

Вадим Игоревич Полонский^{1,4}, Сергей Александрович Герасимов²,
Алена Владимировна Сумина^{1,3}✉

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

²Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

³Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Республика Хакасия, Россия

⁴Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

¹vadim.polonskiy@mail.ru

²g-s-a2009@yandex.ru

³alenasumina@list.ru

ПЛАСТИЧНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ПЛЕНЧАТОГО ЯЧМЕНЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ β -ГЛЮКАНОВ В ЗЕРНЕ И ЕГО КРУПНОСТИ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В работе проведено вычисление адаптивности образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и массе 1000 зерен, а также анализ связи между разными показателями адаптивности образцов по этим признакам. В исследовании участвовали 18 образцов пленчатого ячменя из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, которые были выращены в течение трех лет в условиях Красноярской лесостепи. Содержание β -глюканов в зерне измеряли на автоматическом зерновом анализаторе InfratecAnalyzer 1241 с использованием 50 мл кюветы, массу 1000 зерен определяли стандартным методом. По каждому из исследуемых признаков образцов ячменя вычисляли два параметра экологической пластичности (коэффициент вариации C_v и показатель стрессоустойчивости d) и четыре параметра стабильности (показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, параметр гомеостатичности Ном, фактор стабильности SF и показатель селекционной ценности сорта C_s). Найдено, что доля вклада года выращивания ячменя в варьирование обоих признаков была выше, чем таковая генотипа. Вклад генотипа в изменчивость признака «масса 1000 зерен» более чем в три раза превышал таковой для признака «содержание β -глюканов в зерне». Установлено, что наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности (соответственно минимальной суммой рангов) по содержанию β -глюканов в зерне ячменя отличался образец Красноярский 80, а по массе 1000 зерен – Омский 96. Наименее ценными по параметрам адаптивности с максимальной суммой рангов оказались образцы ячменя Танай и Маяк. Показано, что образцы ячменя с большей массой 1000 зерен характеризовались более высокими значениями всех параметров стабильности по этому признаку, причем указанная связь была статистически доказана для параметра C_s . Найденный результат может говорить в пользу того, что успешная селекция ячменя на максимальную стабильность образцов по признаку «масса 1000 зерен» будет сопровождаться ростом крупности зерна.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., пленчатый, оценка, зерно, пластичность, стабильность, β -глюканы, масса 1000 зерен

Для цитирования: Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 53–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61.

Vadim Igorevich Polonsky^{1,4}, Sergei Alexandrovich Gerasimov², Alena Vladimirovna Sumina^{1,3}✉

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

²Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – a separate subdivision of the Federal Research Center of the KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

³Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, Republic of Khakassia, Russia

⁴Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

¹vadim.polonskiy@mail.ru

²g-s-a2009@yandex.ru

³alenasumina@list.ru

HULLED BARLEY SAMPLES PLASTICITY AND STABILITY BY THE CONTENT OF β -GLUCANS IN THE GRAIN AND ITS SIZE UNDER THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE CONDITIONS

Research has calculated the adaptability of barley samples by the content of β -glucans in the grain and the weight of 1000 grains, as well as the analyzed the relationship between different indicators of the adaptability of the samples for these traits. The study involved 18 accessions of hulled barley from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resource named after N.I. Vavilov, which were grown for three years in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. The content of β -glucans in the grain was measured on an automatic grain analyzer Infratec Analyzer 1241 using a 50 ml cuvette, the weight of 1000 grains was determined by the standard method. For each of the studied traits of barley samples, two parameters of ecological plasticity (coefficient of variation Cv and stress resistance index d) and four stability parameters (indicator of the level and stability of the variety PUSS, the homeostatic parameter Hom, the stability factor SF and the indicator of the selection value of the variety Cs) were calculated. It was found that the share of the contribution of the barley growing year to the variation of both traits was higher than that of the genotype. The contribution of the genotype to the variability of the trait "mass of 1000 grains" was more than three times higher than that for the trait "content of β -glucans in the grain". It was found that the smallest value of plasticity and the highest value of stability (respectively, the minimum sum of ranks) in terms of the content of β -glucans in the grain of barley differed in the sample Krasnoyarsky 80, and in terms of weight of 1000 grains – Omsky 96. The least valuable in terms of adaptability parameters with the maximum sum of ranks were barley samples Tanai and Mayak. It is shown that barley samples with a larger mass of 1000 grains were characterized by higher values of all stability parameters for this trait, and this relationship was statistically proven for the parameter Cs. The found result may speak in favor of the fact that successful selection of barley for the maximum stability of samples on the basis of "mass of 1000 grains" will be accompanied by an increase in grain size.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., hulled, evaluation, plasticity, stability, β -glucans, 1000 grain weight

For citation: Polonsky V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V. Hulled barley samples plasticity and stability by the content of β -glucans in the grain and its size under the Krasnoyarsk forest-steppe conditions // Bulliten KrasSAU. 2022;(4): 53–61. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61.

