



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

М.Г. Евдокимов¹, В.С. Юсов¹ , А.И. Моргун², Ю.И. Зеленский³

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Омск, Россия


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

³ 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 шыгыс, 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. Evdokimov¹, V.S. Yusov¹ , A.I. Morgounov², Yu.I. Zelensky³

¹ Siberian Agricultural Research Institute, Omsk, Russia

² International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Ankara, Turkey

³ 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 м². Повторность опыта 2–3-кратная. Исследовали комплекс

Таблица 1. Объемы проработки образцов программы КАСИБ

| Питомник | Год изучения | Кол-во образцов, шт. | Кол-во пунктов испытания |
|--------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| 1-й КАСИБ, ЯТП* | 2000 | 23 | 5 |
| 2-й КАСИБ, ЯТП | 2001 | 20 | 5 |
| 4–5-й КАСИБ, ЯТП | 2003–2004 | 16 | 10; 11 |
| 6–7-й КАСИБ, ЯТП | 2005–2006 | 17 | 8; 6 |
| 8–9-й КАСИБ, ЯТП | 2007–2008 | 16 | 6; 5 |
| 10–11-й КАСИБ, ЯТП | 2009–2010 | 18 | 5; 5 |
| 12–13-й КАСИБ, ЯТП | 2011–2012 | 22 | 7; 7 |
| 14–15-й КАСИБ, ЯТП | 2013–2014 | 22 | 7; 8 |

*ЯТП – яровая твердая пшеница.

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-

Таблица 2. Средняя урожайность твердой яровой пшеницы по питомникам КАСИБ в экологических пунктах, ц/га

| Пункт испытания | КАСИБ | | | | | | | | Среднее по всем питомникам |
|-------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----------------------------|
| | 1 | 2 | 4–5 | 6–7 | 8–9 | 10–11 | 12–13 | 14–15 | |
| Актобе | | 25.2 | 25.9 | 9.5 | 19.9 | 6.1 | 11.1 | 13.6 | 15.9 |
| Карабалык | 31.6 | 39.9 | 18.4 | 37.1 | 23.9 | 25.7 | 30.7 | 7.4 | 26.8 |
| Шортанды | 28.5 | 31.9 | 20.8 | | | | 26.9 | 23.3 | 26.3 |
| Алматы | | | 27.2 | 35.8 | | 20.5 | 24.1 | 38.2 | 29.2 |
| Барнаул | | 18.5 | 37.4 | 24.8 | 34.5 | 39.7 | 22.3 | 36.0 | 30.5 |
| Омск | | 31.4 | 32.4 | 21.7 | 33.7 | 25.1 | 32.2 | 22.3 | 28.4 |
| Отар | | 45.3 | | 17.2 | 19.2 | | | | 27.2 |
| Караганда | 42.0 | 19.1 | 18.9 | | | | | | 26.6 |
| НСР ₀₅ | 3.2 | 3.0 | 2.6 | 2.4 | 2.8 | 2.3 | 2.0 | 2.4 | 2.6 |

