

Вадим Игоревич Полонский¹, Алена Владимировна Сумина²✉

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

²Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

^{1,2}vadim.polonskiy@mail.ru

ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ ПО ЦЕННЫМ СЕЛЕКЦИОННЫМ ПРИЗНАКАМ

Цель исследования – анализ и систематизация результатов, касающихся оценки экологической стабильности образцов основных зерновых культур по продукционным характеристикам и физико-химическим признакам зерна. Приведены названия образцов пшеницы, ячменя, овса и ржи с максимальным уровнем стабильности по ряду ценных селекционных признаков. Для ячменя и овса продемонстрировано наличие существенной положительной, а для пшеницы отрицательной связи между средней урожайностью образцов и уровнем их стабильности по этому признаку. Выраженность признаков «продолжительность вегетационного периода», «масса 1000 зерен» и «пленчатость» образцов всех исследованных культур позитивно коррелировала с уровнями их стабильности по ним. Между средними величинами натуры образцов овса и голозерного ячменя, с одной стороны, и уровнями их стабильности по данному физическому признаку, с другой, найдена позитивная, а для пленчатого ячменя и ржи негативная связь. Показано, что значение плотности зерна образцов ячменя отрицательно коррелировало с величиной их стабильности по указанному признаку. Предполагается, что использование для выращивания сортов ячменя с повышенным уровнем β -глюканов, белка, масла и кальция в зерне, а также пшеницы и овса с таковым значением суммарного содержания антиоксидантов (ССА), либо проведение плюс-отбора образцов на указанные биохимические признаки не будет сопровождаться снижением величины их стабильности по содержанию перечисленных веществ в зерне. Доказано, что на основании данных о величине стабильности образцов по массе 1000 зерен возможно выполнение неопровергающей косвенной их оценки на экологическую стабильность по значению ССА в зерне пшеницы, содержанию β -глюканов в голозерном ячмене, концентрации белка в голозерном овсе с помощью параметров Нот и ПУСС. Кроме того, с использованием показателей SF и Cs возможна оценка образцов пленчатого овса на стабильность по концентрации кальция и фосфора в зерне на основании вычисления их стабильности по массе 1000 зерен.

Ключевые слова: пшеница, ячмень, овес, рожь, экологическая стабильность, урожайность, вегетационный период, масса 1000 зерен, натура, пленчатость и плотность зерна, содержание антиоксидантов, β -глюканов, белка и масла

Для цитирования: Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов зерновых культур на экологическую стабильность по ценным селекционным признакам // Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 111–122. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-111-122.

Vadim Igorevich Polonsky¹, Alena Vladimirovna Sumina²✉

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

²Khakass State University named after. N.F. Katanov, Abakan, Russia

^{1,2}vadim.polonskiy@mail.ru

GRAIN CROPS SAMPLES ASSESSMENT FOR ECOLOGICAL STABILITY ACCORDING TO VALUABLE BREEDING TRAITS

The purpose of the study is to analyze and systematize the results concerning the assessment of the environmental stability of samples of the main grain crops based on production characteristics and physical and chemical characteristics of the grain. The names of samples of wheat, barley, oats and rye with the maximum level of stability for a number of valuable breeding traits are given. For barley and oats, it was demonstrated that there is a significant positive, and for wheat, a negative relationship between the average yield of samples and the level of their stability for this trait. The severity of the traits “duration of the growing season”, “weight of 1000 grains” and “filmicness” of samples of all studied crops positively correlated with the levels of their stability for them. A positive relationship was found between the average nature values of oat and hulless barley samples, on the one hand, and their stability levels for this physical trait, on the other, and a negative relationship for chaffy barley and rye. It was shown that the value of grain density of barley samples negatively correlated with the value of their stability according to this characteristic. It is assumed that the use for growing varieties of barley with increased levels of β -glucans, protein, oil and calcium in the grain, as well as wheat and oats with the same value of total antioxidant content (TAC), or carrying out plus-sampling for these biochemical traits will not be accompanied by a decrease in their stability in terms of the content of the listed substances in the grain. It has been proven that, based on data on the stability of samples based on the weight of 1000 grains, it is possible to carry out a non-damaging indirect assessment of their environmental stability based on the value of SSA in wheat grain, the content of β -glucans in hulless barley, and the protein concentration in hulless oats using the Hom and PUSS parameters. In addition, using the SF and Cs indicators, it is possible to evaluate hulled oat samples for stability in terms of the concentration of calcium and phosphorus in the grain based on calculating their stability based on the weight of 1000 grains.

Keywords: wheat, barley, oats, rye; ecological stability; yield; vegetation period; weight of 1000 grains; test value, filminess and grain density; content of antioxidants, β -glucans, protein and oil

For citation: Polonsky V.I., Sumina A.V. Grain crops samples assessment for ecological stability according to valuable breeding traits // Bulliten KrasSAU. 2024;(2): 111–122. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-111-122.

Введение. Для Восточной Сибири основными являются сельскохозяйственные культуры, среди которых как приоритетные можно выделить яровые пшеницу, овес и ячмень, в зерне которых содержится значительное количество биологически активных веществ, полезных для здоровья человека [1, 2]. Исходя из конечной цели любого земледельца – получения высокого и качественного урожая, первоочередной задачей, стоящей перед сельхозпроизводителями, является подбор таких сортов указанных культур, которые, во-первых, характеризуются кроме высокой урожайности повышенными значениями физических и химических показателей качества зерна, во-вторых, обладают высоким уровнем экологической стабильности по большинству ценных селекционных признаков, в-третьих, при повышении абсолютной величины урожая и его качества способны не снижать указанную стабильность культур по перечисленным признакам.

