Целью работы стало изучение связи физических характеристик целого и очищенного от пленок зерна овса с содержанием β -глюканов. Объектом исследования служили 16 образцов пленчатого и 2 образца голозерного овса из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Содержание β -глюканов в зерне измеряли общепринятым ферментативным методом. Физические характеристики (натура, масса 1000 зерен, плотность, объемная доля поглощенной воды) изучали на целом и лишенном пленок зерне. Измерение плотности зерна каждого образца овса выполняли по методике вытеснения песка, описанной D.C. Doehlert с соавт. (2008), натурную массу находили с помощью метода, предложенного С.К. Walker с соавт. (2011), поглощение воды зерном определяли методом вакуум-инфильтрации. Показано, что у исследованных образцов овса масса 1000 зерен не была связана с количеством β -глюканов в зерне. Отмечена незначительная положительная зависимость между содержанием β -глюканов, с одной стороны, и натурной массой, плотностью целого зерна, объемной долей поглощенной зерном воды — с другой. У образцов овса, имеющих большее содержание β -глюканов, лишенное пленок зерно характеризовалось более высокой плотностью ($r = 0,818$). Вероятно, механизм, объясняющий наличие указанной корреляции, связан с формированием более толстых и более плотно упакованных клеточных стенок в эндосперме, имеющем большее количество этих химических веществ. Для приблизительного расчета содержания β -глюканов в зерне овса мы предлагаем использовать формулу $СБГ = 4,16 \times ПЗ$, где ПЗ — показатель плотности очищенного от пленок зерна, г/см³, СБГ — относительное содержание β -глюканов в зерне, %, 4,16 — коэффициент перехода от показателя плотности зерна к содержанию в нем β -глюканов. Минимальное содержание β -глюканов в зерне (3,2-3,8 %) и наименьшую его плотность (1,05-1,10 г/см³) имели образцы Пушкинский, Hondai 8473, Привет. Максимальные значения содержания β -глюканов и плотности зерна (5,7-6,7% и 1,26-1,31 г/см³) отмечены у образцов Помор, Нагаюва, Marion. В результате предложен экспресс-метод оценки генотипов овса, который позволил разделить образцы на две контрастные группы: с максимальным и минимальным содержанием β -глюканов в зерне, различающиеся как по химическому, так и по физическому показателю, характеризующему этот признак. Метод не требует использования дорогостоящих химических реактивов, сложного оборудования и может быть реализован в любой лаборатории обычного селекционного учреждения. Наряду с экономией материальных средств и трудовых затрат, предлагаемый подход позволяет избегать полного разрушения зерна в процессе экспресс-оценки, что дает возможность дальнейшего использования сохраненного селекционного материала при проведении других анализов зерна на его качество.

Ключевые слова: овес, зерно, β -глюканы, плотность, натура, масса 1000 зерен, поглощение воды, оценка.

Известно, что зерно овса (*Avena sativa* L.) имеет не только высокую питательную ценность, но и содержит уникальные пищевые волокна (1,3;1,4)- β -D-глюканов (1-3). Эти полисахариды благотворно влияют на здоровье человека, поскольку способны понижать гликемический индекс пищи (4, 5), уменьшать содержание в крови холестерина (6), в том числе низкой плотности (7), улучшать функционирование печени, предотвращать появление избыточной массы тела (8-10). Однако положительная роль, которую играют β -глюканы, сочетается с тем, что они выступают как негативный фактор при усвоении питательных веществ нежвачными животными. Так, в экспериментах с кормлением цыплят-бройлеров были

найлены существенные различия в питательной ценности зерна разных сортов овса, которая находилась в отрицательной зависимости от содержания β -глюканов в зерне (11). Поскольку доля зерна ячменя и овса в российских комбикормах для нежвачных животных составляет более половины, необходимо снижение концентрации β -глюканов в указанном растительном сырье. В связи с этим селекция овса на повышенное (пищевое использование) или пониженное (кормовое направление) содержание β -глюканов в зерне остается актуальной задачей (12).

