

Оценка линий синтетической пшеницы (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) по вегетационному периоду и устойчивости к болезням

В.П. Шаманин¹✉, И.В. Потоцкая¹, С.С. Шепелев¹, В.Е. Пожерукова¹, А.Ю. Трущенко¹, А.С. Чурсин¹, А.И. Моргунов²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Омск, Россия

² Представительство Международного центра по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT), Анкара, Турция

К приоритетным направлениям развития растениеводства в России относятся рост валового производства зерна пшеницы и повышение стабильности урожая по годам. Урожайность зерна коммерческих сортов значительно варьирует из-за громадных потерь от воздействия неблагоприятных биотических и абиотических факторов. Повышение устойчивости к стрессовым факторам создаваемых сортов мягкой пшеницы может быть достигнуто за счет привлечения в гибридизацию всего разнообразия генетических ресурсов близкородственных видов и родов. Представлены результаты фенотипической оценки линий гексаплоидной синтетической пшеницы, созданных в CIMMYT скрещиванием сортов твердой пшеницы селекции Селекционно-генетического института (г. Одесса, Украина) и сорта Pandur из Румынии (*T. durum* Desf., геном АВ) с *Ae. tauschii* Coss. (геном D), а также 15 линий синтетической пшеницы селекции Киотского университета (Япония), полученных скрещиванием сорта твердой пшеницы Langdon (США) с формами эгилопса различного экологического происхождения. Исследования проведены в 2016 г. на опытном поле Омского государственного аграрного университета в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Между синтетиками выявлены генотипические различия по продолжительности периода «всходы–колошение» и по устойчивости к болезням. Наиболее скороспелые линии отмечены в гибридной комбинации Aisberg/*Ae.sq.*(511). Гибридные комбинации *Ae.sq.*(369) с сортом твердой пшеницы Aisberg, *Ae.sq.*(310) с сортом Ukr-Od 1530 и *Ae.sq.*(223) с сортом Pandur характеризуются комплексной устойчивостью к грибным болезням. В целом варьирование степени поражения линий ржавчиной было в пределах от 5 до 70 %, мучнистой росой – от 10 до 90 %. Выделены линии с высокой комплексной устойчивостью к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине, полученные скрещиванием сорта Ukr-od 1530.94 с *Ae. tauschii* (392); (629); (1027); (1031) и линий Langdon/Ku-2074; Langdon/Ku-2075; Langdon/Ku-2100; Langdon/Ku-2079. Выделенные по комплексу ценных признаков линии синтетиков пшеницы представляют интерес в качестве исходного материала для селекционных программ.

Ключевые слова: синтетическая пшеница; фенотипирование; вегетационный период; бурая и стеблевая ржавчина; мучнистая роса; устойчивость.

Evaluation of synthetic wheat lines (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) for vegetative period and resistance to diseases

V.P. Shamanin¹✉, I.V. Pototskaya¹, S.S. Shepelev¹, V.E. Pozherukova¹, A.Yu. Truschenko¹, A.S. Chursin¹, A.I. Morgunov²

¹ Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

² CIMMYT-Turkey, Ankara, Turkey

The growth of the total wheat production and increase of yield stability from year to year are some of the priorities of agriculture in Russia. The yield of commercial varieties significantly diversifies due to huge losses of their potential under the influence of negative biotic and abiotic factors. Increase of resistance to stress factors in the emerging varieties can be achieved by utilizing the diversity of the genetic resources of related wild species and genera in crosses. The results of a phenotypic evaluation of the synthetic hexaploid wheat lines of CIMMYT breeding created by crossing durum wheat varieties from Institute of Breeding and Genetics (Odessa, Ukraine) and variety Pandur from Romania (*T. durum* Desf., AB genome) with *Aegilops* (*Ae. tauschii* Coss., D genome), and also 15 synthetic wheat lines of Kyoto University breeding (Japan) created by crossing durum wheat variety Langdon with different ecological forms *Aegilops* are presented. Research was performed on the experimental field of Omsk SAU under conditions of southern forest-steppe of West Siberia in 2016. Between synthetics, there was revealed a genotypic difference in the vegetative period duration and resistance to diseases. Lines of hybrid combination Aisberg/*Ae.sq.*(511) were characterized as the most early-maturity genotypes among the lines studied. The hybrid combinations *Ae.sq.*(369) with variety Aisberg, *Ae.sq.*(310) and Ukr-Od 1530, *Ae.sq.*(223) and Pandur are characterized by complex resistance to fungal diseases. Most of the lines demonstrated high and moderate resistance to rust fungus, severity ranging from 5 to 70 % and severity of powdery mildew being 10–90 %. Lines derived from variety Ukr-Od 1530.94 and accessions *Ae. tauschii* (392); (629); (1027); (1031) and lines Langdon/Ku-2074; Langdon/Ku-2075; Langdon/Ku-2100; Langdon/Ku-2079 are characterized by complex resistance to powdery mildew, leaf