Известно, что наличие неблагоприятных экологических факторов вызывает разнообразные

стрессовые реакции у зерновых культур, которые могут приводить к изменению величины урожая и его химического состава [3]. Как правило, чем больше приспособлен к разнообразному сочетанию природных факторов сорт, тем в меньшей степени варьирует значение его урожайности и качество под воздействием изменяющихся внешних условий [4], тем выше адаптивный потенциал сорта. Основы адаптивной системы селекции растений впервые обосновал академик А.А. Жученко [5]. Исходя из сравнительного анализа методов определения экологической адаптивности образцов, соответствующие показатели разделены на три группы: параметры пластичности, гомеостатичности и стабильности [6].

Сегодня в литературе имеются немногочисленные и весьма разрозненные сведения об экологической стабильности конкретных сортов пшеницы, ячменя, овса и ржи по хозяйственно полезным признакам, при этом практически отсутствует информация о корреляционных связях

между фенотипической выраженностью признака у образцов и уровнем их стабильности по нему.

Цель исследования – анализ и систематизация результатов, касающихся оценки экологической стабильности образцов основных зерновых культур по продукционным характеристикам и физико-химическим признакам зерна.

Выявление образцов основных зерновых культур с максимальным уровнем экологичес-

кой стабильности по различным ценным селекционным признакам

С целью нахождения величины стабильности образцов зерновых культур по различным ценным признакам обычно их выращивают в различающихся экологических условиях, используя для создания таковых разные географические пункты, либо ведут учет соответствующих показателей в разные годы.

Таблица 1

Образцы пшеницы, ячменя, овса и ржи, характеризующиеся наибольшими уровнями экологической стабильности по ряду ценных селекционных признаков

Селекционный признак	Культура	Образец	Количество образцов	Источник литературы
1	2	3	4	5
Урожайность	Пшеница	Волжская К, Волжская СЗ	14	[7]
		Канская, Новосибирская 41	8	[8]
		Красноярская 12, Уяровка	33	[9]
	Ячмень	Рафаэль, Знатный	12	[10]
		Приазовский 9, Челябинский 99	24	[11]
		Galina	14	[12]
		Красноярский 91, Танай	12	**
	Овес	Сапсан, Envis, Вятский, Голец	18	[13]
Рожь	Талисман, Офелия, Эра	16	[14]	
Продолжительность вегетации	Пшеница	Омская 44, Предгорная	24	[15]
	Ячмень	Танай, Салаир	18	[16]
	Овес	Кречет, Местный Тунис 1	13	[16]
Масса 1000 зерен	Пшеница	Омская краса, Чулымская, Лидер 80	24	[15]
		Новосибирская 49, Новосибирская 75	11	[17]
	Ячмень	Такмак, Биом, Оленек	10	[18]
		Биом, Красноярский 91	12	[17]
		Омский 95, Омский голозерный 2	11	[19]
	Овес	Корифей, Казыр, Тайдон, Голец	18	[20]
		Саян, Аргумент	6	[21]
		Кросс, Аргумент	10	[17]
	Рожь	ГК-984	18	[22]
Рушник 2, Красноярская универсальная, Берегиня		9	[23]	
Натура	Ячмень пл.*	АС Albright, Омский 96	18	**
	Ячмень гол.*	CDC MC Guire, Нудум 7566	8	**
	Овес	Корифей, Местный Тунис 1, Гоша,	18	[20]
	Рожь	Московская-15	18	[22]
Пленчатость	Ячмень	Абалак	5	**
	Овес	Тубинский	7	**
Плотность	Ячмень	Ача, Нудум 4765	21	**
Содержание β-глюканов	Ячмень	Красноярский 80, Салаир	18	[24]
		Нудум 95	8	[25]
		Vespa, Lenetah, Muir, Claymore,	17	[26]
		К-16610, Нудум 265	100	[27]
	Овес	Сапсан, Кречет, Алдан, Вятский	18	[20]

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Содержание антиоксидантов	Пшеница	Омская краса, Красноярская 12	7	**
	Ячмень	Биом, Ача	10	[18]
	Овес	Аргумент, Голец	5	**
Содержание белка	Пшеница	Ветлужанка	4	[28]
		Г 20487, Рикотензе 478	24	[29]
	Ячмень	Filipra, Местный, Бионик	31	[30]
		Nigohadaka	100	[27]
		Саян, Тайдон, Альтаир, Гоша	18	[13]
	Овес	Сибирский голозерный, Прогресс	12	[31]
		Орион, Уран, Сибирский Геркулес,	13	[32,33]
		Эра, Ильмень, Красноярская универсальная	9	[34]
Содержание масла	Ячмень	ГК- 614НВ	18	[22]
		Симон, Паллидум 4727	15	[35]
	Овес	Витим	6	[36]
		Саян, Тубинский, Вятский, Алдан	18	[20]
		Факел, Сибирский голозерный	10	[37]
		Иртыш 23, Факел, Сибирский голозерный	11	[38]
Содержание кальция	Ячмень	Красноярский 91, Биом	5	[39]
	Овес	Сельма, Саян	5	[39]
Содержание фосфора	Ячмень	Омский голозерный 1, Буян	5	[39]
	Овес	Голец, Тубинский	5	[39]

*пл. – пленчатый образец; гол. – голозерный образец; **собственные неопубликованные данные.