Измерение содержания β -глюканов в зерне выполняется посредством стандартного химического анализа (13, 14). К достоинству метода относится его точность, к недостаткам — высокая трудоемкость, необходимость использования дорогостоящих импортных реактивов и лабораторного оборудования. Еще один используемый в настоящее время метод, физический, основан на измерении отражения в ближней инфракрасной области спектра (15) с помощью автоматического зернового анализатора, например Infratec™ 1241 Grain Analyser («FOSS Analytical A/S», Дания) (16). К сожалению, большинство химических и физических методов требуют полного разрушения зерна.

Для выполнения скрининга селекционного материала необходимы экспрессные и желательно неразрушающие методы, которые способны разделить гибридную популяцию овса на две крайние группы по содержанию β -глюканов в зерне. Имеющиеся публикации в основном посвящены сопоставлению содержания β -глюканов в зерне с физическими характеристиками целого зерна (17, 18). Поскольку β -глюканы входят в состав клеточных стенок эндосперма, целесообразно изучить физические характеристики не только целого, но и очищенного от пленок зерна овса.

В представленной работе мы впервые обнаружили, что у образцов овса, имеющих высокое содержание β -глюканов, лишенное пленок зерно характеризуется более высокой плотностью ($r = 0,818$, $p \leq 0,05$). На этом основании предложен подход к оценке генотипов овса, позволяющий разделять образцы с максимальным и минимальным содержанием β -глюканов в зерне. Предварительные результаты были частично представлены нами в докладе на международной конференции (10th International Oat Conference: innovation for food and health», г. Санкт-Петербург, Россия, 11-15 июля 2016 года) (19).

Целью работы стал анализ связи физических характеристик целого и очищенного от пленок зерна овса с содержанием β -глюканов.

Методика. Объектом исследования служили 18 образцов овса (16 пленчатого и 2 голозерного) из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург). Для определения физических характеристик каждого образца использовали как целое, так и лишенное пленок зерно. В последнем случае цветочные пленки удаляли вручную, не разрушая плодовые и семенные.

Массу 1000 зерен вычисляли, взвешивая навески, включающие по 250 целых зерен. Натурную массу целого зерна оценивали с помощью микрометода, описанного С.К. Walker с соавт. (20), для чего измеряли объем известной массы зерна (около 10 г) в мерном цилиндре на 50 мл. Плотность целого и лишенного пленок зерна каждого образца определяли по методике вытеснения песка (21). Использовали белый мелкий песок, взятый с побережья Южно-Китайского моря (Вьетнам). Среднее значение плотности песка по данным 12 измерений составляло $1,55 \pm 0,01$ г/см³.

Оценивали объем воздушных полостей в лишенном цветочных пленок зерне методом вакуум-инfiltrации водой. Измерения выполняли с помощью медицинского шприца объемом 35 мл при давлении воздуха 50 кПа. Время контакта зерна с водой в шприце составляло около 1 мин. После извлечения зерна из воды с его поверхности удаляли влагу с помощью фильтровальной бумаги. Затем зерно взвешивали и вычисляли объемную долю поглощенной им воды по отношению к исходному объему сухого зерна.

Все физические характеристики зерна определяли в 3 повторностях. Содержание β -глюканов оценивали, используя стандартную методику (13) 2-3-кратной повторности.

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Microsoft Excel 2003. Вычисляли средние значения (M), стандартные ошибки средних ($\pm SEM$), значения коэффициента корреляции. Достоверность различий оценивали с помощью t -критерия Стьюдента при $p \leq 0,05$.

Результаты. Информация об использованных в работе образцах овса представлена в таблице 1.

1. Характеристика образцов овса (*Avena sativa* L.), использованных при определении физических характеристик целого и очищенного зерна (коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова — ВИР)

№ по каталогу ВИР	Название	Разновидность	Происхождение
Пленчатые			
к-9978	Marion	<i>A. byzantina</i>	США
к-11840	Borgus	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Германия
к-13904	Ogle	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	США
к-13918	Кировец	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Россия, Кировская обл.
к-13943	Proat	<i>A. sativa</i> var. <i>aristata</i>	США
к-13947	Tulancingo	<i>A. byzantina</i>	Мексика
к-14373	Факир	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Россия, Кировская обл.
к-14597	Спринг 2	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Россия, Екатеринбургская обл.
к-14648	Аргамак	<i>A. sativa</i> var. <i>mutica</i>	Россия, Кировская обл.
к-14787	Привет	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Россия, Московская обл.
к-14858	Борот	<i>A. sativa</i> var. <i>mutica</i>	Россия, Ленинградская обл.
к-14872	Naugaoba	<i>A. byzantina</i>	Япония
к-14877	Hondai 8473	<i>A. sativa</i> var. <i>grisea</i>	Япония
к-14907	Верный	<i>A. byzantina</i>	Россия, Адыгея
к-15126	Matilda	<i>A. sativa</i> var. <i>aurea</i>	Швеция
к-15176	Лев	<i>A. sativa</i> var. <i>mutica</i>	Россия, Московская обл.
Голозерные			
к-14717	Пушкинский	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i>	Россия, Ленинградская обл.
к-15117	Помор	<i>A. sativa</i> var. <i>inermis</i>	Россия, Кемеровская обл.