and stem rust. The synthetic lines with a complex of economically valuable traits present interest as an initial material for breeding programs.

Key words: synthetic wheat; phenotyping; vegetative period; leaf and stem rust; powdery mildew; resistance.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Пожерукова В.Е., Трущенко А.Ю., Чурсин А.С., Моргунов А.И. Оценка линий синтетической пшеницы (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) по вегетационному периоду и устойчивости к болезням. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(3):347-353. DOI 10.18699/VJ17.252

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Truschenko A.Yu., Chursin A.S., Morgunov A.I. Evaluation of synthetic wheat lines (*Triticum durum/Aegilops tauschii*) for vegetative period and resistance to diseases. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(3):347-353. DOI 10.18699/VJ17.252

Западная Сибирь – один из важнейших мировых регионов по производству пшеницы и обеспечению продовольственной безопасности населения Земли. Дальнейшее повышение урожайности пшеницы в мире усложняется тенденцией изменения климата, деградацией земель, потерей плодородия почвы и появлением новых вирулентных рас возбудителей болезней (Climat..., 2011).

В период с 2011 по 2016 г. Российская Федерация экспортировала в среднем 17.9 млн т пшеницы в год (<http://faostat.fao.org>). Положительная экспортная динамика пшеницы в России, безусловно, связана с внедрением в производство новых, более продуктивных сортов. Однако урожайность коммерческих сортов значительно варьирует по годам за счет огромных потерь их потенциала под влиянием неблагоприятных условий, прежде всего из-за засухи и поражения болезнями, в частности бурой, стеблевой ржавчиной и мучнистой росой. Ежегодные потери урожая могут достигать 30–40 % и более (Shamanin, Morgunov, 2009). Угроза проникновения на территорию России вирулентной расы *Ug99*, возбудителя стеблевой ржавчины, и активный формообразовательный процесс в популяциях патогена также несут серьезную угрозу производству зерна пшеницы, поскольку гены устойчивости к стеблевой ржавчине теряют свою эффективность (Шаманин и др., 2012, 2016; Shamanin et al., 2016).

Синтетические пшеницы с привлечением генетического потенциала *Aegilops tauschii* широко используются в селекционных программах, что способствует существенному расширению генотипического разнообразия исходного материала и получению новых форм пшеницы, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам. Синтетики служат как для сохранения, так и для использования генофонда диких сородичей в селекции пшеницы (Mujeeb-Kazi et al., 2008; Trethowan, Mujeeb-Kazi, 2008; Ogbonnaya et al., 2013).

Обычно синтетики получают путем искусственного скрещивания твердой пшеницы (*T. turgidum* ssp. *durum*; $2n = 28$, AABB) с эгилопом Тауша (*Ae. tauschii*; $2n = 14$, DD), донора D генома гексаплоидной пшеницы (*T. aestivum*; $2n = 42$, AABBDD) и последующего удвоения числа хромосом, и лишь небольшое число синтетиков создают с участием *T. dicoccoides* и *T. dicoccum* (Першина, 2014).

Гибридизация между синтетическими гексаплоидами и мягкой (гексаплоидной) пшеницей из-за равного числа хромосом осуществляется легче, чем скрещивание мягкой пшеницы с диплоидными и тетраплоидными дикорастущими видами, что позволяет получать ценные

рекомбинанты и отбирать генотипы с полезными агрономическими свойствами (Qi et al., 2007).

Начиная с середины восьмидесятых годов прошлого столетия было получено по всему миру более 1500 форм синтетической пшеницы, в том числе 900 на основе *Ae. tauschii*. Генетическое разнообразие генома D *Ae. tauschii* намного выше субгенома D мягкой пшеницы, в частности по устойчивости к основным листовым болезням и вредителям, биохимическому составу зерна (Dvorak et al., 1998).