В таблице 1 приведены результаты литературного поиска сортов пшеницы, ячменя, овса и ржи, имеющих наибольшие значения экологической стабильности по различным селекционным признакам. Последние разделены на ценные признаки, отражающие продукционные процессы (урожайность, продолжительность вегетационного периода), показатели, связанные с физическими свойствами зерна (масса 1000 зерен, натура, пленчатость, плотность) и его химическим составом (содержание антиоксидантов, β -глюканов, белка, масла, кальция, фосфора). Наличие приведенных здесь сведений о потенциальных высокоадаптивных источниках основных зерновых культур может представлять интерес для селекционеров, работающих над повышением стабильности новых сортов по ряду ценных продукционных и качественных признаков.

Селекционные признаки, закономерно изменяющие свою экологическую стабильность при изменении их фенотипической выраженности

В таблице 2 приведены результаты вычисления корреляционной связи между средними значениями ряда селекционных признаков образцов пшеницы, ячменя, овса, ржи и уровнями их экологической стабильности по этим признакам. При нахождении этих данных в качестве показателей стабильности в большинстве своем были использованы следующие: Ном – параметр гомеостатичности [40], ПУСС – показатель уровня и стабильности сорта [41], SF – фактор стабильности [42], Cs – показатель селекционной ценности сорта [40]. Отметим, что основная доля вариантов представлена в таблице 2 результатами, полученными за 3 года выращивания растений в одном экологическом пункте. Среднее количество образцов в каждом варианте равно 11, размах составляет от 5 до 24 образцов.

Корреляционная связь между средними значениями селекционных признаков образцов зерновых культур и уровнями их экологической стабильности по этим признакам

Селекционный признак	Культура	Значения коэффициентов корреляции для показателей стабильности				Источник литературы
		Ном	ПУСС	SF	Cs	
Урожайность	Пшеница	-0,58**	0,31	-0,73**	-0,20	***
	Ячмень	0,14	0,84**	-0,40	0,58**	***
	Овес	0,41	0,49**	0,52**	0,13	***
Продолжительность вегетации	Пшеница	0,53**	0,72**	0,55**	0,90**	[15], ***
	Ячмень	0,51**	0,68**	0,58**	0,87**	[16]
	Овес	0,39	0,58**	0,38	0,77**	[16]
Масса 1000 зерен	Пшеница	0,03	0,39	0,01	0,73**	[15]
	Ячмень пл.	0,22	0,40	0,26	0,91**	[17]
	Ячмень гол.	0,29	0,72**	0,40	0,96**	[25]
	Овес пл.	0,29	0,27	0,10	0,87**	[20]
		–	0,78	–	–	[21], ***
	Овес гол.	0,88	0,92**	0,97**	0,89**	[20]
Рожь	–	0,52	–	–	[23], ***	
Натура	Ячмень пл.	-0,44	-0,26	-0,54	0,32	***
	Ячмень гол.	0,23	0,33	0,39	0,80	***
	Рожь	–	–	-0,50**	–	[22]
	Овес пл.	0,44	0,40	0,05	0,44	[20]
	Овес гол.	-0,02	0,41	0,41	0,62	[20]
Пленчатость	Ячмень пл.	0,64	0,83	0,37	0,93**	***
	Овес пл.	0,51	0,64	0,27	0,70	***
Плотность	Ячмень пл.	-0,42	-0,15	-0,65**	-0,18	***
Содержание β-глюканов	Ячмень пл.	-0,09	0,24	0,29	0,64	[24]
	Ячмень гол.	0,50	0,66	0,14	0,85**	[25]
	Овес пл.	-0,09	-0,05	-0,67	0,50	[20]
	Овес гол.	-0,11	-0,04	-0,16	0,56	[20]
Суммарное содержание антиоксидантов	Пшеница	0,15	0,55	-0,24	0,97**	***
	Ячмень пл.	0,07	0,49	0,30	0,81**	[18]
	Овес пл.	0,30	0,51	0,46	0,81	***
Содержание белка	Ячмень пл.	0,99**	0,99**	0,33	0,69	[29]
	Ячмень гол.	0,99**	1,00**	0,62	0,90**	[29]
	Овес пл.	-0,10	-0,10	-0,18	0,74	[13]
	Овес гол.	-0,05	0,19	-0,12	0,60	[13]
Содержание масла	Ячмень пл.	0,08	0,24	0,19	0,68**	[35]
	Овес пл.	-0,49	-0,44	-0,77	0,59	[20]
	Овес гол.	-0,28	-0,48	0,09	0,63	[20]
Содержание крахмала	Рожь	–	–	-0,48**	–	[22]
Содержание кальция	Ячмень пл.	0,01	0,90**	0,14	0,78	[39]
	Овес пл.	0,77	0,85	0,69	0,84	[39]
Содержание фосфора	Ячмень пл.	-0,09	0,02	-0,43	-0,04	[39]
	Овес пл.	0,88	0,88	0,47	0,82	[39]

*пл. – пленчатый образец; гол. – голозерный образец; ** – значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$; *** – собственные неопубликованные данные.