Введение. В настоящее время установлено наличие заметного тренда в росте урожайности зерновых культур, включая пшеницу и ячмень, за продолжительный (80–100 лет) период времени [1, 2]. По мнению авторов, образцы, которые показали самый высокий прирост урожая, по-видимому, также были наиболее приспособлены к межгодовой изменчивости погоды. Однако современные сорта яровой пшеницы, хотя и имеют более высокие потенциальные урожаи зерна по сравнению со старыми сортами, все-таки характеризуются тем же уровнем их пластичности [3]. Более того, в многолетних экспериментах на ря-

де зерновых культур было экспериментально продемонстрировано наличие значительной изменчивости и доказано повышение разницы между минимальным и максимальным уровнями урожайности [4]. Таким образом, на современном этапе селекции необходимо учитывать уровни стабильности образцов по элементам продуктивности и качеству урожая [5, 6].

Как известно, ячмень (*Hordeum vulgare* L.) относится к важным зерновым культурам, которые используются в основном на кормовые цели и не часто встречаются в пище человека. Однако сегодня ячмень привлек пристальное

внимание исследователей как продовольственное сырье для производства функциональных ингредиентов благодаря содержащимся в зерне уникальным полисахаридам β -глюканам [7–9].

Что касается результатов вычисления пластичности и стабильности ячменя, то в литературе приводятся в основном показатели адаптивности образцов по урожайности и содержанию в зерне белка [10]. Сведения о варьировании содержания β -глюканов в зерне ячменя в различных условиях выращивания в литературе весьма скудные [11, 12].

Цель исследования – определение адаптивного потенциала выращенных в условиях Восточной Сибири образцов ячменя по признакам «содержание β -глюканов в зерне», «масса 1000 зерен» и анализ связи между показателями адаптивности образцов по этим признакам.

Объект и методы. В работе изучали 18 образцов пленчатого ячменя из коллекции ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. Ячмень выращивали в 2016–2018 гг. на опытных полях Красноярского НИИ сельского хозяйства ФИЦ КНЦ СО РАН, расположенных в лесостепной зоне Красноярского края. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, предшественник – чистый пар. Погодные условия в годы исследования были контрастными: 2016 и 2017 гг. – влажные (ГТК – 1,59 и 1,47); 2018 г. – засушливый (ГТК – 0,75).

В каждом образце определяли массу 1000 зерен и содержание в них β -глюканов. Полисахариды измеряли на автоматическом зерновом анализаторе Infratec Analyzer 1241. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла

0,3 %. Повторность определения показателей зерна двукратная.

По каждому из указанных хозяйственно ценных признаков образцов ячменя вычисляли 6 параметров адаптивности, которые были разделены на две группы. Первая группа объединяла показатели экологической пластичности образцов: коэффициент вариации C_v [13] и показатель стрессоустойчивости d [14]. Во вторую группу вошли параметры стабильности образцов: показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [5], параметр гомеостатичности Hom [15], фактор стабильности SF [16] и показатель селекционной ценности сорта C_s [15]. В исследовании использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности, и для оценок последней вычисляли суммы рангов.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ MS Excel. Достоверность результатов оценивали при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. При выполнении оценки адаптивности образцов ячменя вначале необходимо установить существенность влияния факторов «год» и «генотип» на исследуемые признаки. Для этого был выполнен дисперсионный анализ, результаты которого приведены в таблице 1. Видно, что доля вклада года выращивания ячменя в варьирование обоих признаков была выше, чем таковая генотипа. Вклад генотипа в изменчивость признака «масса 1000 зерен» втрое превышал таковой для признака «содержание β -глюканов в зерне». Подчеркнем, что влияние условий года выращивания и генотипа на изучаемые параметры зерна была статистически доказано ($F_{факт} > F_{05}$).

