

# Засухоустойчивый генофонд твердой яровой пшеницы, идентифицированный в многолетних испытаниях питомников казахстанско-сибирской селекции пшеницы

М.Г. Евдокимов<sup>1</sup>, В.С. Юсов<sup>1</sup> , А.И. Моргунов<sup>2</sup>, Ю.И. Зеленский<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Омск, Россия


<sup>2</sup> Представительство Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы в Центральной Азии и Закавказье (CIMMYT), Анкара, Турция

<sup>3</sup> Представительство Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы в Центральной Азии и Закавказье (CIMMYT), Астана, Казахстан

В условиях Западной Сибири и Северного Казахстана в течение вегетационного периода часто проявляются засухи различных видов. В связи с этим большое значение имеют сорта, адаптивные к климатическим зонам, с повышенной засухоустойчивостью и высокой стабильностью. Эффективность и скорость селекции по этим направлениям зависят от количества информации, характеризующей генотипы, поступающей в каждом цикле исследований. Увеличение такого «потока» информации за один год достигается системной организацией сортоиспытаний по экологическим пунктам, различающимся динамикой и стрессовой нагрузкой метеофакторов. Основная цель работы заключается в следующем: с использованием результатов экологических испытаний в системе КАСИБ (Казахстанско-Сибирская сеть по селекции яровой пшеницы) дифференцировать селекционный материал научных учреждений Сибири и Казахстана и сформировать исходный материал по засухоустойчивости. На протяжении 2000–2015 гг. проведено изучение генофонда яровой твердой пшеницы КАСИБ в экологических пунктах Казахстана и России. Отмечен прогресс в селекции яровой твердой пшеницы в селекционных учреждениях России и Казахстана. Выделены генотипы, представляющие интерес по засухоустойчивости, урожайности и ее стабильности и пластичности при создании сортов в условиях Казахстана и Сибири. Для практической селекции на засухоустойчивость рекомендуются сорта и линии твердой пшеницы – 383-МС, 452-МС, Каргала 303, Каргала 447, Каргала 24, Каргала 1515/06, Каргала 1516/06, Каргала 69, Каргала 1538, Каргала 1540, Каргала 1539, Каргала 1671, Каргала 1411 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 91-25-5, Гордеиформе 91-22-2, Жемчужина Сибири, Гордеиформе 94-94-13, Гордеиформе 98-42-1, Гордеиформе 01-121-3, Гордеиформе 02-156-1 (Сибирский НИИСХ), Алтын шығыс, Алтын дала, линия Г1549 (Карабалыкская СХОС), Гордеиформе 373, Гордеиформе 627 (Алтайский НИИСХ), 17394, 18053, Наурыз-6 (Казахский научно-производственный центр земледелия и растениеводства), Коллективная 2, ТС-15 (Курганский НИИСХ), линия 653д-4 (Самарский НИИСХ).

Ключевые слова: сорт; линия; генофонд; засухоустойчивость; стабильность; адаптивность.

## Drought tolerance gene pool in developing adaptive varieties of durum wheat identified in study nurseries under the Kazakhstan-Siberian program

M.G. Evdokimov<sup>1</sup>, V.S. Yusov<sup>1</sup> , A.I. Morgounov<sup>2</sup>, Yu.I. Zelensky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Siberian Agricultural Research Institute, Omsk, Russia

<sup>2</sup> International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Ankara, Turkey

<sup>3</sup> International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Astana, Kazakhstan

Drought during the wheat vegetative period happens often in West Siberia and Kazakhstan condition. For this reason, varieties with adaptation to climatic zones, drought tolerance and high stability have high importance. The breeding efficiency and rates depend on the amount of information on genotypes in every study cycle. The aim of this study was to screen breeding material in Siberian and Kazakhstan research institutes from KASIB nurseries for drought tolerance and to develop a drought tolerant pool. For the evaluation of genotypes, it is necessary to study them in diverse condition. The basic purpose of the present work is to study breeding material of durum wheat from KASIB institutions at different ecological sites. In 2000–2015, durum wheat entries in the Kazakhstan-Siberian program were studied. Progress in durum wheat breeding was tested in Russian and Kazakhstan institutes. Entries were screened for drought tolerance, yield and yield stability. They have value for including in hybridization for developing varieties with adaptation to Siberian and Kazakhstan conditions. The following varieties and lines are recommended for breeding for drought tolerance: 383-MS, 452-MS, Kargala 303, Kargala 447, Kargala 24, Kargala 1515/06, Kargala 1516/06, Kargala 69, Kargala 1538, Kargala 1540, Kargala 1539, Kargala 1671, Kargala 1411 (Aktubinsk Agricultural Experimental Station), Hordeiforme 91-25-5, Hordeiforme 91-22-2, Jemthujina Sibiri, Hordeiforme 94-94-13, Hordeiforme 98-42-1, Hordeiforme 01-121-3, Hordeiforme 02-156-1 (Siberian

Research Agricultural Institute), Altin schigis, Altin dala, Line Г1549 (Karabalyk Experimental Station), Hordeiforme 373, Hordeiforme 627 (Altai Research Agricultural Institute), 17394, 18053, Nauriz-6 (Kazakh Research-Production Center of Agriculture and Plant Growing), Kollektivnaya 2, TC-15 (Kurgan Research Agricultural Institute), Line 653d-4 (Samara Research Agricultural Institute).