Как следует из таблицы 2, при учете признаков, описывающих урожайность, между исследуемыми показателями ячменя и овса прослеживалась положительная существенная корреляционная связь. В литературе приведены результаты, дающие косвенное подтверждение повышению величины урожайности образцов ячменя при их селекции на повышенный уровень стабильности по указанному признаку [12]. В случае с пшеницей в таблице 2 зафиксирован противоположный результат, а именно – отрицательная, в том числе существенная для двух показателей, корреляционная связь между средней величиной урожайности образцов и уровнем их стабильности по этому признаку. Аналогичные данные по пшенице были опубликованы в литературе другими авторами [43].

Что касается связи степени выраженности признака «продолжительность вегетационного периода» и уровня его стабильности, то результат получен для всех культур практически одинаковый: положительная существенная корреляционная связь между изучаемыми показателями.

Все это означает, что в случае выполнения отбора образцов ячменя и овса на повышенную продуктивность или трех культур на позднеспелость либо перехода с целью практического их возделывания на сорта с указанными свойствами величина стабильности образцов по урожайности и продолжительности вегетационного периода снижаться не будет. Более того, станет прослеживаться рост стабильности образцов по этим селекционным признакам.

В случае анализа данных по трем физическим параметрам зерна (масса 1000 зерен, натура и пленчатость), приведенным в таблице 2, можно заметить, что между изучаемыми показателями отмечалась в основном позитивная связь. При этом у признака массы 1000 зерен по показателю «селекционная ценность» сорта Cs она была существенной для всех культур. Указанный результат может свидетельствовать о том, что отбор образцов на повышенное значение крупности и натуры зерна, по-видимому, станет сопровождаться увеличением уровня их стабильности по данным признакам. Исключение составили образцы ржи и пленчатых образцов ячменя по признаку натуры зерна, для которых зафиксированы отрицательные корреляционные связи.

Что касается признака «плотность» зерна, исследованного на образцах пленчатого ячме-

ня, то корреляция между его средними значениями и всеми показателями стабильности по этому признаку зарегистрирована отрицательная, низкая и средняя, но существенная для показателя фактора стабильности SF. Последнее может говорить о том, что селекция образцов ячменя на повышенную плотность зерна будет сцеплена со снижением уровня их стабильности по указанному признаку.

Анализ данных в таблице 2 показывает, что для химических параметров зерна между исследуемыми показателями прослеживалась главным образом положительная связь, кроме содержания β -глюканов, белка и масла у образцов овса, концентрации фосфора у ячменя и крахмала у ржи. Выявление результатов позитивной корреляции между средними значениями параметров зерна образцов и уровнями их стабильности по этим признакам может означать, что при отборе на повышенное содержание указанных ценных веществ в зерне либо использовании сортов с указанными свойствами уровень стабильности образцов по содержанию таких веществ снижаться не будет. Более того, при наличии статистически доказанной корреляции, как, например, для показателя Cs селекционной ценности сорта по концентрации β -глюканов, белка и масла у ячменя, суммарного содержания антиоксидантов у пшеницы и ячменя, одновременно будет прослеживаться рост стабильности образцов по этим химическим признакам. Из регистрации данных отрицательной корреляционной связи у образцов овса для содержания β -глюканов, белка, масла, фосфора у ячменя, а также крахмала у ржи может следовать, что при проведении селекции образцов на повышенное содержание перечисленных веществ в зерне существует определенный риск снижения их стабильности по концентрации указанных химических соединений.

Описание косвенных подходов к оценке стабильности образцов по физическим и химическим признакам зерна

Отметим, что определение уровня стабильности образцов по перечисленным выше химическим признакам зерна, в силу необходимости проведения для этого прямого лабораторного анализа их содержания, является довольно трудоемким и весьма затратным процессом. Поэтому данную технологическую процедуру целесообразно упростить и удешевить. Одним из путей решения задачи может быть переход на кос-

венную оценку уровня стабильности образцов по химическому признаку на основании статистически доказанной связи с величиной его стабильности по другому, гораздо легче измеряемому признаку, например массе 1000 зерен.

В таблице 3 представлены результаты вычисления корреляционной связи между одноименными показателями стабильности образцов пшеницы, ячменя, овса по химическим параметрам зерна и таковыми по массе 1000 зерен. Можно видеть, что у большинства вариантов почти по всем показателям стабильности между

изучаемыми величинами отмечалась отрицательная связь. Полученные данные могут означать, что при более высоком уровне стабильности образца по массе 1000 зерен он будет обладать меньшей стабильностью по соответствующему химическому признаку. У трети представленных в таблице 3 вариантов, напротив, наблюдалась положительная связь между исследуемыми величинами, что говорит о противоположном эффекте, т.е. наличии повышенной стабильности образца по химическому признаку в случае таковой по массе 1000 зерен.

Таблица 3

Корреляционная связь между одноименными показателями экологической стабильности образцов пшеницы, ячменя, овса по химическим параметрам зерна и таковыми по массе 1000 зерен