Таблица 1

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния условий выращивания и генотипа на характеристики зерна ячменя

Характеристика зерна	Источник варьирования	Степень свободы	Средний квадрат	Вклад факторов, %	$F_{ф}$	$F_{0,5}$
Содержание β -глюканов	Год	2	9,588	83,5	275,3	3,1
	Генотип	17	1,669	14,5	47,9	1,9
	Год и генотип	34	0,232	2,0	6,7	1,5
Масса 1000 зерен	Год	2	424,858	51,2	765,2	3,1
	Генотип	17	385,68	46,5	694,7	1,9
	Год и генотип	34	18,65	2,3	33,6	1,5

В таблицах 2 и 3 представлены результаты вычисления показателей адаптивности образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и массе 1000 зерен. Можно видеть, что минимальным значением пластичности и максимальным уровнем стабильности по содержанию β -глюканов в зерне ячменя отличался образец

Красноярский 80. Наименьшая величина пластичности и наибольшее значение стабильности по массе 1000 зерен были характерны для образца Омский 96. Для этих же двух образцов ячменя были зафиксированы минимальные значения суммы рангов.

Таблица 2

Показатели адаптивности различных образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне

Номер по каталогу ВИР	Название образца	Показатели адаптивности						Сумма рангов
		Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	Cs	
30243	Ача (st)	10,4	-0,93	0,46	100,0	0,81	3,67	58
		12	13	12	7	12	2	
30245	Соболек	8,1	-0,59	0,76	85,3	0,85	3,14	60
		9	10	9	10	9	13	
30984	Биом	14,0	-1,09	0,26	55,1	0,75	2,93	95,5
		16	15	16	17	16,5	15	
–	Танай	13,0	-1,01	0,32	67,6	0,79	3,27	77
		14	14	14	12	13,5	9,5	
27102	Красноярский 80	3,8	-0,30	3,43	206,3	0,93	3,63	9
		1	1	1	1	1	4	
–	Абалак	13,9	-1,14	0,27	67,9	0,77	3,31	79,5
		15	16	15	11	15	7,5	
–	Емеля	5,5	-0,39	1,67	117,6	0,90	3,19	27,5
		3	2	3	5	2,5	12	
46502	Талан	6,4	-0,50	1,30	136,6	0,88	3,66	26
		4	6,5	4	3	5,5	3	
30977	Омский 96	11,9	-0,88	0,36	60,9	0,79	3,23	78,5
		13	12	13	16	13,5	11	
30719	Тарский 3	8,0	-0,51	0,78	64,5	0,85	2,71	64
		8	8	8	14	9	17	
30845	Золотник	14,7	-1,28	0,23	66,6	0,75	3,27	90
		17	17	17	13	16,5	9,5	
31039	Колчан	9,3	-0,74	0,58	87,3	0,83	3,31	58,5
		10	11	11	8	11	7,5	
31109	Ворсинский 2	22,0	-1,82	0,10	36,3	0,64	2,57	108
		18	18	18	18	18	18	
–	Салаир	5,0	-0,44	2,00	199,4	0,88	4,00	16,5
		2	4	2	2	5,5	1	
29622	Маяк	7,0	-0,43	1,14	85,8	0,90	3,02	42,5
		7	3	7	9	2,5	14	
30970	Княжич	6,6	-0,50	1,20	121,8	0,88	3,50	33
		6	6,5	6	4	5,5	5	
30451	Зерноградец 770	6,5	-0,47	1,23	113,3	0,88	3,35	32,5
		5	5	5	6	5,5	6	
30599	АС Albright	9,4	-0,57	0,63	62,4	0,85	2,88	70
		11	9	10	15	9	16	
Коэффициент корреляции Спирмена		0,97*	0,92*	0,97*	0,94*	0,94*	0,66*	–

Здесь и далее: st. – образец-стандарт; числитель – показатели адаптивности, знаменатель – ранги;

* – значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$.

В литературе найдено существование значительных различий в содержании β -глюканов в зерне ячменя как между генотипами, так и условиями среды [11,17]. Причем в большей степени

от года выращивания регистрировалась зависимость концентрации водно-экстрагируемого β -глюкана [18].

