

## Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности

В.И. Полонский<sup>1,5</sup>, Н.А. Сурин<sup>2</sup>, С.А. Герасимов<sup>2</sup>, А.Г. Липшин<sup>2</sup>✉, А.В. Сумина<sup>3</sup>, С. Зюте<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

<sup>4</sup> Институт агроресурсов и экономики, Стендский научный центр, Дижстенде, Латвия

<sup>5</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

✉ e-mail: alipshin@mail.ru

С целью выявления образцов с минимальным и максимальным содержанием β-глюканов в зерне проведен скрининг сортов овса, выращенного в условиях Восточной Сибири в течение трех лет. Для определения перспективности дальнейшего использования образцов овса параллельно измеряли другие химические, физические и продукционные характеристики: содержание белка и масла в зерне, пленчатость зерна, натуру, массу 1000 зерен, продолжительность вегетационного периода и величину урожайности. Объектом комплексной оценки служили 14 пленчатых и 5 голозерных образцов овса коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) различного географического происхождения. Пленчатые образцы формировали зерно с содержанием β-глюканов от 2.9 до 5.2 %, голозерные – от 3.7 до 4.8 %. По минимальным значениям этого показателя выделились сорта красноярской селекции – Тубинский, Казыр, Саян (около 3 %), по максимальному – зарубежный образец Местный Тунис 1 (5.2 %). Наибольшее содержание масла в зерне имеют возделываемые в настоящее время в Красноярском крае сорта Тубинский, Казыр и Саян. Повышенное накопление белка в зерне обнаружено у пленчатого сорта Местный Тунис 1 и голозерного образца Вятский. По содержанию β-глюканов в зерне с учетом других его характеристик и величины урожайности лучшие образцы для крупяного направления (максимальный уровень этих веществ) – Местный Тунис 1, Медведь и Тайдон, а для кормового использования (минимальный уровень) – Тубинский, Вятский и Голец. Не обнаружено заметного преимущества голозерных образцов по сравнению с пленчатыми по содержанию β-глюканов в зерне. У пленчатых образцов отмечена высокая сила положительной связи между содержанием масла либо β-глюканов в зерне и годом выращивания овса. У голозерных форм четкой связи между содержанием рассматриваемых химических веществ в зерне разных образцов овса и годом их выращивания не установлено. Ключевые слова: овес посевной; оценка; зерно; вегетационный период; масса 1000 зерен; урожайность; натура; пленчатость; масло; белок; β-глюканы.

**Для цитирования:** Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):683-690. DOI 10.18699/VJ19.541

## The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity

V.I. Polonskiy<sup>1,5</sup>, N.A. Surin<sup>2</sup>, S.A. Gerasimov<sup>2</sup>, A.G. Lipshin<sup>2</sup>✉, A.V. Sumina<sup>3</sup>, S. Zute<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – Division of Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS”, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Katanov Khakass State University, Abakan, Russia

<sup>4</sup> Stende Research Centre, Institute of Agricultural Resources and Economics, Dizstende, Latvia

<sup>5</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

✉ e-mail: alipshin@mail.ru

In order to identify samples with a minimum and maximum content of β-glucans in the grain, screening of oats grown in Eastern Siberia for three years was performed. To determine the prospects for further use of oat samples, other chemical, physical and production characteristics were measured in parallel: the protein and oil content in the grain, its film content, test weight, 1000 grains weight, the vegetation period and the yield. The object of a comprehensive evaluation was 14 hulled and naked 5 VIR (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) oats samples of different origin, mainly from Siberia. The hulled samples formed grains with β-glucan content from 2.9 to 5.2 %, while the naked ones, from 3.7 to 4.8 %. The lowest values were in the Krasnoyarsk varieties Tubinskiy, Kazyr, Sayan (about 3 %); the highest, in the foreign accession Local Tunisia 1 (5.2 %). The highest oil content was shown by

Tubinsky, Kazyr and Sayan, all currently cultivated in the Krasnoyarsk region. An increased accumulation of protein in grain was observed in the hulled variety Local Tunisia 1 and the naked accession of Vyatskiy. According to the content of  $\beta$ -glucans in the grain, taking into account its other characteristics and yield values, the best samples for the food direction (the maximum level of these substances) are Local Tunisia 1, Medved and Taidon, and for feed use (the minimum level) are Tubinskiy, Vyatskiy and Golets. There was no noticeable advantage of naked samples in comparison with hulled ones in the content of  $\beta$ -glucans in the grain. A high strength of the positive relationship between the content of oil or  $\beta$ -glucans in the grain and the year of oat cultivation was observed in the hulled samples. In naked forms, a clear link between the concentrations of chemicals in the different grain samples of oats and the year of cultivation has not been established.