2. Значения коэффициентов корреляции (r) между различными характеристиками очищенного от пленок и целого зерна у 18 образцов овса (*Avena sativa* L.) (коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова — ВИР)

Показатель	Целое зерно			Очищенное зерно		
	натурная масса	масса 1000 зерен	плотность	объемная доля поглощенной воды	плотность	содержание β -глюканов
Целое зерно:						
натурная масса	1					
масса 1000 зерен	0,347	1				
плотность	0,780*	0,176	1			
Очищенное зерно:						
объемная доля поглощенной воды	0,101	-0,197	0,082	1		
плотность	0,101	-0,239	0,278	0,382	1	
содержание β -глюканов	0,299	-0,096	0,495	0,237	0,818*	1

* Значения коэффициентов корреляции статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Средняя несущественная положительная связь была найдена между содержанием β -глюканов в зерне и плотностью целого зерна, между плотностью лишенного пленок зерна и объемной долей поглощенной им воды за 1 мин, а также натурной массой целого зерна и массой 1000 зерен (табл. 2). Слабую положительную корреляцию отмечали между содержанием в зерне β -глюканов и его натурной массой, а также объемной долей поглощенной лишенным пленок зерном воды. Сильная положительная связь была продемонстрирована между натурной массой и плотностью целого зерна, а зависимость натурной массы от плотности очищенного зерна практически отсутствовала. Проявилась сильная положительная зависимость между плотностью зерна, очищенного от пленок, и содержанием в нем β -глюканов.

Повышенная плотность лишенного пленок зерна образцов овса, имеющих более высокое содержание β -глюканов, по-видимому, могла быть обусловлена формированием более толстых (и, вероятно, более плотно упакованных) клеточных стенок в эндосперме или наличием меньшего объема воздушных полостей между плодовыми и семенными пленками и твердой частью зерна. Наши результаты (см. табл. 2) свидетельствуют об отсутствии в лишенном цветочных пленок зерне негативной связи между относительным объемом поглощенной воды в условиях отрицательного давления (и, следовательно, объемом воздушных полостей) и плотностью такого зерна. Можно предположить, что более вероятен первый механизм. В пользу этого косвенно свидетельствует наличие тесной связи между плотностью зерна ячменя и твердостью его эндосперма (20).

На основании статистически доказанных данных о том, что генотипы овса с высоким содержанием β -глюканов имели большую плотность лишенного пленок зерна, были рассчитаны коэффициенты перехода от значений плотности к величинам содержания в зерне β -глюканов, измеренным по стандартному химическому методу (13). Средняя величина этого безразмерного показателя составила $4,16 \pm 0,12$.

Следовательно, для приблизительного расчета величины содержания β -глюканов в зерне у генотипов овса можно использовать формулу: $СБГ = 4,16 \times ПЗ$, где ПЗ — показатель плотности очищенного от пленок зерна, $г/см^3$, СБГ — относительное содержание β -глюканов в зерне, %, $4,16$ — коэффициент перехода от плотности зерна к величинам содержания в нем β -глюканов.