Таблица 3

Показатели адаптивности различных образцов ячменя по массе 1000 зерен

Название образца	Показатели адаптивности						Сумма рангов
	Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	SF	Cs	
Ача (st)	6,3	-5,5	1,31	100,0	0,89	40,3	54,5
	9	10	10	8	8,5	9	
Соболек	8,1	-5,8	0,77	50,0	0,85	31,0	83
	13	12	13	16	13	16	
Биом	4,5	-4,1	2,67	164,4	0,92	45,3	29,5
	5,5	6	5	5	5	3	
Танай	11,4	-10,6	0,39	59,7	0,80	37,8	94
	17	17	17	14	17	12	
Красноярский 80	2,3	-2,1	10,41	336,2	0,96	48,3	15,5
	3	3	3	2	2,5	2	
Абалак	7,2	-6,4	1,04	97,8	0,87	41,9	62,5
	11,5	14	12	9	11	5	
Емеля	2,0	-1,3	14,15	206,9	0,96	35,5	25,5
	2	2	2	3	2,5	14	
Талан	5,9	-5,0	1,53	81,5	0,89	40,4	53
	8	8,5	9	11	8,5	8	
Омский 96	1,0	-1,0	49,50	748,8	0,98	48,5	
Тарский 3	11,1	-6,6	0,46	30,9	0,82	27,7	6
	1	1	1	1	1	1	
Золотник	4,5	-4,3	2,55	165,1	0,92	45,2	99
	16	15	16	18	16	18	
Колчан	9,7	-7,2	0,58	50,9	0,84	33,7	90
	14,5	16	15	15	14,5	15	
Ворсинский 2	7,2	-2,7	2,21	78,5	0,86	37,2	59,5
	11,5	4	7	12	12	13	
Салаир	5,6	-5,0	1,65	117,0	0,90	41,6	43,5
	7	8,5	8	7	7	6	
Маяк	12,5	-12,8	0,32	64,6	0,78	40,0	87
	18	18	18	13	18	10	
Княжич	6,5	-5,6	1,21	90,6	0,88	38,7	63
	10	11	11	10	10	11	
Зерноградец 770	4,2	-3,4	3,12	144,7	0,92	41,3	31
	4	5	4	6	5	7	
АС Albright	9,7	-6,0	0,59	36,8	0,84	28,6	90
	14,5	13	14	17	14,5	17	
Коэффициент корреляции Спирмена	0,97*	0,91*	0,96*	0,97*	0,98*	0,80*	–

Сегодня в работах многих исследователей для оценки адаптивности образцов зерновых культур используется целый ряд различных показателей. При этом для практических целей предлагается прием ранжирования и использование суммы рангов для окончательного заключения об адаптивности образцов. В соответствии с используемым в настоящей работе критерием оценки адаптивности генотипов ячменя, заключающемся в минимальной изменчивости уровня изучаемых признаков по годам выращивания, высшие ранги присваивали образцам, обладающим наименьшим их варьированием (минимальные значения C_v , d) и наибольшей стабильностью (максимальные значения H_{om} , ПУСС, SF и C_s).

В настоящей работе найдено хорошее совпадение результатов ранжирования образцов по их адаптивности, определяемых на основе разных показателей пластичности и стабильности. Это заключение подтверждают значимые величины коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (см. табл. 2, 3). На основании полученного результата можно предположить, что все применяемые в работе параметры адаптивности по обоим признакам дают одному и тому же образцу ячменя близкие оценки. Другими словами, более высокий уровень пластичности каждого образца в большинстве своем предполагает более низкое значение его стабильности и наоборот.

Таблица 4

Связь между средними величинами содержания β -глюканов в зерне, массы 1000 зерен образцов ячменя и показателями их адаптивности по этим признакам

Признак зерна	Значения коэффициентов корреляции					
	C_v	d	H_{om}	ПУСС	SF	C_s
Содержание β -глюканов	0,263	-0,420	-0,089	0,241	-0,539*	1,00*
Масса 1000 зерен	-0,287	-0,071	0,219	0,397	0,256	0,909*

Значения коэффициентов корреляции между средними уровнями содержания β -глюканов в зерне и массы 1000 зерен, с одной стороны, и показателями адаптивности образцов по этим признакам, с другой, приведены в таблице 4. Как видно из представленных результатов, связь между величиной крупности зерна и параметрами пластичности по этому признаку была отрицательной, а корреляция между рассматриваемым признаком и показателями стабильности была положительной, причем она была статистически доказана для параметра C_s . Зарегистрированный эффект может говорить в пользу того, что успешная селекция ячменя на минимальную пластичность и максимальную стабильность образцов по признаку «масса 1000 зерен» будет, по всей вероятности, сопровождаться ростом крупности зерна. Что касается содержания β -глюканов, то результаты оказались неоднозначные: два показателя стабильности имели положительные знаки, а два – отрицательные. Такое же противоречие для рассматриваемого признака образцов ячменя наблюдалось и для параметров пластичности.