Параметр зерна	Культура	Значения коэффициентов корреляции для показателей стабильности				Источник литературы
		Ном	ПУСС	SF	Cs	
Содержание β-глюканов	Ячмень пл.*	0,03	0,08	0,07	0,45	[25]
	Ячмень гол.*	0,75**	0,86**	0,24	0,65	[26]
	Овес пл.	-0,13	-0,16	-0,05	0,28	[20]
	Овес гол.	-0,41	-0,39	-0,65	-0,07	[20]
Суммарное содержание антиоксидантов	Пшеница	0,894**	0,957**	0,586	0,72	***
	Ячмень пл.	-0,02	-0,19	-0,32	-0,61	[18]
	Овес пл.	-0,49	-0,39	-0,54	-0,30	***
Содержание белка	Ячмень пл.	-0,14	-0,14	0,03	0,35	[29]
	Ячмень гол.	-0,15	-0,02	0,03	0,57	[29]
	Овес пл.	-0,21	-0,08	-0,36	-0,02	[13]
	Овес гол.	0,96**	0,99**	0,96**	0,88**	[13]
Содержание масла	Ячмень пл.	-0,07	-0,07	-0,03	-0,21	[37]
	Овес пл.	-0,20	-0,01	-0,16	0,18	[20]
	Овес гол.	-0,50	-0,56	-0,64	-0,80	[20]
Содержание кальция	Ячмень пл.	0,73	0,59	0,87	0,75	[39]
	Овес пл.	0,67	0,54	0,79	0,89**	[39]
Содержание фосфора	Ячмень пл.	-0,41	-0,36	-0,14	-0,01	[39]
	Овес пл.	-0,26	-0,34	-0,97**	-0,93**	[39]

*пл. – пленчатый образец; гол. – голозерный образец; ** – значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$; *** – собственные неопубликованные данные.

При этом обнаружение статистической существенности описываемой корреляционной связи у какого-либо показателя стабильности (независимо от математического знака) в принципе позволяет последнему быть использованным для выполнения косвенной оценки образцов на уровень стабильности по соответствующему химическому признаку на основании вычисления такового по массе 1000 зерен. Как видно из таблицы 3, к показателям стабильности, которые способны для этого применяться, относятся Ном и

ПУСС для оценки образцов пшеницы на стабильность по суммарному содержанию антиоксидантов в зерне, образцов голозерного ячменя для оценки на стабильность по содержанию β-глюканов, а также образцов голозерного овса для оценки на стабильность по содержанию белка в зерне. Оценка образцов пленчатого овса на стабильность по концентрации кальция и фосфора в зерне возможна на основании вычисления их стабильности по массе 1000 зерен с помощью параметров SF и Cs.

Заключение. Таким образом, на основании изучения современной научной литературы рассмотрены результаты выполненной оценки экологической стабильности образцов основных зерновых культур по продукционным характеристикам и физико-химическим признакам зерна. Как итог, в работе приведены названия образцов пшеницы, ячменя, овса и ржи с максимальным уровнем стабильности по ряду ценных селекционных признаков; проанализированы найденные корреляционные связи между величиной экологической стабильности образцов по ряду признаков и фенотипической выраженностью последних; описан подход к косвенной оценке стабильности образцов по биохимическому качеству зерна.

Для ячменя и овса продемонстрировано наличие существенной положительной, а для пшеницы отрицательной связи между средней урожайностью образцов и уровнем их стабильности по этому признаку. Установлено, что выраженность признаков «продолжительность вегетационного периода», «масса 1000 зерен» и «пленчатость» образцов всех исследованных культур позитивно коррелировала с уровнями их стабильности по ним. Между средними величинами природы образцов овса и голозерного ячменя, с одной стороны, и уровнями их стабильности по данному физическому признаку, с другой, найдена позитивная, а для пленчатого ячменя и ржи негативная связь. Показано, что значение плотности зерна образцов ячменя отрицательно коррелировало с величиной их стабильности по указанному признаку.

Предполагается, что использование для выращивания сортов ячменя с повышенным уровнем β -глюканов, белка, масла и кальция в зерне, а также пшеницы и овса с таковым значением суммарного содержания антиоксидантов (ССА), либо проведение отбора образцов на указанные биохимические признаки не будет сопровождаться снижением величины их стабильности по содержанию перечисленных веществ в зерне. При этом существует риск снижения уровня стабильности образцов овса по концентрации β -глюканов, белка и масла в зерне, а также образцов ржи по содержанию крахмала в случае повышенного значения данных химических соединений в зерне.

Статистически доказано, что на основании данных о величине стабильности образцов по массе 1000 зерен возможно выполнение непогрешающей косвенной их оценки на экологиче-

скую стабильность по значению ССА в зерне пшеницы, содержанию β -глюканов в голозерном ячмене, концентрации белка в голозерном овсе с помощью параметров *Нom* и ПУСС. Кроме того, с использованием показателей SF и Cs возможна оценка образцов пленчатого овса на стабильность по концентрации кальция и фосфора в зерне по результатам вычисления их стабильности по массе 1000 зерен.

Список источников

1. *Loskutov I.G., Khlestkina E.K.* Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // *Plants*. 2021. Vol. 10. № 1. P. 86–92.
2. Opinion Exploiting genomics to improve the benefits of wheat: Prospects and limitations / *P.R. Shewry [et al.]* // *Journal of Cereal Science*. 2022. Vol. 105. P. 103444.
3. *Wang Y., Frei M.* Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011. Vol. 141. P. 271–286.
4. *Корзун О.С., Бруйло А.С.* Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: учеб. пособие. Гродно: Изд-во ГГАУ, 2011. 140 с.
5. *Жученко А.А.* Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца, 1988. 768 с.
6. *Голева Г.Г.* Изучение продуктивности и ее элементов сортов озимой пшеницы (*Tr. aestivum*) при селекции на гомеостатичность в условиях Центрального Черноземья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / ВНИИ сахарной свеклы и сахара. Рамонь, 1997. 18 с.
7. *Гладышева О.В., Левакова О.В., Анохин Н.П.* Урожайность, экологическая стабильность и пластичность сортов озимой пшеницы в Рязанской области // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2017. № 2. С. 22–24.
8. *Мозговой С.М., Пантюхов В.П., Келер В.В.* Экологическая пластичность сортов яровой пшеницы в лесостепи Красноярского края // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 9. С. 121–128.
9. *Никитина В.И., Федосенко Д.Ф.* Оценка образцов яровой мягкой пшеницы сибирской селекции по адаптивности в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 1. С. 47–52.
10. *Левакова О.В.* Селекционная работа по созданию адаптированных к Нечернозем-