Key words: oats; evaluation; grain; growing season; 1000 grain weight; yield; nature; test weight; film; oil; protein;  $\beta$ -glucans.

**For citation:** Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. DOI 10.18699/VJ19.541 (in Russian)

## Введение

Овес посевной (*Avena sativa* L.) – древняя культура, известная человечеству не менее 4000 лет. Питательная ценность зерна овса определяется содержанием в нем углеводов, белков, липидов, витаминов и других биологически активных веществ. По сравнению с ячменем и другими зерновыми культурами белки зерна овса имеют более высокую биологическую ценность (Солоненко, Омелянчук, 1991). Зерно этой культуры ценится своими вкусовыми и диетическими качествами, содержит ненасыщенные жирные кислоты, основные минеральные элементы, глобулярные белки и высокое количество  $\beta$ -глюканов, характеризуется наличием разнообразных веществ с антиоксидантными свойствами (Shewry et al., 2008; Zute et al., 2016). Зерно используют на корм животным, в питании человека, а также в качестве пищевого и промышленного сырья (Arendt, Zannini, 2013; Loskutov, Polonskiy, 2017).

Среди особых свойств зерна овса можно отметить наличие специфических водорастворимых пищевых волокон –  $\beta$ -глюканов. Они представляют собой растворимые в воде линейные гомополисахариды, молекулы которых состоят примерно из 2500 остатков  $\beta$ -(1.3)- и  $\beta$ -(1.4)-D-глюкопиранозы. Известно, что, с одной стороны,  $\beta$ -глюканы оказывают профилактическое и лечебное воздействие на организм человека (Brownlee, 2011; Абу-галиева, Савин, 2013; Harland, 2014), поддерживая или уменьшая количество холестерина в крови (Harland, 2014) и способствуя снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. С другой стороны, повышенная концентрация  $\beta$ -глюканов в зерне отрицательно коррелирует с питательной ценностью корма, используемого для нежвачных животных, так как создает трудности для его эффективного усвоения в желудочно-кишечном тракте (Svihus, Gullord, 2002).

Таким образом, для создания коммерческих сортов овса кормового и пищевого направлений необходимо проведение селекции, соответственно, на минимальное и максимальное содержание  $\beta$ -глюканов в зерне (Zhu et al., 2016). Информация о величине этих химических соединений в зерне разных образцов овса чрезвычайно скудна (Loskutov, Polonskiy, 2017), а для сортов, выращиваемых в условиях Сибири, полностью отсутствует. Поэтому целесообразно выполнение измерений содержания  $\beta$ -глюканов в зерне у существующего разнообразия образцов овса.

Цель работы состояла в оценке образцов овса на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне. Для определения перспективности дальнейшего использования образцов овса в задачу исследований входило параллельное измерение содержания белка и масла в зерне, его физических характеристик, а также величины урожайности.

## Материалы и методы

Объектами изучения были 14 пленчатых и 5 голозерных сортов овса из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 5 из которых имели зарубежное происхождение, остальные были сибирской селекции (табл. 1).

Исследования проводили в 2015–2017 гг. на опытных полях Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН), расположенных в лесостепной зоне Емельяновского района Красноярского края Восточной Сибири. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, характеризующимся агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 6.00 %,  $N-NO_3$  (ионометрический экспресс-метод) – 31.3 мг/кг почвы,  $P_2O_5$  (по Мачигину) – 5.00 мг/100 г почвы,  $K_2O$  (по Мачигину) – 21.9 мг/100 г почвы; реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН – 6.2). Предшественник – чистый пар. Площадь делянки – 1.8 м<sup>2</sup>. Посев проведен в оптимальные для культуры сроки, во вторую декаду мая, уборку образцов осуществляли по мере их созревания. Погодные условия в Красноярской лесостепи в годы исследования были контрастными: 2015 г. – засушливый (ГТК – 0.95); 2016 и 2017 гг. – влажные (ГТК – 1.59 и 1.47).