Заключение

1. Наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности (соответственно минимальной суммой рангов) по содержанию β -глюканов в зерне ячменя отличался образец Красноярский 80, а по массе 1000 зерен – Омский 96.

2. Установлено, что образцы ячменя с большей массой 1000 зерен отличались более высоким значением параметра стабильности по этому признаку, причем эта связь была статистически доказана для параметра C_s . Найденный эффект может говорить в пользу того, что успешная селекция ячменя на максимальную стабильность образцов по признаку «масса 1000 зерен» будет сопровождаться ростом крупности зерна.

Список источников

1. Chloupek O., Hrstkova P., Schweigert P. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and ferti-

- lisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries // *Field Crops Research*. 2004. V. 85. № 2-3. P. 167–190. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00162-X.
2. Morgounov A., Zykin V., Belan I., Roseeva L., Zelenskiy Yu., Gomez-Becerra H.F., Budak H., Bekes F. Genetic gains for grain yield in high latitude spring wheat grown in Western Siberia in 1900–2008 // *Field Crops Research*. 2010. V. 117. №. 1. P. 101–112. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.02.001.
3. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Sadras V.O. Phenotypic plasticity of yield and agronomic traits in cereals and rapeseed at high latitudes // *Field Crops Research*. 2011. V. 124. № 2. P. 261–269. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.06.016.
4. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник РАСХН*. 2005. № 6. С. 49–53.
5. Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985. № 1. С. 66–73.
6. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б. и др. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. Вып. 4. С. 44–55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55.
7. Shah A., Gani A., Shoib F.A.M., Bilal M.W., Ashwar A. Structural, rheological and nutraceutical potential of β -glucan from barley and oat // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2017. V. 10. No. 4. P. 10–16. DOI: 10.1016/j.bcdf.2017.03.001.
8. Полонский В.И. и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019. Т. 23. Вып. 6. С. 53–60. DOI: 10.18699/VJ19.541.
9. Martínez-Subirà M., Romero M.P., Puig E., Macià A., Romagosa I., Moralejo M. Purple, high β -glucan, hullless barley as valuable ingredient for functional food // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. V. 131. № 9. P. 109582. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109582.
10. Юсова О.А. и др. Анализ сортов овса омской селекции по сбору белка с единицы площади // *Аграрный вестник Урала*. 2020. Вып. 6. С. 38–48.
11. Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I. Chemical Composition of Covered and Naked Spring Barley Varieties and Their Potential for Food Production // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2017. V. 67. № 2. P. 151–158. DOI: 10.1515/pjfn-2016-0019.
12. Полонский В.И. и др. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. Вып. 1. С. 9–19. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58.
13. Доснехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
14. Rossielle A.A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // *Crop Science*. 1981. V. 21. № 6. P. 27–29.
15. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // *Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института*. 1981. № 1. С. 8–14.
16. Lewis D. Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability // *Heredity*. 1954. V. 8. № 2. P. 333–356.
17. Ehrenbergerová J., Belcrediová N.B., Psota V., Hrstková P., Cerkal R., Newman C.W. Changes caused by genotype and environmental conditions in beta-glucan content of spring barley for dietetically beneficial human nutrition // *Plant Foods Human Nutrition*. 2008. V. 63. № 3. P. 111–117. DOI: 10.1007/s11130-008-0079-7.
18. Tomasi I., Sileoni V., Marconi O., Bonciarelli U., Guiducci M., Maranghi S., Perretti G. Effect of Growth Conditions and Genotype on Barley Yield and β -Glucan Content of Kernels and Malt // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. V. 67. № 22. P. 6324–6335. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b00891.