Полученные экспериментальные данные позволили нам выделить среди рассмотренных 18 генотипов овса две контрастные группы по три образца в каждой с максимальным и минимальным содержанием β -глюканов в зерне — соответственно выше 5,6 и менее 3,9 %. Эти группы существенно различались между собой не только по содержанию β -глюканов, но и по показателю плотности зерна. При средней плотности очищенного зерна $1,17 \pm 0,04$ $г/см^3$ и содержании в нем β -глюканов $4,88 \pm 0,47$ % минимальные значения этих показателей (соответственно $1,07 \pm 0,02$ $г/см^3$ и $3,57 \pm 0,18$ %) имели образцы Пушкинский, Привет, Hondai 8473, а максимальное ($1,28 \pm 0,02$ $г/см^3$ и $6,13 \pm 0,30$ %) — Помор, Marion, Nagaoba. Различия в плотности очищенного зерна и содержании β -глюканов между генотипами, принадлежавшими к разным группам, были статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

В настоящее время активно исследуются возможные связи между количеством β -глюканов в зерне и различными физико-химическими,

морфологическими и агрономическими признаками генотипов овса. Так, прослежена отрицательная корреляция между содержанием β -глюканов и общим количеством пищевых волокон и сырой клетчатки, а также положительная связь с накоплением белка (22). У овса продемонстрирована тесная зависимость между количеством β -глюканов в зерне и содержанием в нем жира (16). Показано наличие значимой положительной корреляции между содержанием β -глюканов и натурой зерна, с одной стороны, и массой 1000 зерен — с другой, при этом найдена существенная негативная связь рассматриваемого биохимического показателя с содержанием белка и пленчатостью зерна (17).

Полученные нами результаты измерения массы 1000 целых зерен у контрастных по содержанию β -глюканов образцов овса поддерживают экспериментальные данные С. Griffey с соавт. (18), демонстрирующие отсутствие связи между этими показателями для ячменя, а также результаты М. Saastamoinen с соавт. (17) о наличии положительной корреляции между содержанием β -глюканов и натурой зерна. Правда, в отличие от сообщения последних авторов, указанная связь, по нашим данным, слабая.

В течение ряда лет в некоторых странах ведутся работы как по поиску образцов овса с повышенным или пониженным содержанием β -глюканов в зерне среди существующих сортов, так и по созданию форм с разным накоплением этого полисахарида в зависимости от целевого использования (23-25). Несколько лет назад под эгидой European Commission был реализован европейский проект «Генетические ресурсы овса для качественного питания людей» («Avena genetic resources for quality in human consumption»), в котором исследовали 658 сортов овса. Было подтверждено, что на содержание β -глюканов в зерне овса значительное влияние оказывает генетическая составляющая (26). В Российской Федерации подобные исследования единичны. Так, в рамках совместного проекта между ВИР (Россия) и Нордическим генным банком (NordGen, Nordic Genetic Resource Centre, Швеция) было изучено содержание β -глюканов у сортов овса. Величина рассматриваемого показателя в зерне колебалась от 3,3 до 6,2 % (27). Существующее генотипическое разнообразие этого биохимического признака (от 1,9 до 8,5 %) (26-30) вполне достаточно для прогресса селекции овса на повышенное или пониженное содержание β -глюканов в зерне соответственно для крупяного направления и кормового использования (31).

Таким образом, у образцов овса, имеющих высокое содержание β -глюканов, лишенное пленок зерно характеризовалось более высокой плотностью ($r = 0,818$, $p \leq 0,05$). Вероятно, механизм, объясняющий наличие указанной корреляции связан с формированием более толстых и более плотно упакованных клеточных стенок в эндосперме, имеющем большее количество этих химических веществ. На основании статистически доказанной связи между содержанием β -глюканов в зерне и плотностью лишенного пленок зерна предложен подход к оценке генотипов овса, позволяющий разделить образцы на две контрастные группы: с максимальным и минимальным содержанием β -глюканов в зерне. Метод не требует использования дорогостоящих химических реактивов, сложного оборудования и может быть реализован в любой лаборатории обычного селекционного учреждения. Кроме экономии материальных ресурсов и трудовых затрат при выполнении оценки генотипов овса на содержание β -глюканов в зерне, предлагаемый метод позволяет избегать полного раз-