Таблица 3. Наиболее урожайные и засухоустойчивые сорта в питомниках КАСИБ

| Сорт/линия | Урожайность, ц/га | | | DSI | V, % | Bi | S ² d |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|------|-------|------|------------------|
| | средняя | при стрессе | без стресса | | | | |
| КАСИБ 1 | | | | | | | |
| Аметист | 31.8 | 10.6 | 46.0 | 1.06 | 67.9 | 1.53 | 8.79 |
| Гордеиформе 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 |
| Омская янтарная | 27.7 | 12.1 | 38.0 | 0.94 | 56.4 | 1.07 | 24.39 |
| КАСИБ 2 | | | | | | | |
| Гордеиформе 430-88 | 33.5 | 13.8 | 47.9 | 1.51 | 59.7 | 1.60 | 14.78 |
| Гордеиформе 242-93 | 35.7 | 17.0 | 48.3 | 1.38 | 52.9 | 1.54 | 31.40 |
| Гордеиформе 127-89 | 34.1 | 18.4 | 44.2 | 1.24 | 44.3 | 1.26 | 14.86 |
| 383-МС | 24.2 | 22.5 | 28.4 | 0.44 | 32.7 | 0.38 | 15.84 |
| 452-МС | 28.1 | 22.5 | 34.4 | 0.73 | 44.9 | 0.63 | 104.9 |
| Гордеиформе 91-22-2 | 27.8 | 20.4 | 32.5 | 0.79 | 35.8 | 0.80 | 23.59 |
| КАСИБ 4-5 | | | | | | | |
| Жемчужина Сибири | 26.4 | 19.1 | 34.7 | 0.95 | 33.93 | 1.15 | 15.60 |
| Дамсинская янтарная | 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 |
| Коллективная 2 | 22.7 | 18.9 | 26.7 | 0.64 | 24.48 | 0.73 | 4.02 |
| ТС-15 | 20.7 | 16.1 | 25.6 | 0.67 | 37.55 | 0.89 | 19.81 |
| КАСИБ 6-7 | | | | | | | |
| Гордеиформе 94-94-13 | 29.4 | 21.3 | 37.4 | 0.80 | 36.1 | 0.98 | 13.16 |
| Субастрале 489 | 27.3 | 15.5 | 41.1 | 1.15 | 55.6 | 1.11 | 15.55 |
| Каргала 303 | 26.9 | 21.5 | 33.3 | 0.66 | 37.9 | 0.76 | 39.35 |
| Каргала 447 | 26.2 | 19.3 | 33.1 | 0.77 | 40.7 | 1.06 | 12.71 |
| Каргала 24 | 24.7 | 18.2 | 32.2 | 0.81 | 42.2 | 0.94 | 11.02 |
| КАСИБ 8-9 | | | | | | | |
| Алтын шығыс | 28.4 | 17.1 | 34.9 | 0.85 | 34.8 | 0.82 | 10.45 |
| Алтын дала | 28.1 | 15.7 | 33.9 | 0.90 | 38.5 | 1.13 | 3.81 |
| Наурыз 6 | 28.2 | 18.7 | 34.0 | 0.75 | 32.6 | 0.46 | 22.63 |
| Каргала 1515/06 | 24.7 | 13.1 | 30.1 | 0.94 | 38.7 | 0.85 | 13.82 |
| Каргала 1516/06 | 24.9 | 15.1 | 29.5 | 0.82 | 32.7 | 0.51 | 13.07 |
| КАСИБ 10-11 | | | | | | | |
| Гордеиформе 561 | 30.2 | 12.2 | 39.3 | 1.11 | 60.6 | 1.28 | 1.71 |
| Гордеиформе 98-42-1 | 30.0 | 15.6 | 37.3 | 0.93 | 53.6 | 1.13 | 0.68 |
| Гордеиформе 97-49-1 | 29.6 | 12.0 | 38.9 | 1.11 | 59.1 | 1.28 | 0.78 |
| Каргала 69 | 26.1 | 13.9 | 32.5 | 0.78 | 51.5 | 0.91 | 7.80 |
| Каргала 1538 | 24.7 | 14.6 | 30.5 | 0.84 | 47.9 | 0.87 | 38.94 |
| Каргала 1540 | 26.8 | 14.4 | 32.7 | 0.90 | 49.3 | 0.88 | 1.56 |
| КАСИБ 12-13 | | | | | | | |
| 688д-4 | 26.0 | 13.5 | 35.3 | 1.00 | 57.2 | 1.11 | 17.19 |
| 653д-44 | 25.6 | 14.6 | 33.8 | 0.92 | 54.2 | 1.05 | 8.29 |
| Омский изумруд | 25.4 | 13.2 | 34.6 | 1.00 | 54.3 | 1.04 | 8.34 |
| Каргала 1538 | 24.4 | 14.0 | 32.2 | 0.92 | 56.3 | 1.01 | 18.83 |
| Каргала 1539 | 24.1 | 13.4 | 32.1 | 0.94 | 54.6 | 0.98 | 15.04 |
| Каргала 1671 | 22.5 | 12.8 | 29.8 | 0.93 | 55.5 | 0.94 | 9.47 |

Окончание табл. 3

| Сорт/линия | Урожайность, ц/га | | | DSI | V, % | Bi | S ² d |
|--|-------------------|-------------|-------------|------|------|------|------------------|
| | средняя | при стрессе | без стресса | | | | |
| КАСИБ 14–15 | | | | | | | |
| Гордеиформе 01-121-3 | 29.5 | 17.7 | 35.6 | 0.98 | 34.9 | 1.01 | 14.48 |
| Гордеиформе 02-156-1 | 29.0 | 17.8 | 35.1 | 0.96 | 34.3 | 1.00 | 16.93 |
| Гордеиформе 04-85-4 | 29.1 | 17.0 | 35.2 | 1.01 | 38.2 | 1.05 | 10.30 |
| Каргала 1411 | 19.8 | 13.0 | 23.3 | 0.86 | 41.2 | 0.72 | 14.88 |
| Г1549 | 23.4 | 15.4 | 27.3 | 0.85 | 42.5 | 1.00 | 8.06 |
| Гордеиформе 627 | 24.8 | 16.1 | 28.9 | 0.87 | 42.3 | 1.06 | 32.34 |
| НСР ₀₅ в СибНИИСХ: КАСИБ: 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 ц/га | | | | | | | |

Примечание. DSI – индекс засухоустойчивости; V – коэффициент вариации; Bi – коэффициент регрессии; S²d – варiances отклонений.