Key words: variety; line; gene pool; drought tolerance; stability; adaptivity.

#### КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Моргунов А.И., Зеленский Ю.И. Засухоустойчивый генофонд твердой яровой пшеницы, идентифицированный в многолетних испытаниях питомников казахстанско-сибирской селекции пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(5):515-522. DOI 10.18699/VJ17.23-0

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Evdokimov M.G., Yusov V.S., Morgounov A.I., Zelensky Yu.I. Drought tolerance gene pool in developing adaptive varieties of durum wheat identified in study nurseries under the Kazakhstan-Siberian program. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(5):515-522. DOI 10.18699/VJ17.23-0 (in Russian)

Основная задача зернопроизводителей – получение высокой и стабильной урожайности. Однако в условиях Сибири и Северного Казахстана в течение вегетационного периода часто проявляются засухи различного вида, которые вносят существенные коррективы в производство зерна пшеницы. Наблюдаются как почвенные, так и воздушные типы засухи с преобладанием почвенных, а в отдельные годы возможны оба вида засухи. При этом они чаще бывают в первой половине вегетации.

Существует множество физиологических методов диагностики засухоустойчивости растений, которые изложены в монографиях В.А. Кумакова (1980), П.А. Генкеля (1982), Г.В. Удовенко (1988). Разработан также целый ряд методов, используемых для оценки твердой пшеницы (Jaradat, Konzak, 1983; Ehdaie, Waines, 1988; Navaux et al., 1988; Clarke et al., 1989; Gumnuluri et al., 1989; Кожушко и др., 1990; Кубайли и др., 1990; Venora, Calcagno, 1991). Однако селекционеры при оценке засухоустойчивых генотипов чаще используют более доступные показатели. А.И. Грабовец и М.А. Фоменко (2016) считают, что масса зерна с единицы площади, уборочный индекс – наиболее объективные показатели адаптации генотипа к засухе. Полевая засухоустойчивость оценивается по степени снижения продуктивности в условиях засухи по сравнению с продуктивностью в благоприятных условиях (Головоченко, 2001; Янченко и др., 2004; Лепехов, Коробейников, 2013).

Наиболее распространенный метод создания адаптивных и засухоустойчивых сортов – гибридизация с использованием соответствующего исходного материала. Эффективность и скорость селекции по этим направлениям зависят от количества информации, характеризующей генотипы и поступающей в каждом цикле исследований. Увеличение такого «потока» информации за один год достигается системной организацией сортоиспытаний по экологическим пунктам, различающимся динамикой и стрессовой нагрузкой метеофакторов. В связи с этим в 1999 г. была создана Казахстанско-Сибирская сеть по селекции яровой пшеницы (КАСИБ). Основное назначение КАСИБ – повышение эффективности селекции яровой пшеницы в Северном Казахстане и Сибири путем обмена сортами, селекционным материалом, информацией при встречах, совещаниях, координированной оценке материала (Моргунов, 2003). Участники программы КАСИБ

по яровой твердой пшенице – Казахский НИИ зернового хозяйства им. А.А. Бараева (КазНПЦЗХ), Казахский научно-производственный центр земледелия и растениеводства (КазНПЦЗиР), Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция, Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Курганский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. Испытание селекционного материала во многих экологических точках позволило селекционерам Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы (СИММУТ) создать сорта, сочетающие высокий потенциал продуктивности с экологической пластичностью. Убедительные данные о возможности выведения высокоурожайных, отзывчивых на благоприятные условия сортов, адаптированных к засухе в маргинальных регионах, приводит S. Rajaram (2003). Результаты испытаний КАСИБ в условиях Западной Сибири показали, что по некоторым признакам выделяются формы, представляющие интерес в качестве исходного материала (Евдокимов и др., 2008). Основная цель нашей работы – при использовании результатов экологических испытаний в системе КАСИБ дифференцировать селекционный материал научных учреждений Сибири и Казахстана по засухоустойчивости и сформировать исходный материал по этому направлению. Новизна и уникальность исследований заключаются в том, что такое широкое экологическое испытание по твердой пшенице в России и Казахстане проведено впервые.

#### Материалы и методы

Изучены питомники КАСИБ, сформированные в 2000–2014 гг. (табл. 1). Сорта испытывали в различных почвенно-климатических условиях (в Российской Федерации – в Омской, Самарской, Курганской областях и Алтайском крае; в Республике Казахстан – в Целиноградской, Актюбинской, Костанайской, Алма-Атинской, Павлодарской, Карагандинской областях).

Исходный материал по программе КАСИБ изучали в соответствии с методическими указаниями ВИР (Методические указания..., 1999). Площадь делянок 2–3 м<sup>2</sup>. Повторность опыта 2–3-кратная. Исследовали комплекс

**Table 1.** Numbers of KASIB accessions studied

Nursery	Year of study	Number of accessions	Number of test sites
1 KASIB SDW	2000	23	5
2 KASIB SDW	2001	20	5
4–5 KASIB SDW	2003–2004	16	10; 11
6–7 KASIB SDW	2005–2006	17	8; 6
8–9 KASIB SDW	2007–2008	16	6; 5
10–11 KASIB SDW	2009–2010	18	5; 5
12–13 KASIB SDW	2011–2012	22	7; 7
14–15 KASIB SDW	2013–2014	22	7; 8

SDW, spring durum wheat.