В полевых условиях регистрировали длину вегетационного периода растений. После уборки зерна определяли его физические и химические характеристики в каждом образце: массу 1000 зерен по методике ВИР (Лоскутов и др., 2012), пленчатость – в соответствии со стандартной методикой (ГОСТ-10843-76, 2001), натуру – известным микрометодом (Walker, Panozzo, 2011), содержание белка – по Кьельдалю (ГОСТ-10846-91, 2009), содержание масла и  $\beta$ -глюканов – на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer 1241 (Munck, 2005) с использованием 50 мл кюветы. Компания ООО EIRA (официальный представитель FOSS Analytical Ltd. в Латвии) разработала калибровочную модель для определения  $\beta$ -глюканов в зерне. Данные из 150 образцов зерна зерновых культур,

**Table 1.** Oat accessions used in the work

VIR accession no.	Name	Variety	Origin
Hulled			
15008	Tubinskiy	mutica	Krasnoyarsk region
–	Kazyr	mutica	
14043	Sayan	aurea	
15114	Pegasus	aristata	Altay region
15113	Korifey	aristata	
15185	Altair	mutica	Kemerovo region
15444	Sapsan	mutica	Kirov region
15443	Avatar	mutica	
15243	Envis	byzantina	England
15259	PA 7836-9687	byzantina	United States
15324	Local Tunisia 1	byzantina	Tunisia
15127	SW Betania	aristata	Sweden
–	Medved	mutica	Kirov region
14857	Krechet	mutica	
Naked			
15067	Golets	inermis	Krasnoyarsk region
15115	Aldan	inermis	Kemerovo region
15183	Taydon	inermis	
14960	Vyatskiy	inermis	Kirov region
15120	Gosha	inermis	Belarus

проанализированные методами АОАС 995.16 и ICC № 168 для β-глюкана (Megasyme), были использованы для разработки модели калибровки. Калибровочная модель регулируется ежегодно с дополнительными 20–30 данными по эталонному методу. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла 0.3 %. Повторность определения каждого показателя двукратная.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали при  $p \leq 0.05$ .

## Результаты

Впервые представлены данные по содержанию β-глюканов в зерне сортов овса, выращенных в условиях Восточной Сибири. Сорта были преимущественно сибирской селекции, в том числе широко распространенные местные сорта – Тубинский и Саян. Содержание β-глюканов в зерне изменялось в зависимости от сортовой принадлежности и года выращивания (табл. 2). Пленчатые образцы формировали зерно с содержанием β-глюканов от 2.9 до 5.2 %, голозерные – от 3.7 до 4.8 %. По минимальным значениям этого показателя выделились сорта красноярской селекции – Тубинский, Казыр, Саян (около 3 %), по максимальному – зарубежный образец Местный Тунис 1 (5.2 %). Следует отметить, что, несмотря на сильное варьирование значения указанного биохимического признака у сорта Местный Тунис 1 по годам (26.4 %), последний характеризовался высоким содержанием β-глюканов

во все годы испытания. Наименьшим варьированием рассматриваемого признака за три года изучения отличались пленчатые образцы Сапсан, Креchet, SW Betania и голозерный сорт Алдан.

В ходе исследований сортов овса определено содержание двух других важных химических веществ в зерне (см. табл. 2). В среднем за три года размах варьирования содержания масла в зерне соответствовал 4.4–7.2 % у пленчатых сортов и 7.3–9.0 % у голозерных форм. Самые высокие значения отмечены у пленчатого сорта Местный Тунис 1 и голозерного образца Вятский. Наиболее стабильное содержание масла во все годы было у возделываемых в Красноярском крае сортов Тубинский, Казыр и Саян. Однако при этом они характеризовались относительно низким его содержанием: в пределах 4.6 %. Особый интерес представляет голозерный сорт Вятский, сочетающий высокое содержание масла в зерне с низким варьированием этого показателя в различные по условиям годы выращивания.

Содержание белка в зерне как критерий его качества зависит от сорта, погодных условий и уровня агротехники (Tamm, 2003). В наших опытах этот показатель изменялся от 11.7 до 15.1 % у пленчатых и от 14.8 до 16.8 % у голозерных образцов. Повышенное накопление белка в зерне отмечено у пленчатого сорта Местный Тунис 1 и голозерного образца Вятский. Стабильное по годам содержание белка при среднем его значении 12.6–13.0 % установлено у сортов Саян, Альгаир, Медведь, SW Betania.