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 (КазНППЦЗХ). 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%, S²d = 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 (КазНППЦЗиР). 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 S²d 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 –

Таблица 4. Средняя урожайность сортов по учреждениям-оригинаторам в питомниках КАСИБ, ц/га

| Оригинатор | КАСИБ | | | | | | | | Среднее по всем питомникам |
|--------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----------------------------|
| | 1 | 2 | 4–5 | 6–7 | 8–9 | 10–11 | 12–13 | 14–15 | |
| Актюбинская СХОС | | 27.2 | 24.2 | 25.9 | 25.6 | 25.9 | 23.7 | 21.5 | 24.9 |
| Карабалыкская СХОС | 22.9 | 31.5 | 23.2 | 19 | 28.2 | 24.1 | 21.6 | 24.6 | 24.4 |
| КазНПЦЗХ | | | 25.4 | | | | 22.5 | 24.9 | 24.3 |
| КазНПЦЗиР | 22.2 | | | 22.7 | 27.5 | 23.8 | 24 | 21.6 | 23.6 |
| Алтайский НИИСХ | 24.2 | | 23.4 | 25.6 | 25.6 | 28.5 | 24.4 | 25 | 25.2 |
| Самарский НИИСХ | | | | | | | 25.8 | 25.8 | 25.8 |
| Сибирский НИИСХ | 28.5 | 28.7 | 24.5 | 27.6 | 25.8 | 28.9 | 24.4 | 29.3 | 27.2 |
| НСР ₀₅ | 1.2 | 2.5 | 2.7 | 2.8 | 3.0 | 2.2 | 2.6 | 2.0 | 2.4 |

Таблица 5. Индекс засухоустойчивости и урожайность при стрессе сортов по учреждениям-оригинаторам

| Оригинатор | КАСИБ | | | | | | | | Среднее по всем питомникам |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| | 1 | 2 | 4–5 | 6–7 | 8–9 | 10–11 | 12–13 | 14–15 | |
| Актюбинская СХОС | – | 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 |
| Карабалыкская СХОС | 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 |
| КазНПЦЗХ | – | – | 1.08/16.1 | – | – | – | 1.05/11.2 | 1.01/14.5 | 1.05/13.9 |
| КазНПЦЗиР | 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 |
| Алтайский НИИСХ | 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 |
| Самарский НИИСХ | – | – | – | – | – | – | 0.96/14.1 | 0.95/15.6 | 0.96/14.9 |
| Сибирский НИИСХ | 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 |

Примечание. В числителе – индекс устойчивости; в знаменателе – урожайность, ц/га.

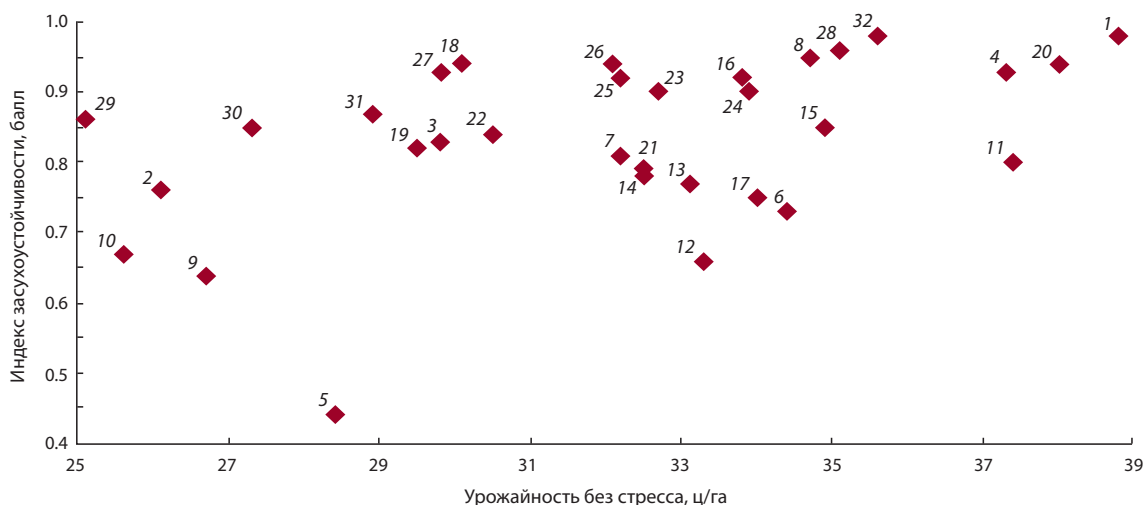
Карабалыкской СХОС, в 4–5-м – КазНПЦЗХ, в 6–7-м – Сибирского НИИСХ, в 8–9-м – Карабалыкской СХОС, в 10–11-м – Сибирского НИИСХ, в 12–13-м – Самарского НИИСХ, в 14–15-м – Сибирского НИИСХ (табл. 4). Средняя урожайность по всем питомникам была выше по сортам Сибирского НИИСХ (27.2 ц/га), Самарского НИИСХ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