В селекционных программах *Ae. tauschii* рассматривается как перспективный источник обогащения культурной пшеницы такими селекционно-ценными признаками, как высокие «масса 1000 зерен», «продуктивность главного колоса», «засухоустойчивость» и «высокое качество зерна» (Ogbonnaya et al., 2005; van Ginkel, Ogbonnaya, 2007). Результаты исследований показали, что полученные линии гексаплоидной синтетической пшеницы обладают устойчивостью ко многим абиотическим стрессам (засухе, высоким температурам, засоленности почв), они хорошо адаптировались по всему миру, особенно в засушливых условиях (Gill et al., 2006). Приоритетным направлением в селекции пшеницы является увеличение урожайности и элементов продуктивности синтетиков. Получены синтетические пшеницы с высокими показателями продуктивности главного колоса, массы 1000 зерен, большим количеством продуктивных растений с единицы площади (Cooper et al., 2012; Cooper, 2013).

Традиционная стратегия использования синтетических пшениц в селекции подразумевает дальнейшее скрещивание синтетиков с лучшими адаптивными сортами пшеницы с последующими беккроссами и получением синтетических беккроссных линий пшеницы с ценными рекомбинациями от донора генома D (Mujeeb-Kazi et al., 2000; Mujeeb-Kazi, Delgado, 2001). Как правило, для синтетиков на основе *T. durum* достаточно одного-двух беккроссов для получения линий с желаемыми агрономическими признаками (Trethowan, van Ginkel, 2009).

В настоящее время требуются дальнейшее секвенирование генома синтетических пшениц, идентификация полезных генов в гермоплазме *Ae. tauschii* и их интродукция в геном мягкой пшеницы, а также совершенствование стратегии использования синтетических пшениц в селекционных программах. В связи с этим реализация огромного генетического потенциала, которым обладают синтетические пшеницы, во многом зависит от тщательного изучения фенотипов синтетиков в разных почвенно-климатических условиях.

Цель наших исследований – оценить и выделить наиболее ценные линии гексаплоидной синтетической пшеницы с геномом *Ae. tauschii* для селекции в условиях Западной Сибири.

Материалы и методы

На опытном поле Омского ГАУ в 2016 г. проведено изучение линий гексаплоидной синтетической пшеницы селекции СИММУТ (питомник 16-SYNT-ПУТ), созданных скрещиванием сортов твердой пшеницы селекции Селекционно-генетического института (г. Одесса, Украина) и сорта Pandur (Румыния) (*Triticum durum* Desf., геном АВ) с эгилопсом Тауша (*Aegilops tauschii* Coss., syn. *Aegilops squarrosa*, геном D), а также 15 линий синтетической пшеницы селекции Киотского университета (Япония), полученных скрещиванием сорта твердой пшеницы Langdon (США) с формами эгилопса различного экологического происхождения. Всего изучено 126 линий.

Каждую линию высевали по одному погонному метру, через пять номеров поочередно размещали контроль № 1 (среднеранний сорт Памяти Азиева) и контроль № 2 (среднепоздний сорт Серебристая).

В течение вегетации растений проводили фенологические наблюдения, иммунологическую оценку степени и типа устойчивости растений (в динамике, не менее четырех-пяти учетов) по следующим болезням: мучнистой росе – по общепринятой методике (Захаренко и др., 2000); бурой, стеблевой ржавчине и септориозу – по международной шкале СИММУТ (Койшибаев и др., 2014). Расчет площади под кривой развития болезни (мучнистой росы, бурой и стеблевой ржавчины), ПКРБ, проводили по методу Джонсона и Вилкинсона (Сочалова, Лихенко, 2011).

На основе ПКРБ определяли индекс устойчивости (ИУ) сортов пшеницы к основным патогенам (Дьяков, 2003) по формуле:

$$RI = \frac{AUDPC_{\text{variety}}}{AUDPC_{\text{control}}}$$

Если индекс находится в пределах 0.10–0.35, сорт считается высокоустойчивым, 0.36–0.65 – среднеустойчивым, 0.66–0.80 – слабоустойчивым, 0.81 – восприимчивым.