**Table 2.** Biochemical parameters of oat grain samples averaged over three years

Accession name	Content, %					
	oil		protein		β-glucan	
	$\bar{x}$	Cv	$\bar{x}$	Cv	$\bar{x}$	Cv
Hulled						
Tubinskiy	4.63	4.5	12.46	7.6	2.90	10.3
Kazyr	4.63	5.4	11.69	6.7	3.03	6.7
Sayan	4.57	2.5	12.66	2.7	3.04	6.5
Pegasus	7.00	17.4	12.39	5.0	4.50	23.5
Korifey	5.76	9.7	12.96	5.2	4.27	13.4
Altair	6.50	14.0	12.59	4.6	4.28	21.6
Sapsan	6.10	21.8	13.25	6.9	3.83	1.5
Avatar	5.89	19.3	12.11	11.4	4.30	6.2
Medved	5.75	19.5	13.01	4.7	4.50	14.6
Krechet	4.96	9.2	12.99	11.0	3.37	4.5
Envis	4.35	13.3	12.21	5.4	3.60	12.1
PA 7836-9687	6.43	18.2	12.82	8.6	4.20	10.4
Local Tunisia 1	7.25	25.1	15.10	8.4	5.17	26.4
SW Betania	5.54	5.5	12.73	3.6	4.45	1.6
LSD <sub>05</sub>	1.00		1.17		0.85	
Naked						
Golets	7.28	8.5	16.71	9.0	4.06	13.7
Aldan	8.79	8.5	16.17	14.5	4.14	1.7
Taydon	8.27	20.6	16.48	5.2	4.77	9.9
Vyatskiy	9.01	5.6	16.88	10.3	3.73	8.6
Gosha	8.77	15.5	14.86	7.8	4.37	16.8
LSD <sub>05</sub>	1.60		2.60		0.88	

Физические характеристики зерна, а также показатели продуктивности образцов овса приведены в табл. 3. Масса 1000 зерен – важный элемент структуры урожая овса, определяющий наряду с натурой технологические и биохимические свойства зерна (Сочнев, 1985). Существенное преимущество по этому показателю имели образцы Пегас, Корифей, Альтаир, Медведь и SW Betania. Варьирование значений массы 1000 зерен у образцов было небольшим, кроме сортов Тубинский, Саян, Пегас (пленчатая группа) и голозерного образца Алдан.

Показатель натуре зерна овса характеризует возможность его использования на крупу и другие продукты питания (Свиркова и др., 2016). Важное практическое значение для переработки имеют сорта с натурой не ниже 550 г/л (ГОСТ 28673-90..., 2010). В среднем размах варьирования этого показателя составил у пленчатых образцов 484–609 г/л, а у голозерных – 588–815 г/л в зависимости от сорта и года выращивания. Наибольшую натуре зерна имели пленчатый сорт Корифей и голозерный Голец. Как

и в случае с показателем «масса 1000 зерен», коэффициенты вариации натуре были наибольшими у образцов Тубинский и Алдан.

Известно, что значение пленчатости зерновки овса варьирует в широких пределах и зависит от сорта, условий произрастания растений, степени зрелости зерна и его крупности. Внешние пленки имеют низкую питательную ценность, поэтому их массовую долю у овса целесообразно снижать (Баталова, 2014). Согласно данным табл. 3, значение пленчатости зерна овса изменялось в довольно широких пределах: от 18.5 до 29.0%. Среди изучаемых образцов минимальная величина этого показателя отмечена у сортов Альтаир, Пегас, Медведь и Envis. К раннеспелым можно отнести сорта Саян, Аватар, Медведь, Креchet, PA 7836-9687 и SW Betania (см. табл. 3). Продолжительность вегетационного периода у них меньше, чем у стандарта Тубинский (76 сут). По длине вегетации все голозерные образцы существенно не отличались от стандарта Голец.

Одна из важнейших характеристик любого сорта – его урожайность (Creissen et al., 2016). В среднем за три года выращивания практически такую же величину урожая, как у стандартного сорта Тубинский, сформировали пленчатые образцы Казыр, Медведь и Местный Тунис 1 (см. табл. 3). Среди голозерных образцов следует отметить сорт Алдан, у которого зарегистрировано значение урожайности почти на уровне стандарта Голец. Голозерные образцы по величине урожайности существенно уступали пленчатым.

Результаты вычисления коэффициентов корреляции между химическими и физическими показателями зерна у образцов овса приведены в табл. 4. Показано наличие существенных положительных связей между содержанием β-глюканов и массой 1000 зерен, содержанием β-глюканов и содержанием масла в зерне; содержанием масла и массой 1000 зерен. Установлена значимая отрицательная корреляционная связь между содержанием масла в зерне и его натурой.

Полученные в ходе изучения данные по оценке сортов овса послужили основой для их ранжирования по всем изученным показателям. По содержанию β-глюканов, белка в зерне, урожайности лучшими для крупяного направления в селекции оказались сорта Местный Тунис 1, Медведь и Тайдон, а для кормового использования – Тубинский, Вятский и Голец (табл. 5).