Средняя урожайность без стресса и индекс засухоустойчивости сортов твердой яровой пшеницы.

1 – Гордеиформе 91-25-5; 2 – 17394; 3 – 18053; 4 – Омская янтарная; 5 – 383-МС; 6 – 452-МС; 7 – Гордеиформе 91-22-2; 8 – Жемчужина Сибири; 9 – Коллективная 2; 10 – ТС-15; 11 – Гордеиформе 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 – Гордеиформе 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 – Гордеиформе 02-156-1; 29 – Каргала 1411; 30 – линия Г1549; 31 – Гордеиформе 627; 32 – Гордеиформе 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. Мальникова, 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 (КазНПЦЗиР), 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.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Генкель П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982.
- Головоченко А.П. Особенности адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Среднего Поволжья. Кинель, 2001.
- Грабовец А.И., Фоменко М.А. Совершенствование методологии селекции пшеницы в условиях недостаточного увлажнения. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;2(18):48-53.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973.
- Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Жоров А.А., Колмаков Ю.В., Мешкова Л.В. Итоги комплексных исследований по яровой твердой пшенице в условиях Западной Сибири по программе КАСИБ. Агромеридиан. 2008;4(10):19-28.
- Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ. Новосибирск, 1984.
- Кожушко Н.Н., Васильчук Н.С., Чернышева С.В., Андреева А.Ф. Засухоустойчивость твердой пшеницы разного эколого-географического происхождения в условиях Нижнего Поволжья. Тр. по прикл. ботан. генет. и селекции. 1990;134:101-106.
- Кубайли С., Бородина С.А., Семенова Л.В. Солевыносливость, засухо-жаростойкость коллекции мягкой и твердой пшеницы. Науч.-техн. бюл. ВНИИ растениеводства. 1990;206:66-67.
- Кумаков В.А. Физиология яровой пшеницы. М.: Колос, 1980.
- Лепехов С.Б., Коробейников Н.И. Полевая и агрономическая засухоустойчивость сортов мягкой пшеницы в условиях лесостепи Алтайского края. Вестн. Алтайского ГАУ. 2013;1(99):9-12.
- Мальников П.Н., Мясникова М.Г. Возможность создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(2):176-184.
- Мальников П.Н., Мясникова М.Г., Оганян Т.В. Сортовые биотипы твердой пшеницы для регионов среднего Поволжья и Урала. Земледелие и селекция сельскохозяйственных растений на современном этапе. Матер. Междунар. науч.-практ. конф. 9-10 августа 2016 г. Астана-Шортанды. 2016;2:252-255.

- Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы: методические рекомендации. Л.: ВИР, 1999.
- Моргунов А.И. Результаты и перспективы сотрудничества в рамках Казахстано-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы. Вестн. региональной сети по внедрению сортов пшеницы и семеноводству. Алматы, 2003;1(4):7-15.
- Удовенко Г.В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Л.: ВИР, 1988.
- Янченко В.И., Розова М.В., Мельник В.М. Использование засухоустойчивого генофонда твердой яровой пшеницы в создании высокоадаптивных сортов сибирского экотипа. Вестник региональной сети по внедрению сортов пшеницы и семеноводству. Алматы, 2004;1-2(7-8):31-36.
- 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.
- Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966;6(1):36-40.
- Ehdaie B., Waines J. Yield potential and stress susceptibility of durum landraces in nonstress and stress environments. *Proc. 7th Int. Wheat Genet. Symp. Cambridge.* 1988;2:811-815.
- Gumnuluri S., Hobbs S.L., Jana S. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *Photosynthetic.* 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 drought tolerance. 1. Excised-leaf water retention. *Cereal Res. Commun.* 1983; 11(3-4):179-186.
- 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.
- Venora G., Calcagno F. Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. on drought adaptation. *Cereal Res. Commun.* 1991;19(3): 319-326.