References

1. Chloupek O., Hrstkova P., Schweigert P. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries // *Field Crops Research*. 2004. V. 85. № 2-3. P. 167–190. DOI: 10.1016/S0378-4290(03)00162-X.
2. Morgounov A. Zykin V., Belan I., Roseeva L., Zelenskiy Yu., Gomez-Becerra H.F., Budak H., Bekes F. Genetic gains for grain yield in high latitude spring wheat grown in Western Siberia in 1900-2008 // *Field Crops Research*. 2010. V. 117. №. 1. P. 101–112. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.02.001.
3. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Sadras V.O. Phenotypic plasticity of yield and agronomic traits in cereals and rapeseed at high latitudes // *Field Crops Research*. 2011. V. 124. № 2. P. 261–269. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.06.016.
4. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i `ekologicheskoy ustojchivosti sortov zernovykh kul'tur // *Vestnik RASHN*. 2005. № 6. S. 49–53.
5. Nettevich `E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I. Povyshenie `effektivnosti otbora yarovoj pshenicy na stabil'nost', urozhajnost' i kachestvo zerna // *Vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*. 1985. № 1. S. 66–73.
6. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B. i dr. Stressustojchivost' sortov yachmenya razlichnogo agro`ekologicheskogo proishozhdeniya dlya uslovij rezko kontinental'nogo klimata // *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*. 2020. T. 181. Vyp. 4. S. 44–55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55.
7. Shah A., Gani A., Shoib F.A.M., Bilal M.W., Ashwar A. Structural, rheological and nutraceutical potential of β -glucan from barley and oat // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2017. V. 10. No. 4. P. 10-16. DOI: 10.1016/j.bcdf.2017.03.001.
8. Polonskij V.I. i dr. Izuchenie sortov ovsa (*Avena sativa* L.) razlichnogo geograficheskogo proishozhdeniya po kachestvu zerna i produktivnosti // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2019. T. 23. Vyp. 6. S. 53-60. DOI: 10.18699/VJ19.541.
9. Martínez-Subirà M., Romero M.P., Puig E., Macià A., Romagosa I., Moralejo M. Purple, high β -glucan, hullless barley as valuable ingredient for functional food // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. V. 131. № 9. P. 109582. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109582.
10. Yusova O.A. i dr. Analiz sortov ovsa omskoj selekcii po sboru belka s edinicy ploschadi // *Agrarnyj vestnik Urala*. 2020. Vyp. 6. S. 38–48.
11. Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I. Chemical Composition of Covered and Naked Spring Barley Varieties and Their Potential for Food Production // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2017. V. 67. № 2. P. 151–158. DOI: 10.1515/pjfn-2016-0019.
12. Polonskij V.I. i dr. Ocenka obrazcov yachmenya na sodержanie β -glyukanov v zerne i drugie cennye priznaki v usloviyah Vostochnoj Sibiri // *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*. 2021. T. 182. Vyp. 1. S. 9–19. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58.
13. Dospehov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat, 1985. 352 s.
14. Rossielle A.A., Hemblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // *Crop Science*. 1981. V. 21. № 6. P. 27–29.
15. Hangil'din V.V., Litvinenko N.A. Gomeostaticnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenicy // *Nauchno-tehnicheskij byulleten' Vsesoyuznogo selekcionno-geneticheskogo instituta*. 1981. № 1. S. 8–14.
16. Lewis D. Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability // *Heredity*. 1954. V. 8. № 2. P. 333–356.
17. Ehrenbergerová J., Belcrediová N.B., Psota V., Hrstková P., Cerkal R., Newman C.W. Changes caused by genotype and environmental conditions in beta-glucan content of spring barley for dietetically beneficial human nutrition // *Plant Foods Human Nutrition*. 2008. V. 63. № 3. P. 111–117. DOI: 10.1007/s11130-008-0079-7.
18. Tomasi I., Sileoni V., Marconi O., Bonciarelli U., Guiducci M., Maranghi S., Perretti G. Effect of Growth Conditions and Genotype on Barley Yield and β -Glucan Content of Kernels and Malt // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. V. 67. № 22. P. 6324-6335. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b00891.

Информация об авторах:

Вадим Игоревич Полонский, профессор кафедры ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии; профессор кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии; доктор биологических наук, профессор

Сергей Александрович Герасимов, заведующий лабораторией селекции серых хлебов, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

Алена Владимировна Сумина, доцент кафедры химии и геоэкологии; докторант кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Information about the authors:

Vadim Igorevich Polonsky, Professor at the Department of Landscape Architecture, Botany, Agroecology; Professor at the Department of Biophysics of the Institute of Fundamental Biology and Biotechnology; Doctor of Biological Sciences, Professor

Sergei Alexandrovich Gerasimov, Head of the Laboratory of Gray Bread Selection, Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences

Alena Vladimirovna Sumina, Associate Professor at the Department of Chemistry and Geoecology; Doctoral Student at the Department of Landscape Architecture and Botany; Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