Результаты анализа корреляционных связей между содержанием каждого изучаемого химического вещества у сортов овса по годам представлены в табл. 6. Расчет коэффициентов корреляции выполняли для сортов, контрастных по содержанию, соответственно, масла, белка или β-глюканов в зерне, а именно: шесть пленчатых (три с максимальным и три с минимальным содержанием каждого вещества) и четыре голозерных (два с максимальным и два с минимальным содержанием). Для пленчатых сортов характерны высокий уровень (значение) положительной связи между содержанием масла или β-глюканов в зерне и годом выращивания, а также сильная и средняя связь между содержанием белка и годом выращивания. Что касается голозерных сортов, то для них четкой связи между содержанием рассматриваемых веществ в зерне разных образцов и годом выращивания овса не найдено.

**Table 3.** Physical parameters of grain and productivity of oat accessions averaged over three years

Accession name	1000 grain weight, g		Est weight, g/L		Hull content, %		Vegetation period, days		Yield, g/m <sup>2</sup>	
	$\bar{x}$	Cv, %	$\bar{x}$	Cv, %	$\bar{x}$	Cv	$\bar{x}$	Cv, %	$\bar{x}$	Cv, %
Hulled										
Tubinskiy	34.5	10.3	547	10.7	26.6	8.0	76	4.7	1059	60.0
Kazyr	35.0	1.4	557	6.2	22.7	12.4	74	9.5	1003	42.0
Sayan	36.8	10.5	537	4.5	26.5	4.4	73	8.2	943	31.0
Pegasus	43.4	10.6	537	4.4	21.8	11.6	79	5.9	860	43.6
Korifey	43.5	1.3	565	2.0	23.7	3.6	76	4.7	926	34.1
Altair	45.4	5.2	539	8.5	20.6	8.8	73	10.2	814	46.7
Sapsan	38.3	6.4	554	8.8	23.7	0.8	70	6.2	965	35.1
Avatar	35.2	4.6	538	8.8	23.9	3.6	70	6.6	921	38.7
Medved	38.1	3.9	549	7.0	21.8	8.9	71	11.4	1031	32.9
Krechet	36.8	2.6	548	5.5	23.8	9.8	70	9.3	771	22.6
Envis	32.1	7.3	528	4.3	22.5	7.1	74	4.7	950	74.4
PA 7836-9687	41.4	3.3	558	3.5	23.0	6.4	72	3.5	880	23.8
Local Tunisia 1	44.4	4.1	526	4.6	22.6	3.1	73	7.2	1058	42.7
SW Betania	37.4	1.7	533	8.6	23.7	10.4	72	4.4	872	39.7
HCP <sub>05</sub>	3.9		60		2.9		4.0		286	
Naked										
Golets	28.1	4.6	746	5.5	–	–	73	6.0	671	59.8
Aldan	25.0	10.6	699	16.2	–	–	75	8.2	593	60.2
Taydon	30.5	2.1	703	4.4	–	–	73	5.6	619	41.0
Vyatskiy	26.8	5.2	693	14.0	–	–	72	8.4	596	57.0
Gosha	27.8	5.9	698	4.4	–	–	71	7.3	493	17.5
LSD <sub>05</sub>	3.0		131		–		4.0		291	

**Table 4.** Correlation coefficients between physical and chemical parameters of grain in oat accessions; data averaged over three years

Grain parameter	1000 grain weight	Test weight	Hull content	Content		
				oil	protein	β-glucan
1000 grain weight	–					
Test weight	0.075 0.218	–				
Hull content	–0.483 –	0.094 –	–			
Oil content	0.843* –0.425	–0.105 –0.968*	–0.547 –	–		
Protein content	0.520 –0.425	–0.229 0.308	–0.075 –	0.556 –0.314	–	
β-glucan content	0.672* 0.692	–0.276 –0.068	–0.604 –	0.856* –0.155	0.571 –0.369	–

\* Statistically significant. Numerator: hulled accessions; denominator: naked accessions.

**Table 5.** Ranking of oat varieties according to the content of  $\beta$ -glucans and other parameters important in industrial and breeding practice

M 1000 grain weight*	M Test weight	m Hull content	Content				M Yield
			M oil	M protein	M $\beta$ -glucan content	m $\beta$ -glucan content	
Hulled							
Altair	Korifey	Altair	Local Tunisia 1	Local Tunisia 1	Local Tunisia 1	Tubinskiy	Tubinskiy
Local Tunisia 1	PA 7836-9687	Pegasus	Pegasus	Sapsan	Pegasus	Kazyr	Local Tunisia 1
Korifey	Kazyr	Medved	Altair	Medved	Medved	Sayan	Medved
Naked							
Taydon	Golets	–	Vyatskiy	Vyatskiy	Taydon	Vyatskiy	Golets
Golets	Taydon	–	Aldan	Golets	Gosha	Golets	Taydon
Gosha	Aldan	–	Gosha	Taydon	Aldan		Vyatskiy

\* M, maximum; m, minimum.