Достоверность различий от стандартного сорта, коэффициенты вариации рассчитывали по методике Б.А. Доспехова (1985) с использованием программы Excel.

Результаты

Вегетационный период. Данные по варьированию периода «всходы–колошение» у линий синтетической пшеницы приведены в табл. 1. Полученные результаты опыта свидетельствуют о том, что по продолжительности межфазного периода «всходы–колошение», который тесно коррелирует с общей длиной вегетационного периода, между линиями внутри каждой гибридной комбинации были существенные различия.

Коэффициент вариации в различных комбинациях скрещивания составлял от 3.1 до 15.9 %. В целом по всем испытанным линиям варьирование данного периода было в пределах от 35 до 68 сут. Выделены линии, у которых период «всходы–колошение» соответствовал западносибирским сортам яровой мягкой пшеницы – от среднеран-

него типа (стандарт Памяти Азиева) до среднепозднего (стандарт Серебристая). Сорты позднеспелого типа (более 44 сут) в Западной Сибири не возделываются, так как они, преимущественно, не созревают до наступления ранних осенних заморозков. В связи с этим синтетические линии с поздним периодом выколашивания могут представлять селекционный интерес только как источники других признаков: «качество зерна», «устойчивость к болезням» и др.

Отмечен полиморфизм между синтетиками, полученными от различных форм *Ae. tauschii*. Особенно значимое влияние генома D прослеживается в комбинациях с сортом твердой пшеницы Aisberg. Например, линии в комбинации данного сорта с формой *Ae.sq.*(511) имели продолжительность периода от всходов до колошения на уровне средне-раннего стандарта Памяти Азиева (35–38 сут). Линии, полученные от скрещивания Aisberg с формой *Ae.sq.*(369), наоборот, оказались очень позднеспелыми, с периодом «всходы–колошение» от 51 до 59 сут. Полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии генома D на продолжительность периода «всходы–колошение».

На основе сорта Ukr-Od 1530.94 получены линии из пяти гибридных комбинаций, в которых участвовали различные формы эгилопса: *Ae.sq.*(310), *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(458), *Ae.sq.*(629), *Ae.sq.*(1027).

Размах варьирования средних значений продолжительности рассматриваемого периода между этими комбинациями составил восемь дней, от 44 до 52. Внутри одной комбинации между линиями различия по продолжительности периода «всходы–колошение» достигали 13 дней, например в комбинациях Ukr-Od 1530.94 с *Ae.sq.*(310), *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(1027). Коэффициент вариации в этих комбинациях по периоду «всходы–колошение» составил: с *Ae.sq.*(392) – 15.9, *Ae.sq.*(310) – 13.5 %. Также высокой изменчивостью признака внутри комбинаций с сортом Langdon отличались линии из Японии – варьирование данного признака составило 13.5 %.

Таким образом, геномы D, переданные гибридам от форм эгилопса *Ae.sq.*(310), *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(1027) и японских форм, обуславливают высокий полиморфизм по продолжительности периода от всходов до колошения.

Частота встречаемости изученных линий ярового типа по продолжительности периода «всходы–колошение» представлена на рис. 1. Большинство изучаемых линий выколашивались позднее среднепозднего стандарта (68 % линий). На уровне среднепозднего стандарта Серебристая – 24 и среднераннего – Памяти Азиева – 9 % линий.

В комбинациях сортов твердой пшеницы Pandur и Leuc 84693 с *Ae.sq.*(409) линии имели в основном озимый тип развития. В изучаемых гибридных комбинациях выколосилось лишь по одной линии, при этом продолжительность изучаемого периода данных линий была практически равной и составила в комбинации Leuc 84693 с *Ae.sq.*(409) 51 сут, а Pandur с *Ae.sq.*(409) – 53 сут. Только озимый тип развития наблюдался у линий в гибридных комбинациях Ukr-Od 761.93/*Ae.sq.*(392) и Leuc 84693/*Ae.sq.*(1026).