рушения зерна после выполнения оценки генотипов овса на содержание в нем β -глюканов. Это дает возможность в дальнейшем использовать сохраненный селекционный материал для анализов качества зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.-M., Nyström L., Li L., Rakszegi M., Fras A., Boros D., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Andersson A.A.M., Dimberg L., Bedó 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 (doi: 10.1021/jf801880d).
2. 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 (doi: 10.1016/j.jcs.2009.01.009).
3. Marshall A., Cowan S., Edwards S., Griffiths I., Howarth C., Langdon T., White E. Crops that feed the world 9. Oats — a cereal crop for human and livestock feed with industrial applications. *Food Security*, 2013, 5(1): 13-33 (doi: 10.1007/s12571-012-0232-x).
4. 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 (doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.053).
5. Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(2): 312-326 (doi: 10.1016/j.jcs.2014.01.001).
6. 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 (doi: 10.1016/j.jada.2005.03.006).
7. 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 (doi: 10.1093/ajcn/76.2.351).
8. Chang H.-C., 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 (doi: 10.1007/s11130-013-0336-2).
9. Reyna-Villasmil N., Bermúdez-Pirela V., Mengual-Moreno E., Arias N., Cano-Ponce C., Leal-Gonzalez E., Souki A., Inglett G.E., Israili Z.H., Hernández-Hernández R., Valasco M., Ar-raiz 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 (doi: 10.1097/01.pap.0000249917.96509.e7).
10. El Khoury D., Cuda C., Luhovyy B.L., Anderson G.H. Beta Glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012: Article ID 851362 (doi: 10.1155/2012/851362).
11. 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 (doi: 10.1016/S0377-8401(02)00254-7).
12. Toole G.A., Gall G.L., Colquhoun I.J., Drea S., Opanowicz M., Bedó 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 (doi: 10.1016/j.jcs.2012.02.016).
13. *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, USA, 1999.
14. Motilva M.-J., Serra A., Borrás X., Romero M.-P., Domínguez A., Labrador A., Peiró L. Adaptation of the standard enzymatic protocol (Megazyme method) to microplaque 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 (doi: 10.1016/j.jcs.2014.01.007).
15. Munck L. *The revolutionary aspect of exploratory chemometric technology*. Narayana Press, Gylling, Denmark, 2005.
16. Zute S., Loskutov I., Vicupe Z. Assessment of oat genotypes according to the characteristics determining the nutritional grain quality. *Proc. 10th Int. Oat Conf. «Innovation for food and health (OATS 2016)»*. St. Petersburg, 2016: 177-178.
17. 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 (doi: 10.1016/S0733-5210(09)80090-8).
18. Griffey C., Brooks W., Kurantz M., Thomason W., Taylor F., Obert D., Moreau R., Flores R., Sohn M., Hicks K. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(1): 41-49 (doi:

- 10.1016/j.jcs.2009.09.004).
19. Polonskiy V., Loskutov I.G., Sumina A.V. The express-method of oats genotypes evaluating on β -glucan content. *Proc. 10th Int. Oat Conf. «Innovation for food and health (OATS 2016)»*. St. Petersburg, 2016: 78-79.
 20. Walker C.K., Panozzo J.F. Development of a small scale method to determine volume and density of individual barley kernels, and the relationship between grain density and endosperm hardness. *Journal of Cereal Science* 2011, 54(2): 311-316 (doi: 10.1016/j.jcs.2011.06.008).
 21. Doehlert D.C., McMullen M.S. Oat grain density measurement by sand displacement and analysis of physical components of test weight. *Journal of Cereal Chemistry*, 2008, 85(5): 654-659 (doi: 10.1094/CCHEM-85-5-0654).
 22. 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.
 23. Cervantes-Martinez C.T., Frey K.J., White P.J., Wesenberg D.M., Holland J.B. Selection for greater β -glucan content in oat grain. *Crop Science*, 2001, 41(3): 1085-1091 (doi: 10.2135/cropsci2001.4141085x).
 24. Zute S., Berga L., Vicupe Z. Variability in endosperm β -glucan content of husked and naked oat genotypes. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 2011, 11(2): 192-200.
 25. Лоскутов И.Г. Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, 2017, 52(4): 646-657 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus).
 26. Redaelli R., Frate V.D., Bellato S., Terracciano G., Ciccoritti 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 (doi: 10.1016/j.jcs.2012.09.003).
 27. Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena L.* In: *Wild Crop relatives: genomic & breeding resources. Vol. 1. Cereals* /C. Kole (ed.). Springer, Heidelberg, Berlin, NY, 2011: 109-184.
 28. Yao N., Jannink J.-L., White P.J. Molecular weight distribution of (1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)- β -glucan affects pasting properties of flour from oat lines with high and typical amounts of β -glucan. *Cereal Chemistry*, 2007, 84(5): 471-479 (doi: 10.1094/CCHEM-84-5-0471).
 29. 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 (doi: 10.1016/j.foodchem.2012.10.007).
 30. Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*). *Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность*. СПб, 2007.
 31. 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 (doi: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500040005x).