**Table 6.** Correlation coefficients between the contents of fat, protein, or  $\beta$ -glucans in the grain of contrasting oat accessions grown in different years

Grain parameter	Correlation coefficients in samples grown in years:		
	2015 vs 2016	2016 vs 2017	2015 vs 2017
Content			
oil	0.981*	0.798	0.881*
	0.524	0.722	-0.077
protein	0.970*	0.679	0.578
	0.942*	-0.365	-0.647
$\beta$ -glucan	0.974*	0.834*	0.756
	0.965*	-0.087	0.120

Notes: Accessions contrasting in the contents of oil, protein, or  $\beta$ -glucans in grain: six hulled (three with maximum and three with minimum contents of each substance) and four naked (two with maximum and two with minimum contents of each substance). Numerator: hulled accessions; denominator: naked accessions.

## Обсуждение

Анализ диапазона изменчивости ряда важных биохимических признаков качества для сортов овса, выращиваемых в условиях Восточной Сибири в течение трех лет, показал, что сортовые различия по содержанию  $\beta$ -глюканов в зерне составили в среднем от 2.9 до 5.2 %. Близкий диапазон изменчивости содержания  $\beta$ -глюканов (от 3.3 до 6.2 %) определен в ходе выполнения российско-шведских совместных исследований образцов овса, культивируемых в Европе (Loskutov, Rines, 2011). В нашей работе по минимальным значениям этого признака выделены сорта красноярской селекции – Тубинский, Казыр, Саян (около 3 %), по максимальному – зарубежный образец Местный Тунис 1 (5.2 %).

В течение трех лет выращивания значение содержания масла в зерне колебалось от 4.4 до 7.2 % у пленчатых и от 7.3 до 9.0 % у голозерных образцов овса соответственно.

Наиболее высокое содержание масла определено для пленчатого сорта Местный Тунис 1 и голозерного образца Вятский. На фоне практически равного содержания белка в зерне для большинства изученных образцов повышенное его содержание имели пленчатый сорт Местный Тунис 1 и голозерный Вятский. Следует отметить интересный факт: по высоким значениям всех трех рассмотренных выше биохимических показателей качества выделился африканский сорт Местный Тунис 1 отдаленного происхождения. Среди лучших по массе 1000 зерен, натуре и пленчатости не оказалось ни одного сорта, который выделился хотя бы по одному из анализируемых в работе химических веществ.

Один из известных приемов повышения адаптивности сортов овса к неблагоприятным условиям Сибири – создание форм с коротким вегетационным периодом растений (Svirikova et al., 2016). Вероятно, поэтому большинство взятых нами в исследование пленчатых и голозерных сортов по длине вегетационного периода являются раннеспелыми. В среднем за три года выращивания практически такую же урожайность, как у стандартного сорта Тубинский, имели пленчатые сорта Казыр, Медведь и Местный Тунис 1. Голозерный образец Алдан показал урожайность на уровне стандарта Голец. Все голозерные сорта по урожайности существенно уступали пленчатым. При этом отставание голозерных сортов не связано лишь с меньшей массой зерновки вследствие отсутствия у них пленок. Основная причина невысокой массы 1000 зерен – щуплость эндосперма зерна. Так, средняя масса 1000 зерен всех пленчатых образцов превышает этот показатель у голозерных на 40.2 %, при этом средняя доля пленок составляет только 23.4 %.

В нашей работе у пленчатых образцов овса показано наличие значимых положительных связей между массой 1000 зерен, с одной стороны, и содержанием  $\beta$ -глюканов либо содержанием масла в зерне, с другой, а также между содержанием  $\beta$ -глюканов и содержанием масла. У голозерных образцов установлена существенная отрицательная корреляционная связь между содержанием масла в зерне и его натурой. О факте выявления значимой положи-

тельной корреляции между содержанием  $\beta$ -глюканов и урожайностью, натурой и массой 1000 зерен, а также существенной отрицательной корреляции рассматриваемого химического показателя со степенью пленчатости зерновки имеются сведения в литературе (Saastamoinen et al., 1992; Martinez et al., 2010).