Как было отмечено выше, линии в гибридной комбинации Aisberg/*Ae.sq.*(369) имеют очень позднее колошение, в среднем 56 сут. Линия гибридной комбинации Aisberg/*Ae.sq.*(369)/Demig имела продолжительность изучаемого

Table 1. Variation of the germination–earing interval in synthetic wheat lines

Parental forms		Number of lines	Variation range, days	X, mean ± S _x	Coefficient of variation
♀	♂				
<i>T. durum</i> variety	<i>Ae. tauschii</i> accession				
Aisberg	<i>Ae.sq.</i> (369)	8	51–59	56 ± 1.13	5.8
	<i>Ae.sq.</i> (511)	9	35–38	36 ± 0.38	3.1
Ukr-Od 1530.94	<i>Ae.sq.</i> (310)	3	42–55	44 ± 3.25	13.5
	<i>Ae.sq.</i> (392)	6	39–52	44 ± 2.85	15.9
	<i>Ae.sq.</i> (458)	6	44–52	47 ± 1.88	9.9
	<i>Ae.sq.</i> (629)	7	48–54	52 ± 1.08	5.6
	<i>Ae.sq.</i> (1027)	20	42–55	47 ± 0.95	9.0
Pandur	<i>Ae.sq.</i> (223)	18	48–55	52 ± 1.16	9.6
	<i>Ae.sq.</i> (409)	13	–	53*	–
Leuc 84693	<i>Ae.sq.</i> (409)	5	–	51*	–
Ukr-Od 952.92	<i>Ae.sq.</i> (1031)	8	45–55	51 ± 1.59	8.8
Langdon	Form of <i>Ae.sq.</i> (Japan)	15	42–68	54 ± 1.86	13.5
Ukr-Od 761.93	<i>Ae.sq.</i> (392)	6	Winter type	–	–
Leuc 84693	<i>Ae.sq.</i> (1026)	1	Winter type	–	–
Pamyati Azieva (medium early standard)	–	–	Spring type	37 ± 0.37	3.5
Serebristaya (medium late standard)	–	–	Spring type	44 ± 0.27	2.1
LSD ₀₅				1.0	

* One line of the spring growth habit is chosen from the hybrid combination; S_x, error of the mean.

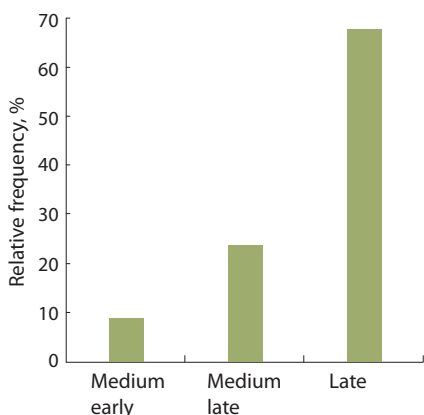


Fig. 1. Prevalence of germination-earing intervals in synthetic wheat lines averaged over hybrid combinations.

межфазного периода на уровне среднепозднего стандарта Серебристая (45 сут), что, вероятно, обусловлено результатом дополнительного скрещивания с сортом Demir. Позднеспелые формы синтетиков рекомендуются в селекции как источники ценных признаков при скрещивании с яровыми сортами, возделываемыми в регионе.

Оценка на устойчивость к грибным болезням. Для реализации потенциала сортов в условиях Западной Сибири немаловажное значение имеет устойчивость к поражению грибными болезнями.

Один из показателей, позволяющий классифицировать сорта по уровню частичной устойчивости к болезни, – индекс устойчивости. Между синтетиками наблюдался значительный полиморфизм по индексу устойчивости к основным листовым патогенам (табл. 2).