¹ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет,

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

e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru;

²ФГБНУ 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 ☒,

³ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет,

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

⁴ФГБОУ ВО Хакасский государственный университет

им. Н.В. Катанова,

655017 Россия, г. Абакан, пр. Ленина, 90,

e-mail: alenasumina@list.ru

Поступила в редакцию
10 октября 2019 года

Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2020, V. 55, № 1, pp. 45-52

EVALUATION OF OAT GENOTYPES FOR THE CONTENT OF β -GLUCANS IN GRAIN ON THE BASIS OF ITS PHYSICAL CHARACTERISTICS

V.I. Polonskiy¹, I.G. Loskutov^{2, 3}, A.V. Sumina⁴

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, pr. Mira, Krasnoyarsk, 660049 Russia, e-mail vadim.polonskiy@mail.ru;

²Federal Research Center Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail i.loskutov@vir.nw.ru (☒ corresponding author);

Abstract

Due to the beneficial effect of oat β -glucans on human health and their negative role in the assimilation of feed by non-ruminant animals, the selection of oats for increased (cereal direction) and reduced (feed use) content of these polysaccharides in grain is an urgent task. To perform screening of breeding material for the specified biochemical indicator of oat quality, it is advisable to use simple, express and non-destructive methods of grain analysis. The aim of this work is the development of a rapid method to evaluate oat genotypes for the content of β -glucans in grain based on the measurement of physical characteristics of grain. For the first time, it was found that in oat samples with a high content of β -glucans, the film-free grain was characterized by a higher density ($r = 0.818$). Probably, the mechanism explaining the presence of this correlation is associated with the formation of thicker and more densely packed cell walls in the endosperm, which has a greater number of these chemicals. In the research, 16 accessions of hulled oats and 2 accessions of naked oats from the VIR collection were involved. Concentration of β -glucans in grain was measured by the conventional enzymatic techniques. Physical characteristics (nature, 1000-grain weight, density, volume fraction of water uptake) were studied on the whole and/or hull-less grain. Measuring grain density for each oat accession was performed by the sand replacement method described by D.C. Doehlert and M.S. McMullen (2008); the natural grain weight was measured by the techniques offered by C.K. Walker, and J.F. Panozzo (2011); water uptake by grain was determined by the vacuum infiltration methodology. It is shown that 1000-grain weight of the studied oat accessions was not associated with the level of β -glucans in grain. There is an insignificant positive dependence between β -glucan content on the one hand, and the natural weight, density of whole grain and the volume fraction of water uptake by grain on the other hand. The oat accessions with higher content of β -glucans had higher density of hull-less grain ($r = 0.818$, $p \leq 0.05$). For an approximate calculation of the value of the content β -glucans in grain of genotypes of oats, you can use the formula: $SBG = 4.16 \times PZ$, where PZ is the density of the film-free grain, g/cm^3 ; SBG is relative content of β -glucans in the grain, %; 4.16 is a coefficient of transition from the grain densities to the values of β -glucans. Minimum content of β -glucans in grain (3.2-3.8 %) and the lowest grain density (1.05-1.10 g/cm^3) were observed in the accessions Pushkinskii, Hondai 8473 and Privet. Maximum values of β -glucan content and grain density (5.7-6.7 % and 1.26-1.31 g/cm^3 , respectively) were recorded in the accessions Pomor, Haruaoba and Marion. As a result, a rapid method was offered for evaluation of oat genotypes, which makes it possible to divide accessions into two contrasting groups: with maximum and minimum content of β -glucans in grain, considerably differing in both chemical and physical parameters. This method does not require expensive chemical agents or complex equipment, and may be implemented in any laboratory of a typical breeding center. The effect of possible introduction of the proposed technique involves saving financial and labor resources as well as avoiding complete grain damage, thus providing an opportunity for further utilization of the conserved breeding material in other analyses of grain for its quality.

Keywords: oats, grain, β -glucans, density, test weight, 1000-grain weight, water uptake, evaluation.