хозяйственно ценных признаков, но в данной статье приводится один показатель – урожайность зерна. Математическую обработку полученных данных выполняли по Б.А. Доспехову (1973). Весь набор сортов был проверен на засухоустойчивость и адаптивность. Индекс засухоустойчивости рассчитывали по формуле Фишера и Маурера (цит. по: [Янченко и др., 2004]):

$$DSI = (1 - Y/Y_p) / (1 - X/X_p),$$

где  $DSI$  – индекс засухоустойчивости;  $Y$  – урожайность сорта в условиях стресса;  $Y_p$  – урожайность сорта без стресса;  $X$  – средняя урожайность по всем сортам при стрессе;  $X_p$  – средняя урожайность по всем сортам без стресса. Параметры экологической пластичности рассчитывали по S.A. Eberhart и W.A. Russel ((1966) в изложении: Зыкин и др., 1984).

### Результаты и обсуждение

Селекционный материал питомников КАСИБ изучен в различных почвенно-климатических зонах России и Казахстана. В табл. 2 показаны экологические пункты, в которых испытание проводилось не менее трех лет. Наиболее жесткие условия для возделывания твердой пшеницы сложились в Актобе (Казахстан), поскольку

средняя урожайность по всем питомникам была 15.9 ц/га. При двухлетнем испытании в Павлодаре она составляла 9.8–12.7, в Петропавловске – 14.6–15.9 ц/га. В условиях Барнаула она была равной 30.5 ц/га, Омска – 28.4 ц/га (Россия) Алматы – 29.2 ц/га (Казахстан). В остальных экологических точках – в пределах 26.3–27.2 ц/га.

В табл. 3 представлены наиболее урожайные (тройка лидеров) и самые засухоустойчивые сорта, имеющие наименьшие показатели индекса засухоустойчивости.

В питомнике КАСИБ 1 по средней урожайности во всех испытываемых пунктах в тройке лидеров были сорта Аметист, Гордеиформе 91-25-5 (Сибирский НИИСХ), линия 180022-1 (КазНПЦЗиР). Эти сорта высокопластичны и отзывчивы на улучшение условий среды (коэффициенты регрессии урожайности на индексы среды равны 1.31–1.53, по (Eberhart, Russel, 1966)). По индексу засухоустойчивости (0.76–0.83) выделились сорта 17394, 18053 селекции КазНПЦЗиР. Стабильность урожайности у них была выше, но по уровню урожайности они значительно уступали остальным сортам. К числу засухоустойчивых можно отнести сорт Омская янтарная (Сибирский НИИСХ). Гордеиформе 91-25-5, 17394, 18053, Омская янтарная имели показатели урожайности выше и в условиях стресса. Сорта алтайской селекции испыты-

**Table 2.** Yields of spring durum wheat in KASIB trials averaged over KASIB nurseries, metric centners/ha

Locality	KASIB								Mean
	1	2	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	
Aktobe		25.2	25.9	9.5	19.9	6.1	11.1	13.6	15.9
Karabalyk	31.6	39.9	18.4	37.1	23.9	25.7	30.7	7.4	26.8
Shortandy	28.5	31.9	20.8				26.9	23.3	26.3
Almaty			27.2	35.8		20.5	24.1	38.2	29.2
Barnaul		18.5	37.4	24.8	34.5	39.7	22.3	36.0	30.5
Omsk		31.4	32.4	21.7	33.7	25.1	32.2	22.3	28.4
Otar		45.3		17.2	19.2				27.2
Karaganda	42.0	19.1	18.9						26.6
LSD <sub>05</sub>	3.2	3.0	2.6	2.4	2.8	2.3	2.0	2.4	2.6