В гибридных комбинациях с участием сорта твердой пшеницы Ukr-Od 1530 и разных форм эгилопса отмечено варьирование индекса устойчивости к мучнистой росе (0–0.9), бурой ржавчине (0–1.0) и стеблевой ржавчине (0–1.0). Наибольший полиморфизм по индексу устойчивости к мучнистой росе отмечен в гибридных комбинациях с образцами *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(511), *Ae.sq.*(629), *Ae.sq.*(1031) и японскими формами *Ae. tauschii* (индекс устойчивости 0.1–1.0). По устойчивости к бурой ржавчине полиморфность по данному показателю была характерна для линий с участием *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(1027) и *Ae.sq.*(1031) (индекс устойчивости 0–0.9) и по устойчивости к стеблевой ржавчине – для линий с участием *Ae.sq.*(629) и *Ae.sq.*(1027) (индекс устойчивости 0.1–1.0). Гибридные комбинации, полученные от скрещивания сорта твердой пшеницы Aisberg с формой *Ae.sq.*(369), Ukr-Od 1530 с *Ae.sq.*(310) и Pandur с *Ae.sq.*(223), характеризуются наибольшей долей линий с комплексной устойчивостью к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине (ИУ составил 0–0.5 в среднем по гибридной комбинации). У большинства линий отмечена высокая и умеренная устойчивость к ржавчинным болезням, поражение варьировало от 5 до 70 %, поражение мучнистой росой составило 10–90 %. Стандартные сорта Памяти Азиева и Серебристая в значительной степени поражались мучнистой росой – 90 %, бурой ржавчиной – 80 и 90 % и стеблевой ржавчиной – 80 % соответственно. На фоне сильного поражения стандартных сортов мучнистой росой 87 % синтетических линий ярового типа развития имели высокую и среднюю устойчивость, 10 % – среднюю восприимчивость и 3 % – восприимчивость (рис. 2).

Table 2. Variation of resistance to leaf pathogens in synthetic wheat lines

Parental forms		Number of lines	Resistance index, ranges		
♀	♂		Powdery mildew	Leaf rust	Stem rust
Variety <i>T. durum</i>	Sample <i>Ae. tauschii</i>				
Aisberg	<i>Ae.sq.</i> (369)	8	0–0.1	0.2–0.5	0.2–0.5
	<i>Ae.sq.</i> (511)	9	0.1–0.7	0.2–0.5	0.1–0.4
Ukr-Od 1530.94	<i>Ae.sq.</i> (310)	3	0–0.2	0.1–0.4	0.2–0.5
	<i>Ae.sq.</i> (392)	6	0.1–0.7	0.3–0.9	0.1–0.4
	<i>Ae.sq.</i> (458)	6	0.5–0.9	0.3–0.7	0.2–0.5
	<i>Ae.sq.</i> (629)	7	0.1–0.7	0–0.2	0.1–0.7
	<i>Ae.sq.</i> (1027)	20	0.1–0.6	0.1–0.8	0.1–1.0
	<i>Ae.sq.</i> (223)	18	0.1–0.3	0.3–0.5	0.1–0.2
Pandur	<i>Ae.sq.</i> (409)*	13	0.1	0.4	0.5
	<i>Ae.sq.</i> (409)*	5	0.1	0.6	0.3
Leuc 84693	<i>Ae.sq.</i> (409)*	5	0.1	0.6	0.3
Ukr-Od 952.92	<i>Ae.sq.</i> (1031)	8	0.1–0.7	0.1–0.7	0.3–0.5
Langdon	Form of <i>Ae.sq.</i> (Japan)	15	0–0.9	0.1–0.5	0.1–0.4
Pamyati Azieva (medium early standard)		–	0.8	1.0	1.0
Serebristaya (medium late standard)		–	0.9	0.9	1.1

* One line of the spring growth habit is chosen from the hybrid combination.

Высокую и среднюю устойчивость (поражение в пределах 0–20 %) к бурой ржавчине проявили 92 % линий синтетической пшеницы ярового типа развития, среднюю восприимчивость – 5 % и восприимчивость – 3 %. Высокую и среднюю устойчивость (поражение в пределах 0–20 %) синтетической пшеницы к стеблевой ржавчине показали 95 % яровых линий, среднюю восприимчивость – 2 % (поражение до 50 %) и восприимчивость – 3 %. Характеристика лучших синтетиков, выделенных по устойчивости к листовым патогенам, представлена в табл. 3.

Расчет площади под кривой развития болезни показал, что интенсивность развития болезней у линий-синтетиков была в 2–8 раз ниже, чем у стандартов.

Высокой комплексной устойчивостью к трем возбудителям болезней отличаются линии ярового типа развития гибридных комбинаций: Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.* (392); Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(629); Ukr-Od 1530.94/*Ae.sq.*(1027); Langdon/Ku-2074; Langdon/Ku-2075; Langdon/Ku-2100; Langdon/Ku-2079 (ИУ варьирует от 0 до 0.4). Линии Aisberg/*Ae.sq.*(369); Ukr-Od 952.92/*Ae.sq.*(1031); Pandur/*Ae.sq.* (223) и Langdon/Ku-2100 также характеризуются как умеренно устойчивые к септориозу (3–4 балла).