На контрастных по содержанию химических веществ в зерне пленчатых образцах в работе зарегистрирована высокая сила положительной связи между содержанием масла или  $\beta$ -глюканов в зерне по годам выращивания овса. Кроме того, аналогичная тенденция отмечена для содержания белка. Это может означать, что при возделывании овса в разные годы содержание масла и  $\beta$ -глюканов (и отчасти белка) в зерне у пленчатых образцов изменяется почти синхронно, т.е. ранжирование сортов по уровню этих химических соединений в зерне год от года практически не нарушается. У голозерных образцов четкой связи между содержанием рассматриваемых веществ в зерне разных образцов и годом выращивания не обнаружено.

Существенная значимая корреляция между содержанием  $\beta$ -глюканов в зерне пленчатых образцов по годам исследования указывает на высокую зависимость этого химического показателя от генотипа. Последнее означает большую вероятность успешной селекции на этот качественный признак овса. Опубликованные недавно результаты выполнения Европейского проекта по изучению генетических ресурсов овса также продемонстрировали заметный вклад генетической составляющей в формирование рассматриваемого признака (Redaelli et al., 2013).

В зерне пленчатых образцов овса, выращиваемого в Восточной Сибири, установлена положительная корреляция между содержанием  $\beta$ -глюканов и масла. Этим результатом подтвержден недавно обнаруженный одним из наших соавторов аналогичный эффект при культивировании различных сортов овса в условиях Европы (Zute et al., 2016). По-видимому, содержание масла может служить косвенным индикатором содержания  $\beta$ -глюканов в зерне, несмотря на то, что оба соединения имеют разный механизм биосинтеза накопления (Kibite, Edney, 1996), а динамика накопления  $\beta$ -глюканов в зерновке отличается от таковой для других биохимических компонентов (Сох, Frey, 1985). Нами не найдено корреляционной связи между содержанием  $\beta$ -глюканов и белка в зерне овса разных образцов. По этому вопросу в литературе приводятся противоречивые результаты: описана как положительная (Havrlentová et al., 2008), так и отрицательная корреляция (Miller et al., 1993).

При выполнении работы не обнаружено заметного преимущества голозерных образцов по сравнению с пленчатыми в содержании  $\beta$ -глюканов в зерне, на что указывали другие ученые (Havrlentová et al., 2008; Biel et al., 2009). Более того, у голозерных образцов не найдено четкой связи между содержанием  $\beta$ -глюканов, жира и белка в зерне по годам исследования.

## Заключение

Таким образом, выполненная в условиях Восточной Сибири оценка сортов овса по комплексу биохимических и физических показателей зерна позволила выделить потенциально ценный исходный материал. Для использования

в селекции кормового направления можно рекомендовать сорта с минимальным содержанием  $\beta$ -глюканов в зерне – Тубинский, Вятский и Голец, в селекции сортов продовольственного направления – Местный Тунис 1, Медведь и Тайдон с максимальным содержанием  $\beta$ -глюканов в зерне.

## Список литературы / References

- Абугалиева А.И., Савин Т.В. Содержание  $\beta$ -глюкана в зерне овса. Сиб. вестн. с.-х. науки. 2013;4(233):76-83.  
[Abugalieva A.I., Savin T.V.  $\beta$ -glucan content in oats grain. Sibirskiy Vestnik Selskokhozyaystvennoy Nauki = Siberian Herald of Agricultural Sciences. 2013;4(233):76-83. (in Russian)]
- Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса. Зернобобовые и крупяные культуры. 2014;2(10):64-69.  
[Batalova G.A. Perspectives and results of naked oats breeding. Zernobobovye i Krupyanye Kultury = Legumes and Groat Crops. 2014; 2(10):64-69. (in Russian)]
- ГОСТ-10843-76. Зерно. Методы анализа. М., 2001.  
[State Standard 10843-76. Grain: Methods of Analysis. Moscow, 2001. (in Russian)]
- ГОСТ-10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М., 2009.  
[State Standard 10846-91. Grain and Products of its Processing: Protein Assay Method. Moscow, 2009. (in Russian)]
- ГОСТ 28673-90. Овес. Требования при заготовках и поставках. М., 2010.  
[State Standard 28673-90. Oats. Requirements for Procurement and Supply. Moscow, 2010. (in Russian)]
- Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012.  
[Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oat. St. Petersburg: VIR Publ., 2012. (in Russian)]
- Свиркова С.В., Заушинцева А.В., Старцев А.А. Иммуитет овса – фактор защиты растений от болезней. Кемерово: Кемеровский гос. ун-т, 2016.  
[Svirkova S.V., Zaushintsena A.V., Startsev A.A. Oat Immunity is a Factor of Plant Protection from Diseases. Kemerovo: Kemerovo State University Publ., 2016. (in Russian)]
- Солоненко Л.П., Омелянчук Н.А. Качество белков зерна разных видов и сортов овса. В кн.: Генетика культурных видов растений: Новосибирск, 1991;204-219.  
[Solonenko L.P., Omelyanchuk N.A. The quality of grain protein in different oat species and varieties. In: Genetics of Cultivated Plants. Novosibirsk, 1991;204-219. (in Russian)]
- Arendt E.K., Zannini E. Oats. In: Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. Woodhead Publ., 2013;243-282.
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. J. Cereal Sci. 2009;49(3): 413-418.
- Brownlee I.A. The physiological roles of dietary fibre. Food Hydrocoll. 2011;25(2):238-250.
- Couvreur F. Formation du rendement d' un ble et resonnes climatigues. Progressives Agricales. 1985;95:11-15.
- Cox T.S., Frey K.J. Complementarity of genes for high groat-protein percentage from *Avena sativa* L. and *A. sterilis* L. Crop Sci. 1985; 25(1):106-109.
- Creissen H.E., Jorgensen T.H., Brown J.K.M. Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes. Crop Prot. 2016;85:1-8.
- Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims. Woodhead Publ., 2014.