**Table 3.** The most productive and drought-tolerant varieties in KASIB nurseries

Variety/line	Yield, metric centners/ha			DSI	V, %	Bi	S <sup>2</sup> d
	average	stress	without stress				
KASIB 1							
Ametist	31.8	10.6	46.0	1.06	67.9	1.53	8.79
Hordeiforme 91-25-5	29.7	11.9	41.6	0.98	67.7	1.39	37.89
18022-1	28.5	10.5	40.5	1.02	65.1	1.31	9.37
17394	20.4	11.8	26.1	0.76	43.1	0.59	13.61
18053	22.6	11.8	29.8	0.83	46.4	0.74	4.95
Omskaya yantarnaya	27.7	12.1	38.0	0.94	56.4	1.07	24.39
KASIB 2							
Hordeiforme 430-88	33.5	13.8	47.9	1.51	59.7	1.60	14.78
Hordeiforme 242-93	35.7	17.0	48.3	1.38	52.9	1.54	31.40
Hordeiforme 127-89	34.1	18.4	44.2	1.24	44.3	1.26	14.86
383-MS	24.2	22.5	28.4	0.44	32.7	0.38	15.84
452-MS	28.1	22.5	34.4	0.73	44.9	0.63	104.9
Hordeiforme 91-22-2	27.8	20.4	32.5	0.79	35.8	0.80	23.59
KASIB 4–5							
Jemthujina Sibiri	26.4	19.1	34.7	0.95	33.93	1.15	15.60
Damsinnskaya yantarnaya	25.1	17.3	33.6	1.12	30.73	1.06	7.84
173/93-1	25.7	18.3	34.6	1.10	33.37	1.18	6.17
Kollektivnaya 2	22.7	18.9	26.7	0.64	24.48	0.73	4.02
TS-15	20.7	16.1	25.6	0.67	37.55	0.89	19.81
KASIB 6–7							
Hordeiforme 94-94-13	29.4	21.3	37.4	0.80	36.1	0.98	13.16
Subastrale 489	27.3	15.5	41.1	1.15	55.6	1.11	15.55
Kargala 303	26.9	21.5	33.3	0.66	37.9	0.76	39.35
Kargala 447	26.2	19.3	33.1	0.77	40.7	1.06	12.71
Kargala 24	24.7	18.2	32.2	0.81	42.2	0.94	11.02
KASIB 8–9							
Altyn schygys	28.4	17.1	34.9	0.85	34.8	0.82	10.45
Altyn dala	28.1	15.7	33.9	0.90	38.5	1.13	3.81
Nauryz 6	28.2	18.7	34.0	0.75	32.6	0.46	22.63
Kargala 1515/06	24.7	13.1	30.1	0.94	38.7	0.85	13.82
Kargala 1516/06	24.9	15.1	29.5	0.82	32.7	0.51	13.07
KASIB 10–11							
Hordeiforme 561	30.2	12.2	39.3	1.11	60.6	1.28	1.71
Hordeiforme 98-42-1	30.0	15.6	37.3	0.93	53.6	1.13	0.68
Hordeiforme 97-49-1	29.6	12.0	38.9	1.11	59.1	1.28	0.78
Kargala 69	26.1	13.9	32.5	0.78	51.5	0.91	7.80
Kargala 1538	24.7	14.6	30.5	0.84	47.9	0.87	38.94
Kargala 1540	26.8	14.4	32.7	0.90	49.3	0.88	1.56
KASIB 12–13							
688d-4	26.0	13.5	35.3	1.00	57.2	1.11	17.19
653d-44	25.6	14.6	33.8	0.92	54.2	1.05	8.29
Omskiy izumrud	25.4	13.2	34.6	1.00	54.3	1.04	8.34
Kargala 1538	24.4	14.0	32.2	0.92	56.3	1.01	18.83
Kargala 1539	24.1	13.4	32.1	0.94	54.6	0.98	15.04
Kargala 1671	22.5	12.8	29.8	0.93	55.5	0.94	9.47

## End of Table 3

Variety/line	Yield, metric centners/ha			DSI	V, %	Bi	S <sup>2</sup> d
	average	stress	without stress				
KASIB 14–15							
Hordeiforme 01-121-3	29.5	17.7	35.6	0.98	34.9	1.01	14.48
Hordeiforme 02-156-1	29.0	17.8	35.1	0.96	34.3	1.00	16.93
Hordeiforme 04-85-4	29.1	17.0	35.2	1.01	38.2	1.05	10.30
Kargala 1411	19.8	13.0	23.3	0.86	41.2	0.72	14.88
G1549	23.4	15.4	27.3	0.85	42.5	1.00	8.06
Hordeiforme 627	24.8	16.1	28.9	0.87	42.3	1.06	32.34

LSD<sub>05</sub> Siberian Research Institute of Agriculture: KASIB, metric centners/ha: 1 – 1.2; 2 – 2.5; 4–5 – 2.7; 6–7 – 2.8; 8–9 – 3.0; 10–11 – 2.2; 12–13 – 2.6; 14–15 – 2.0

DSI, drought sensitivity index; V, coefficient of variation; Bi, regression coefficient; S<sup>2</sup>d, variance of deviations.

вали только в двух пунктах, поэтому расчеты индексов и параметры стабильности по ним не проведены. Однако следует отметить, что при испытании в Павлодаре Гордеиформе 373 сформировал самый высокий урожай и его можно отнести к числу засухоустойчивых. Кроме того, у высокопродуктивного сорта Гордеиформе 91-25-5 индекс засухоустойчивости был ниже 1.00 и составил 0.98.

В КАСИБ 2 выделились по урожайности три образца селекции Карабалыкской СХОС: Гордеиформе 242-93, Гордеиформе 127-89, Гордеиформе 430-88 с высокой экологической пластичностью. К числу засухоустойчивых генотипов отнесены 383-МС, 452-МС (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 91-22-2 (Сибирский НИИСХ). Значения DSI: 0.44–0.79. Более стабильную урожайность формировали сорта 383-МС, Гордеиформе 91-22-2. Коэффициент вариации у них был 32.7–35.8%, при наивысшем значении, 59.7%, у Гордеиформе 430-88.