Выделенные линии рекомендуется использовать в качестве исходного материала для селекции на устойчивость в условиях Западной Сибири.

Обсуждение

В пределах изученных линий синтетиков выявлены значительные генотипические различия по продолжительности вегетационного периода. Линии гибридной комбинации Aisberg/*Ae.sq.*(511) характеризовались как наиболее скороспелые генотипы изучаемых линий. В полевых условиях поражение этих линий бурой и стеблевой ржавчиной

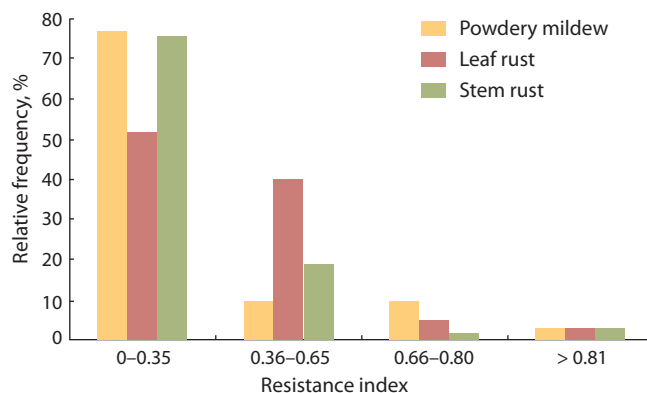


Fig. 2. Relative pest resistance in synthetic wheat line.

варьировало от 5 до 30 %, две линии были иммунны к стеблевой ржавчине, что свидетельствует о хорошей их перспективе в качестве исходного материала.

Полиморфизм по периоду «всходы–колошение» отмечен у линий в гибридных комбинациях Ukr-Od 1530.94 с *Ae.sq.*(310), *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(1027), а также у линий из Японии. Скрещивание сортов твердой пшеницы с образцом *Ae.sq.*(409) обуславливает в основном озимый тип развития растений.

Линии с наиболее коротким периодом от всходов до колошения целесообразно использовать непосредственно для дальнейшей оценки в питомниках в селекционном процессе по комплексу хозяйственно ценных признаков. Позднеспелые линии, выделяющиеся по устойчивости к болезням, также представляют интерес для практической селекции в качестве источников ценных признаков.

Table 3. Pest resistance in the best synthetic hexaploid wheat lines

Sample No.	Variety, line	Powdery mildew			Leaf rust			Stem rust			Wheat leaf blotch, score
		%	AUDPC	RI	%/ type	AUDPC	RI	%/ type	AUDPC	RI	
Medium early											
1	Pamyati Azieva, St	90	1450	0.8	80S	1530	1.0	80S	585	1.0	9
30	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (392)	10	210	0.2	30MS	442.5	0.4	15M	70	0.1	9
55	Aisberg/ <i>Ae.sq.</i> (511)	30	630	0.5	30MS	610	0.5	R	0	0	7
113	Aisberg/ <i>Ae.sq.</i> (511)	30	630	0.3	20MS	490	0.4	20MS	250	0.4	9
Medium late											
7	Serebristaya, St	90	1710	0.9	90S	1195	0.9	80S	665	1.1	9
52	Langdon/Ku-48042	0	0	0	40MS	690	0.4	20M	80	0.1	6
121	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (1027)	0	0	0	15MR	292.5	0.2	10MS	60	0.1	9
Late											
48	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (1027)	0	0	0	R	0	0	50S	169	0.3	7
68	Aisberg/ <i>Ae.sq.</i> (369)	0	0	0	40MS	560	0.5	40M	140	0.2	3
69	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (629)	10	100	0.1	R	0	0	20M	60	0.1	7
75	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (629)	10	210	0.2	R	0	0	5M	30	0.1	6
77	Ukr-Od 1530.94/ <i>Ae.sq.</i> (310)	30	410	0.3	40MS	507.5	0.4	20MS	125	0.2	7
86	Ukr-Od 952.92/ <i>Ae.sq.</i> (1031)	0	0	0	20MR	445	0.4	10MS	125	0.2	4
112	Pandur/ <i>Ae.sq.</i> (223)	30	570	0.5	40MS	545	0.4	20M	84	0.1	3
21	Langdon/Ku-2074	10	180	0.1	5MR	15	0	20MS	40	0.1	5
32	Langdon/Ku-2075	10	100	0.1	20MR	147.5	0.1	20MS	60	0.1	5
74	Langdon/Ku-2097	50	610	0.5	10MR	152.5	0.1	40S	100	0.2	6
108	Langdon/Ku-2100	10	180	0.2	10M	117.5	0.1	40S	140	0.2	3
109	Langdon/Ku-2079	0	0	0	20M	215	0.2	60S	205	0.3	9