- ной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1 (73). С. 14–19.
11. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата / *О.А. Юсова* [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181, Вып. 4. С. 44–55.
 12. *Тетяников Н.В., Боме Н.А.* Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182, Вып. 3. С. 63–73.
 13. *Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В.* Адаптивность образцов овса по величине урожая и содержанию белка в зерне в условиях Восточной Сибири // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022. Вып. 2. С. 119–126.
 14. *Сафонова И.В., Аниськов Н.И.* Вариабельность адаптивных реакций диплоидных сортов озимой ржи в экологическом изучении // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 3. С. 53–61.
 15. *Полонский В.И., Сумина А.В., Количенко А.А.* Адаптивность образцов яровой пшеницы по элементам продуктивности в условиях Приенисейской Сибири // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 3. С. 30–37.
 16. *Полонский В.И., Сумина А.В.* Адаптивность образцов ячменя и овса по продолжительности вегетационного периода в Восточной Сибири // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. Вып. 4. С. 55–60.
 17. Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна / *В.И. Полонский* [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Вып. 184 (2). С. 1–14.
 18. *Полонский В.И., Сумина А.В.* Оценка образцов ячменя по содержанию антиоксидантов в зерне в условиях Восточной Сибири // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84, № 2. С. 162–169.
 19. Assessment of Varieties of Spring Barley of Selection of Omsk Agrarian Research Center for Adaptivity of Mass of 1000 Grains in International scientific and practical conference “AgroSMART – Smart solutions for agriculture” / *P.N. Nikolaev* [et al.] // *KnE Life Sciences*. 2019. P. 1232–1241.
 20. Адаптивный потенциал образцов овса по химическим и физическим характеристикам зерна / *В.И. Полонский* [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183. Вып. 1. С. 9–27.
 21. *Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И.* Пластичность и стабильность ярового овса по урожайности и массе 1000 зерен // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 4. С. 37–44.
 22. Оценка экологической устойчивости, стабильности и пластичности сортов озимой ржи по признакам качества зерна / *А.А. Гончаренко* [и др.] // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 3–9.
 23. *Аниськов Н.И., Сафонова И.В.* Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен» // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181, Вып. 3. С. 56–63.
 24. *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.
 25. Adaptability of Naked Barley Accessions in Terms of the Content of β-Glucans in Grain and Its Size in the Conditions of Eastern Siberia / *V.I. Polonskiy* [et al.] // *Russian Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 48. № 5. P. 328–333.
 26. *Choi H., Esser A., Murphy K.M.* Genotype × environment interaction and stability of β-glucan content in barley in the Palouse Region of Eastern Washington // *Crop Science*. 2020. Vol. 60. № 9. P. 2500–2510.
 27. Результаты изучения мировой коллекции голозерного ячменя по показателям качества зерна в условиях юга Ростовской области / *Э.С. Дорошенко* [и др.] // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 6 (72). С. 84–94.
 28. *Келер В.В.* Варьирование содержания количества клейковины в зерне мягкой яровой пшеницы под влиянием метеорологических условий Красноярского края // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 2. С. 58–62.
 29. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области / *О.А. Юсова* [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28.
 30. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона /

- И.Ю. Зайцева [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, вып. 4. С. 30–38.
31. Адаптивный потенциал сортов овса селекции Омского аграрного научного центра / П.Н. Николаев [и др.] // Вестник НГАУ. 2019. № 1 (50). С. 93–99.
 32. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях / О.А. Юсова [и др.] // Вестник НГАУ. 2020. № 2 (55). С. 84–96.
 33. Анализ сортов овса омской селекции по сбору белка с единицы площади / О.А. Юсова [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2020. № 6 (197). С. 38–48.
 34. Аниськов И.А., Сафонова И.В. Содержание белка и уровень пластичности, стабильности, гомеостатичности коллекционных образцов ржи в условиях Северо-Западного региона // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3. С. 64–70.
 35. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Адаптивность образцов ячменя по содержанию жира в зерне в условиях Красноярской лесостепи // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18, № 2. С. 153–162.
 36. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Оценка образцов ячменя на адаптивность по содержанию масла в зерне в условиях Хакасии // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 148–155.
 37. Качество зерна сортов ярового овса селекции Омского аграрного научного центра / О.А. Юсова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (185). С. 81–91.
 38. Особенности формирования масличности у сортов ярового овса в резко континентальных климатических условиях / О.А. Юсова [и др.] // Вестник НГАУ. 2020. № 3 (56). С. 86–93.
 39. Полонский В.И., Сумина А.В. Адаптивность ячменя и овса по содержанию кальция и фосфора в зерне в условиях Восточной Сибири // Проблемы развития АПК региона. 2023. № 2 (54). С. 85–91.
 40. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1981. № 1. С. 8–14.
 41. 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.
 42. Lewis D. Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability // Heredity. 1954. Vol. 8, № 2. P. 333–356.
 43. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat / Y.-L. Du [et al.] // Field Crops Research. 2020. Vol. 257. № 10. P. 107930.