- Havrlentová M., Bieliková M., Mendel L., Kraic J., Hozlár P. The correlation of (1-3)(1-4)- $\beta$ -D-glucan with some qualitative parameters in the oat grain. *Agriculture*. 2008;54(2):65-71.
- Kibite S., Edney M.J. The inheritance of beta-glucan concentration in an oat (*Avena sativa* L.) cross. In: Proc. 5th Inter. Oat Conference. Saskatoon, Canada. 1996;2:77-79.
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of beta-glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder. *Agricultural. Biol.* 2017;52(4):646-657.
- Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena* L. In: Kole C. (Ed.) *Wild Crop Relatives: Genomic & Breeding Resources*. V. 1. Cereals. Heidelberg; Berlin; New York: Springer, 2011.
- 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 Res.* 2010;116(1-2):92-100.
- 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 Chem.* 1993;70(2):231-233.
- Munck L. *The Revolutionary Aspect of Exploratory Chemometric Technology*. Gylling, Denmark: Narayana Press, 2005.
- 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  $\beta$ -glucan in European oat genotypes. *J. Cereal Sci.* 2013;57(2):193-199.
- Saastamoinen M., Plaami S., Kumpulainen J. Genetic and environmental variation in  $\beta$ -glucan content of oats cultivated or tested in Finland. *J. Cereal Sci.* 1992;16(3):279-290.
- 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., Anderson A.A., Dimberg L., Bedö Z., Ward J.L. Phytochemical and fiber components in oat varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *J. Agric. Food Chem.* 2008;56(21):9777-9784.
- Svihus B., Gullord M. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2002;102(1-4):71-92.
- Svirkova S.V., Zaushintsena A.V., Startsev A.A. Genetic sources of disease resistance in oats. In: The 10th Inter. Oat Conference: Innovation for Food and Health Abstracts of Oral and Poster Presentation (OATS 2016). St. Petersburg, 2016;158-159.
- Tamm I. Genetic and environmental variation of grain yield of oat varieties. *Agron. Res.* 2003;1(1):93-97.
- 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. *J. Cereal Sci.* 2011;54(2):311-316.
- Zhu F., Du B., Xu B. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocoll.* 2016;52(2):275-288.
- Zute S., Loskutov I., Vicupe Z. Assessment of oat genotypes according to the characteristics determining the nutritional grain quality. In: The 10th Inter. Oat Conference: Innovation for Food and Health Abstracts of Oral and Poster Presentation (OATS 2016). St. Petersburg, 2016;177-178.

---

#### ORCID ID

V.I. Polonskiy [orcid.org/0000-0002-7183-0912](https://orcid.org/0000-0002-7183-0912)  
N.A. Surin [orcid.org/0000-0003-3866-6679](https://orcid.org/0000-0003-3866-6679)  
S.A. Gerasimov [orcid.org/0000-0003-1273-3212](https://orcid.org/0000-0003-1273-3212)  
A.G. Lipshin [orcid.org/0000-0003-0536-3452](https://orcid.org/0000-0003-0536-3452)  
A.V. Sumina [orcid.org/0000-0002-0466-6833](https://orcid.org/0000-0002-0466-6833)  
S. Zute [orcid.org/0000-0001-5523-1111](https://orcid.org/0000-0001-5523-1111)

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Received March 4, 2019. Revised June 26, 2019. Accepted June 27, 2019.