В условиях 2003–2004 гг. (КАСИБ 4–5) лучшими по продуктивности в этом питомнике были Жемчужина Сибири (Сибирский НИИСХ), Линия 173/93, Дамсинская янтарная (КазНПЦЗХ). Экологическая пластичность сорта Жемчужина Сибири, линии 173/93 выше, чем у других сортов, и характеризует большую широту нормы реакции и отзывчивость их на более благоприятный комплекс среды. Высокая пластичность сорта Жемчужина Сибири подтверждается в исследованиях П.Н. Мальчикова с коллегами (2016). Степень засухоустойчивости была выше у сортов Коллективная 2, ТС-15 (Курганская НИИСХ), Жемчужина Сибири (Сибирский НИИСХ). Наиболее стабильный сорт – Коллективная 2 ( $V = 24.5\%$ ,  $S^2d = 4.02$ ).

В КАСИБ 6–7 выделились по урожайности сорта Гордеиформе 94-94-13 (Сибирский НИИСХ), Субастрале 489 (Алтайский НИИСХ), Каргала 303 (Актюбинская СХОС). Однако только Субастрале 489 является пластичным сортом.

По индексу засухоустойчивости имели преимущество сорта Каргала 303, Каргала 447, Гордеиформе 94-94-13, Каргала 24. Необходимо отметить, что Гордеиформе 94-94-13, Каргала 303 удачно совмещают высокую продуктивность с засухоустойчивостью. Кроме того, это самые стабильные генотипы по урожайности ( $V = 36.1–37.9\%$  при максимальном значении в питомнике – 69.02%).

В КАСИБ 8–9 (2007–2008 гг.) наибольший урожай сформировали Алтын шыгыс, Алтын дала (Карабалыкская СХОС), Наурыз-6 (КазНПЦЗиР). Алтын дала сочетает высокую урожайность с пластичностью. Причем эти же сорта оказались засухоустойчивыми. Кроме них по засухоустойчивости выделились сорта Каргала 1515/06, Каргала 1516/06 (Актюбинская СХОС), но по средней урожайности они явно уступили лидерам в этом питомнике. Наименьшее варьирование по урожайности имели сорта Наурыз 6, Каргала 1516/06, Алтын шыгыс. В тройке лидеров по урожайности в КАСИБ 10–11 находились сорта Гордеиформе 561 (Алтайский НИИСХ), Гордеиформе 98-42-1, Гордеиформе 97-49-1 (Сибирский НИИСХ), сочетающие высокую пластичность со стабильностью, по параметрам S.A. Eberhart и W.A. Russel (1966). По степени засухоустойчивости преимущество имели сорта Каргала 69, Каргала 1538, Каргала 1540 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 98-42-1 (Сибирский НИИСХ).

Изучение генотипов в питомнике КАСИБ 12–13 показало, что наиболее урожайные образцы – 688д-4, 653д-44 (Самарский НИИСХ) и сорт Омский изумруд (Сибирский НИИСХ). Причем 653д-44, Омский изумруд наряду с высокой пластичностью формировали стабильный урожай, о чем свидетельствуют показатели S<sup>2</sup>d и V. Сорта селекции Актюбинской СХОС Каргала 1538, Каргала 1539 Каргала 1671 оказались более засухоустойчивыми по показателям индекса. К числу засухоустойчивых генотипов следует отнести и самарскую линию 653д-44. В КАСИБ 14–15 преимущество по продуктивности имели три сорта омской селекции – Гордеиформе 01-121-3, Гордеиформе 02-156-1, Гордеиформе 04-85-4 – со стабильной урожайностью. Последний сорт более пластичен. Сорта Каргала 1411 (Актюбинская СХОС), линия Г1549 (Карабалыкская СХОС), Гордеиформе 627 (Алтайский НИИСХ) были лидерами по засухоустойчивости (0.85–0.87). Близки к этим значениям показатели у высокоурожайных сортов Гордеиформе 01-121-3, Гордеиформе 02-156-1 (0.96–0.98). Кроме того, данные сорта имели меньшую вариацию по этому признаку.

По средней урожайности набора сортов из учреждений-оригинаторов в КАСИБ 1 преимущество имели сорта селекции Сибирского НИИСХ, во 2-м КАСИБ –

**Table 4.** Grain yields of varieties in KASIB trials averaged over enterprises of origin, metric centners/ha

Origin	KASIB								Mean
	1	2	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	
Aktobe Agricultural Experimental Station		27.2	24.2	25.9	25.6	25.9	23.7	21.5	24.9
Karabalyk Agricultural Experimental Station	22.9	31.5	23.2	19	28.2	24.1	21.6	24.6	24.4
Kazakh. Research & Production Center of Grain Farming			25.4				22.5	24.9	24.3
Kazakh. Research Institute of Farming and Crop Science	22.2			22.7	27.5	23.8	24	21.6	23.6
Altai Research Institute of Agriculture	24.2		23.4	25.6	25.6	28.5	24.4	25	25.2
Samara Research Institute of Agriculture							25.8	25.8	25.8
Siberian Research Institute of Agriculture	28.5	28.7	24.5	27.6	25.8	28.9	24.4	29.3	27.2
LSD <sub>05</sub>	1.2	2.5	2.7	2.8	3.0	2.2	2.6	2.0	2.4