References

1. Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // Plants. 2021. Vol. 10. № 1. P. 86–92.
2. Opinion Exploiting genomics to improve the benefits of wheat: Prospects and limitations / P.R. Shewry [et al.] // Journal of Cereal Science. 2022. Vol. 105. P. 103444.
3. Wang Y., Frei M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2011. Vol. 141. P. 271–286.
4. Korzun O.S., Brujlo A.S. Adaptivnye osobennosti selekcii i semenovodstva sel'skohozyajstvennyh rastenij: ucheb. posobie. Grodno: Izd-vo GGAU, 2011. 140 s.
5. Zhuchenko A.A. Adaptivnyj potencial kul'turnyh rastenij (`ekologo-geneticheskie osnovy). Kishinev: Shtiinca, 1988. 768 s.
6. Goleva G.G. Izuchenie produktivnosti i ee `elementov sortov ozimoj pshenicy (*Tr. aestivum*) pri selekcii na gomeostaticnost' v usloviyah Central'nogo Chernozem'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk / VNIИ saharnoj svekly i sahara. Ramon', 1997. 18 s.
7. Gladysheva O.V., Levakova O.V., Anohin N.P. Urozhajnost', `ekologicheskaya stabil'nost' i plastichnost' sortov ozimoj pshenicy v Ryazanskoj oblasti // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2017. № 2. S. 22–24.
8. Mozgovej S.M., Pantyuhov V.P., Keler V.V. `Ekologicheskaya plastichnost' sortov yarovoj pshenicy v lesostepi Krasnoyarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. 2020. № 9. S. 121–128.
9. Nikitina V.I., Fedosenko D.F. Ocenka obrazcov yarovoj myagkoj pshenicy sibirskoj selekcii

- po adaptivnosti v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi // Vestnik KrasGAU. 2020. № 1. S. 47–52.
10. Levakova O.V. Selekcionnaya rabota po sozdaniyu adaptirovannyh k Nechernozemnoj zone RF sortov yarovogo yachmenya i perspektivy razvitiya dannoj kul'tury v Ryazanskoj oblasti // Zemnoe hozyajstvo Rossii. 2021. № 1 (73). S. 14–19.
 11. Stressoustojchivost' sortov yachmenya razlichnogo agro'ekologicheskogo proishozhdeniya dlya uslovij rezko kontinental'nogo klimata / O.A. Yusova [i dr.] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020. T. 181, Vyp. 4. S. 44–55.
 12. Tetyannikov N.V., Bome N.A. Analiz vzaimodejstviya «genotip × sreda» i ocenka adaptive-nogo potenciala yachmenya v usloviyah Severnogo Zaural'ya // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2021. T. 182, Vyp. 3. S. 63–73.
 13. Polonskij V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V. Adaptivnost' obrazcov ovsa po velichine urozhaya i sodержaniyu belka v zerne v usloviyah Vostochnoj Sibiri // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2022. Vyp. 2. S. 119–126.
 14. Safonova I.V., Anis'kov N.I. Variabel'nost' adaptivnyh reakcij diploidnyh sortov ozimoy rzhi v `ekologicheskom izuchenii // Vestnik KrasGAU. 2022. № 3. S. 53–61.
 15. Polonskij V.I., Sumina A.V., Kolichenko A.A. Adaptivnost' obrazcov yarovoj pshe-nicy po `elementam produktivnosti v usloviyah Prienisejskoj Sibiri // Vestnik KrasGAU. 2022. № 3. S. 30–37.
 16. Polonskij V.I., Sumina A.V. Adaptivnost' obrazcov yachmenya i ovsa po prodolzhi-tel'nosti vegetacionnogo perioda v Vostochnoj Sibiri // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. Vyp. 4. S. 55–60.
 17. Povyshennaya stabil'nost' obrazcov ovsa, yachmenya i pshe-nicy po masse 1000 zeren ne svyazana s men'shej krupnost'yu zerna / V.I. Polonskij [i dr.] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2023. Vyp. 184 (2). S. 1–14.
 18. Polonskij V.I., Sumina A.V. Ocenka obrazcov yachmenya po sodержaniyu antioksidantov v zerne v usloviyah Vostochnoj Sibiri // Vestnik VGUIT. 2022. T. 84, № 2. S. 162–169.
 19. Assessment of Varieties of Spring Barley of Selection of Omsk Agrarian Research Center for Adaptivity of Mass of 1000 Grains in Interna-tional scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture" / P.N. Nikolaev [et al.] // KnE Life Sciences. 2019. P. 1232–1241.
 20. Adaptivnyj potencial obrazcov ovsa po himicheskim i fizicheskim karakteristikam zerna / V.I. Polonskij [i dr.] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2022. T. 183. Vyp. 1. S. 9–27.
 21. Bajkalova L.P., Serebrennikov Yu.I. Plastichnost' i stabil'nost' yarovogo ovsa po urozhajnosti i masse 1000 zeren // Vestnik KrasGAU. 2020. № 4. S. 37–44.
 22. Ocenka `ekologicheskoy ustojchivosti, stabil'nosti i plastichnosti sortov ozimoy rzhi po priznakam kachestva zerna / A.A. Goncharenko [i dr.] // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. 2020. № 4. S. 3–9.
 23. Anis'kov N.I., Safonova I.V. Sravnitel'naya ocenka pokazatelej plastichnosti, stabil'nosti i gomeostatichnosti sortov ozimoy rzhi selekcii VIR po priznaku «massa 1000 zeren» // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020. T. 181, Vyp. 3. S. 56–63.
 24. Polonskij V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V. Plastichnost' i stabil'nost' obrazcov plenchatogo yachmenya po sodержaniyu β-glyukanov v zerne i ego krupnosti v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi // Vestnik KrasGAU. 2022. № 4. S. 53–61.
 25. Adaptability of Naked Barley Accessions in Terms of the Content of β-Glucans in Grain and Its Size in the Conditions of Eastern Siberia / V.I. Polonskiy [et al.] // Russian Agricultural Sciences. 2022. Vol. 48. № 5. P. 328–333.
 26. Choi H., Esser A., Murphy K.M. Genotype × environment interaction and stability of β-glu-can content in barley in the Palouse Region of Eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60. № 9. P. 2500–2510.
 27. Rezul'taty izucheniya mirovoj kollekcii golozer-nogo yachmenya po pokazatelyam kachestva zerna v usloviyah yuga Rostovskoj oblasti / `E.S. Doroshenko [i dr.] // Zemnoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 6 (72). S. 84–94.
 28. Keler V.V. Var'irovanie sodержaniya kuliches-tva klejkoviny v zerne myagkoj yarovoj pshe-nicy pod vliyaniem meteorologicheskikh uslovij Krasnoyarskogo kraja // Vestnik KrasGAU. 2020. № 2. S. 58–62.
 29. Adaptivnost' sortov yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» v usloviyah lesostepi Omskoj oblasti / O.A. Yusova [i dr.] // Dosti-