**Table 5.** Drought susceptibility indices and grain yields of varieties under stressing conditions averaged over nurseries

Origin	KASIB								Averaged over nurseries
	1	2	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	
Aktobe Agricultural Experimental Station	–	0.83/20.3	1.17/15.4	0.53/19.6	0.94/13.5	0.84/14.3	0.93/13.4	0.90/13.9	0.88/15.8
Karabalyk Agricultural Experimental Station	1.18/8.6	1.35/15.5	1.18/13.6	1.90/11.3	0.87/16.4	1.04/11.2	0.99/11.4	0.88/15.8	1.17/13.0
Kazakh. Research & Production Center of Grain Farming	–	–	1.08/16.1	–	–	–	1.05/11.2	1.01/14.5	1.05/13.9
Kazakh. Research Institute of Farming and Crop Science	0.95/12.2	–	–	0.96/13.6	0.96/14.7	1.03/11.2	1.02/12.2	1.19/10.8	1.03/12.5
Altai Research Institute of Agriculture	0.72/16.9	–	1.08/15.7	0.94/16.2	1.06/12.2	1.11/11.4	0.98/13.1	1.03/14.3	1.03/14.3
Samara Research Institute of Agriculture	–	–	–	–	–	–	0.96/14.1	0.95/15.6	0.96/14.9
Siberian Research Institute of Agriculture	0.99/15.5	1.07/17.6	0.94/16.4	0.85/16.5	1.05/12.5	1.05/12.9	1.01/12.6	0.98/17.5	0.99/15.2

Numerator, sustainability index; denominator, yield, metric centners/ha

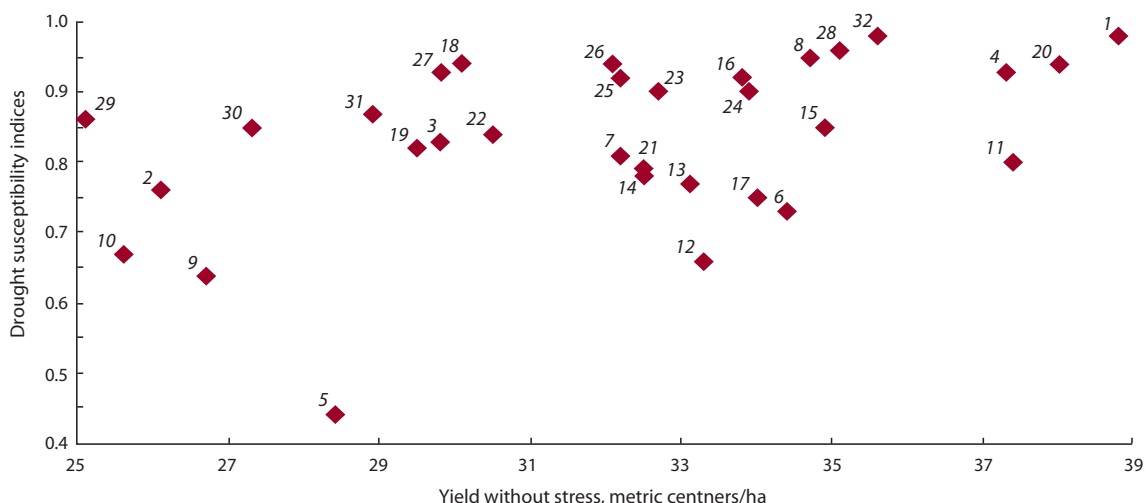
Карабалыкской СХОС, в 4–5-м – КазНПЦЗХ, в 6–7-м – Сибирского НИИСХ, в 8–9-м – Карабалыкской СХОС, в 10–11-м – Сибирского НИИСХ, в 12–13-м – Самарского НИИСХ, в 14–15-м – Сибирского НИИСХ (табл. 4). Средняя урожайность по всем питомникам была выше по сортам Сибирского НИИСХ (27.2 ц/га), Самарского НИИСХ (25.8 ц/га), Алтайского НИИСХ (25.2 ц/га).

Индекс засухоустойчивости (средний по испытываемым сортам) в первом питомнике варьировал от 0.72 до 1.18 и был наименьшим у сортов Алтайского НИИСХ (табл. 5). Во втором питомнике его колебания составляли от 0.83 у сортов Актюбинской СХОС до 1.35 – Карабалыкской СХОС. В 4–5-м КАСИБ изменчивость показателя составляла 0.42–1.18. Минимальное значение имели сорта Курганского НИИСХ, а максимальное – Карабалыкской СХОС. В КАСИБ 6–7 по засухоустойчивости выделились сорта Актюбинской СХОС ( $DSI = 0.53$ ), омские сорта (0.85). У остальных сортов значение индекса составляло от 0.94 до 1.90. В питомнике КАСИБ 8–9 наименьшее значение индекса (0.87) имели сорта Карабалыкской СХОС. В питомниках КАСИБ 10–11 и 12–13 по засухоустойчивости выделились сорта Актюбинской СХОС: индекс засухоустойчивости составлял, соответственно, 0.84 и 0.93. В КАСИБ 14–15 преимущество имели сорта Карабалыкской СХОС ( $DSI = 0.88$ ) и Актюбинской СХОС (0.90). Средний показатель по всем питомникам

свидетельствует о том, что более засухоустойчивы сорта селекции Актюбинской СХОС ( $DSI = 0.88$ ). Близки к ним сорта омской и самарской селекции (0.99 и 0.96).

Приведенные в табл. 5 данные по средней урожайности в условиях стресса подтверждают выше отмеченное. Уровень урожайности сортов Актюбинской СХОС в условиях стресса был выше во 2-м, 6–7-м, 10–11-м КАСИБ. Сорта Сибирского НИИСХ имели преимущество в 4–5-м, 14–15-м, сорта Карабалыкской СХОС в 8–9-м, а самарские сорта в 12–13-м КАСИБ. Средняя урожайность по всем питомникам была выше у сортов: актюбинских (15.8 ц/га), омских (15.2 ц/га), самарских (14.9 ц/га).

Для селекции на адаптивность твердой пшеницы не-маловажное значение имеют засухоустойчивые генотипы, которые характеризуются широкой нормой реакции и формируют высокий урожай в более благоприятных условиях. Их использование в гибридизации позволит создать пластичные сорта со стабильной урожайностью. На рисунке представлено 32 сорта с индексом засухоустойчивости ниже 1.0. Среди них 12 генотипов в условиях без стресса сформировали урожайность от 25.6 до 30.5 ц/га, а остальные – от 32.2 до 38.8 ц/га. Наибольшую ценность представляют сорта, расположенные в правой части диаграммы: 1 – Гордеиформе 91-25-5; 4 – Омская янтарная; 6 – 452-МС; 7 – Гордеиформе 91-22-2; 8 – Жемчужина Сибири; 11 – Гордеиформе 94-94-13; 12 – Каргала 303;



Mean yields under nonstressing conditions and drought susceptibility indices of durum wheat varieties.

1, Hordeiforme 91-25-5; 2, 17394; 3, 18053; 4, Омская янтарная; 5, 383-МС; 6, 452-МС; 7, Hordeiforme 91-22-2; 8, Жемчужина Сибири; 9, Коллективная 2; 10, ТС-15; 11, Hordeiforme 94-94-13; 12, Каргала 303; 13, Каргала 447; 14, Каргала 24; 15, Алтын шыгыс; 16, Алтын дала; 17, Наурыз 6; 18, Каргала 1515/06; 19, Каргала 1516/06; 20, Hordeiforme 98-42-1; 21, Каргала 69; 22, Каргала 1538; 23, Каргала 1540; 24, 653д-44; 25, Каргала 1538; 26, Каргала 1539; 27, Каргала 1671; 28, Hordeiforme 02-156-1; 29, Каргала 1411; 30, Line G1549; 31, Hordeiforme 627; 32, Hordeiforme 01-121-3.

13 – Каргала 447; 14 – Каргала 24; 15 – Алтын шыгыс; 16 – Алтын дала; 17 – Наурыз 6; 20 – Гордеиформе 98-42-1; 21 – Каргала 69; 23 – Каргала 1540; 24 – линия 653-д44; 25 – Каргала 1538; 26 – Каргала 1539; 28 – Гордеиформе 02-156-1; 32 – Гордеиформе 01-121-3. Полученные результаты в полной мере согласуются с предположением S. Rajaram (2003), П.Н. Мальчикова, М.Г. Мясниковой (2015) и других исследователей о возможности создания высокоурожайных, отзывчивых на благоприятные условия и адаптированных к засухе сортов.

Таким образом, на основании проведенных исследований для практической селекции на засухоустойчивость в условиях Сибири и Казахстана рекомендуются следующие сорта и линии: 383-МС, 452-МС, Каргала 303, Каргала 447, Каргала 24, Каргала 1515/06, Каргала 1516/06, Каргала 69, Каргала 1538, Каргала 1540, Каргала 1539, Каргала 1671, Каргала 1411 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 91-25-5, Гордеиформе 91-22-2, Жемчужина Сибири, Гордеиформе 94-94-13, Гордеиформе 98-42-1, Гордеиформе 01-121-3, Гордеиформе 02-156-1 (Сибирский НИИСХ), Алтын шыгыс, Алтын дала, Г1549 (Карабалыкская СХОС), Гордеиформе 373, Гордеиформе 627 (Алтайский НИИСХ), 17394, 18053, Наурыз-6 (КазНППЦЗиР), Коллективная 2, ТС-15 (Курганский НИИСХ), 653д-4 (Самарский НИИСХ).