- zheniya nauki i tehniki APK. 2020. T. 34, № 2. S. 24–28.
30. Adaptivnost' vysokobelkovykh genotipov yachmenya v usloviyah Volgo-Vyatskogo regiona / *I.Yu. Zajceva* [i dr.] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2022. T. 183, vyp. 4. S. 30–38.
 31. Adaptivnyj potencial sortov ovsa selekcii Omskogo agrarnogo nauchnogo centra / *P.N. Nikolaev* [i dr.] // Vestnik NGAU. 2019. № 1 (50). S. 93–99.
 32. Uroven' kachestva zerna omskih sortov ovsa yarovogo v kontrastnykh `ekologicheskikh usloviyah / *O.A. Yusova* [i dr.] // Vestnik NGAU. 2020. № 2 (55). S. 84–96.
 33. Analiz sortov ovsa omskoj selekcii po sboru belka s edinicy ploschadi / *O.A. Yusova* [i dr.] // Agrarnyj vestnik Urala. 2020. № 6 (197). S. 38–48.
 34. *Anis'kov I.A., Safonova I.V.* Soderzhanie belka i uroven' plastichnosti, stabil'nosti, gomeostatichnosti kollekcionnykh obrazcov rzhi v usloviyah Severo-Zapadnogo regiona // Vestnik KrasGAU. 2021. № 3. S. 64–70.
 35. *Polonskij V.I., Sumina A.V., Gerasimov S.A.* Adaptivnost' obrazcov yachmenya po sodержaniyu zhira v zerne v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Ser.: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2023. T. 18, № 2. C. 153–162.
 36. *Polonskij V.I., Sumina A.V., Gerasimov S.A.* Ocenka obrazcov yachmenya na adaptivnost' po sodержaniyu masla v zerne v usloviyah Hakasii // Vestnik KrasGAU. 2022. № 6. S. 148–155.
 37. Kachestvo zerna sortov yarovogo ovsa selekcii Omskogo agrarnogo nauchnogo centra / *O.A. Yusova* [i dr.] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 3 (185). S. 81–91.
 38. Osobennosti formirovaniya maslichnosti u sortov yarovogo ovsa v rezko kontinental'nykh klimaticeskikh usloviyah / *O.A. Yusova* [i dr.] // Vestnik NGAU. 2020. № 3 (56). S. 86–93.
 39. *Polonskij V.I., Sumina A.V.* Adaptivnost' yachmenya i ovsa po sodержaniyu kal'ciya i fosfora v zerne v usloviyah Vostochnoj Sibiri // Problemy razvitiya APK regiona. 2023. № 2 (54). S. 85–91.
 40. *Hangil'din V.V., Litvinenko N.A.* Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenicy // Nauchno-tehnicheskij byulleten' Vsesoyuznogo selekcionno-geneticheskogo instituta. 1981. № 1. C. 8–14.
 41. *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. C. 66–73.
 42. *Lewis D.* Gene-Environment Interaction: a Relationship Between Dominance, Heterosis, Phenotypic Stability and Variability // Heredity. 1954. Vol. 8, № 2. P. 333–356.
 43. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat / *Y.-L. Du* [et al.] // Field Crops Research. 2020. Vol. 257. № 10. P. 107930.

Статья принята к публикации 10.07.2023 / The article accepted for publication 10.07.2023.

Информация об авторах:

Вадим Игоревич Полонский¹, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, доктор биологических наук, профессор

Алена Владимировна Сумина², доцент кафедры химии и геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Information about the authors:

Vadim Igorevich Polonsky¹, Professor at the Department of Landscape Architecture and Botany, Doctor of Biological Sciences, Professor

Alena Vladimirovna Sumina², Associate Professor at the Department of Chemistry and Geoecology, Candidate of Agricultural Sciences, Docent