Наибольшую ценность представляют сорта, сочетающие засухоустойчивость с высокой урожайностью в благоприятных условиях: Гордеиформе 91-25-5, Омская янтарная, 452-МС, Гордеиформе 91-22-2, Жемчужина Сибири, Гордеиформе 94-94-13, Каргала 303, Каргала 447, Каргала 24, Алтын шыгыс, Алтын дала, Наурыз 6, Гордеиформе 98-42-1, Каргала 69, Каргала 1540, линия 653-д44, Каргала 1538, Каргала 1539, Гордеиформе 02-156-1, Гордеиформе 01-121-3. Кроме того, сорта Гордеиформе 91-25-5, Гордеиформе 98-42-1, Алтын дала обладают высокой экологической пластичностью.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Clarke J., Romagosa I., Jana S. Relationship of excised – leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Canad. J. Plant Sci.* 1989;69(4):1075-1081.
- Dospechov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of Field Experiments]. Moscow: Kolos Publ., 1973.
- Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parametrs for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966;6(1):36-40.
- Ehdaie B., Waines J. Yield potential and stress susceptibility of durum landraces in ponstress and stress environments. *Proc. 7th Int. Wheat Genet. Symp. Cambridge.* 1988;2:811-815.
- Evdokimov M.G., Yusov V.S., Zhorov A.A., Kolmakov Y.V., Meshkova L.V. Results of complex research of durum spring wheat in West Siberia for the KASIB program. *Agromeridian = Agromeridian.* 2008;4(10):19-28.
- Genkel P.A. Fiziologiya zharno- i zasukhoustoychivosti rasteniy [Physiology of Heat and Drought Tolerance in Plants]. Moscow: Nauka Publ., 1982.
- Golovotchenko A.P. Osobennosti adaptivnoy seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v lesostepnoy zone Srednego Povolzhya [Adaptive Breeding of Spring Bread Wheat in the Forest Steppe of the Middle Volga Region]. Kinel, 2001.
- Grabovets A.I., Fomenko M.A. Improving wheat breeding methodology under insufficient moistening. *Zernobobovye i krupyanye kultury = Legumes and Groat Crops.* 2016;2(18):48-53.
- Gumnuluri S., Hobbs S.L., Jana S. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *Photosynthetica.* 1989;23(4):479-485.
- Havaux M., Ernes M., Lannoye R. Correlation between heat tolerance and drought tolerance in cereals demonstrated by rapid chlorophyll fluorescence. *J. Plant Physiol.* 1988;133(5):555-560.
- Jaradat A., Konzak C. Screening of wheat genotypes for brought tolerance. 1. Excised-leaf water retention. *Cereal Res. Commun.* 1983; 11(3-4):179-186.
- Kozhushko N.N., Vasilchuk N.S., Chernyshova S.V., Andreeva A.F. Drought tolerance of durum wheat of different ecogeographical

- origins in the Lower Volga region. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding. 1990;134:101-106.
- Kubaily S., Borodina S.A., Semenova L.V. Salt tolerance and drought-heat resistance of bread and durum wheat accessions. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten VNII rasteniyevodstva = Scientific and Technological Bulletin of the Vavilov Institute of Plant Industry. 1990; 206:66-67.
- Kumakov V.A. Fiziologiya yarovoy pshenitsy [Physiology of Spring Wheat]. Moscow: Kolos Publ., 1980.
- Lepekhov S.B., Korobeinikov N.I. Field and agronomical drought tolerance of bread wheat varieties in the forest-steppe of the Altai Krai. Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of the Altai State Agricultural University. 2013;1(99):9-12.
- Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the development of durum wheat cultivars (*Triticum durum* Desf.) with wide variability of the growing season. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(2):176-184.
- Malchikov P.N., Myasnikova M.G., Oganyan T.V. Durum wheat biotypes for the Middle Volga and Ural regions. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 9–10 avgusta 2016 g., Astana-Shortandy “Zemledelie i selektsiya selskokhozyaystvennykh rasteniy na sovremennom etape” [Proceedings of the Scientific-Practical Conference “Current State of Crop Agriculture and Breeding”, Astana–Shortandy, Aug. 9–10, 2016]. 2016;2:252-255.
- Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoy kolleksii pshenitsy: metodicheskie rekomendatsii [Guidelines on the study of the world-wide wheat collection]. Leningrad: Vavilov Institute of Plant Industry Publ., 1999.
- Morgounov A.I. Results and potential of the collaboration in the Kazakhstan-Siberian wheat breeding network. Vestnik regionalnoy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu = Bulletin of the Regional Network for Wheat Variety Introduction and Seed Production. Almaty, 2003;1(4):7-15.
- Rajaram S. Is conventional plant breeding still relevant? Increasing wheat production in Central Asia through science and international cooperation. Proc. First Central Asia Wheat Conf. Almaty, Kazakhstan, 2003;1-4.
- Udovenko G.V. Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam [Diagnostics of Plant Resistance to Stress]. Leningrad: Vavilov Institute of Plant Industry Publ., 1988.
- Venora G., Calcagno F. Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. on drought adaptation. Cereal Res. Commun. 1991;19(3): 319-326.
- Yanchenko V.I., Rozova M.A., Melnik V.M. Development of highly adaptive varieties of the Siberian ecotype using the gene pool of drought-resistant durum spring wheat. Vestnik regionalnoy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu = Bulletin of the Regional Network for Wheat Variety Introduction and Seed Production. Almaty, 2004;1-2(7-8):31-36.
- Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapaga V.A. Parametry ekologicheskoy plastichnosti selskokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz [Parameters of Ecological Flexibility in Agricultural Plants: Calculation and Analysis]. Novosibirsk, 1984.