Designations: %/type (leaf and stem rust), the area of the leaf surface occupied with pustules (percentage) and the type of resistance/susceptibility; % (powdery mildew), the severity area of the plant surface (percentage). Types of resistance/susceptibility: S, complete susceptibility; MS, moderate susceptibility; MR, moderate resistance; M, intermediate resistance; R, complete resistance.

Полевая оценка линий синтетиков в условиях южной лесостепи Западной Сибири показала, что линии синтетиков представляют большой интерес в качестве исходного материала в селекции на устойчивость к грибным болезням. Большинство линий синтетиков характеризуются высокой и средней устойчивостью к грибным болезням. Поражение синтетиков бурой и стеблевой ржавчиной варьировало от 5 до 70 %, поражение мучнистой росой – от 10 до 90 %. Наибольший полиморфизм генома D по устойчивости к грибным болезням проявляется в гибридных комбинациях с образцами *Ae.sq.*(392), *Ae.sq.*(629), *Ae.sq.*(1027) и *Ae.sq.*(1031).

Влияние генома D образца *Ae.sq.*(369) в комбинации с сортом твердой пшеницы Aisberg; *Ae.sq.*(310) с сортом Ukr-Od 1530 и *Ae.sq.*(223) с Pandur обуславливает комплексную устойчивость к грибным болезням.

Скорость развития патогена мучнистой росы, бурой и стеблевой ржавчины у синтетиков была в два-восемь раз ниже, чем у восприимчивых стандартов. Отдельные линии

проявили гетерогенность по устойчивости к листовым патогенам, эти линии требуют дальнейшего изучения и отборов устойчивых растений.

Линии, полученные скрещиванием сорта Ukr-Od 1530.94 твердой пшеницы (Украина) и образцов *Ae. tauschii* (392); (629); (1027); (1031), а также линии селекции Киотского университета Langdon/Ku-2074; Langdon/Ku-2075; Langdon/Ku-2100; Langdon/Ku-2079 отличаются высокой комплексной устойчивостью к мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине.

В результате фенотипирования линий синтетической пшеницы обнаружены уникальные по хозяйственно ценным признакам формы, являющиеся ценным исходным материалом для селекционных программ, который позволит расширить генотипическое разнообразие создаваемых сортов с привлечением диких сородичей пшеницы. Высокий генетический потенциал синтетической пшеницы по устойчивости к биотическим стрессам составляет еще недостаточно использованный резерв для создания

адаптивных сортов с целью повышения стабильности производства зерна пшеницы на фоне потепления климата и возрастания эпидемий болезней.

Acknowledgments

This work was supported by the Russian Science Foundation, project 16-16-10005. The authors are grateful to the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) for the material provided for the study.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Climat change and crop production. CABI Climat Change Series. 2011;1:292.
- Cooper J.K. Synthetic Hexaploid Wheat as a Source of Improvement for Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Texas. Texas A&M University, 2013.
- Cooper J.K., Ibrahim A., Rudd J., Malla S., Hays D.B., Baker J. Increasing hard winter wheat yield potential via synthetic wheat: I. Path-coefficient analysis of yield and its components. *Crop Sci.* 2012;52:2014-2022.
- D'jakov Ju.T. Tipy ustoychivosti rasteniy i ikh prakticheskoe ispol'zovanie [Types of plant resistance and their practical using]. Tipy ustoychivosti rasteniy k boleznyam [Types of plant resistance]. St. Petersburg: VIZR Publ., 2003;5-9. (in Russian)
- Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). [Methods of field experiment and the basics of the statistical evaluation of results]. Moscow: Kolos Publ., 1985. (in Russian)
- Dvorak J., Luo M.C., Yang Z.L., Zhang H.B. The structure of the *Aegilops* gene pool and evolution of hexaploid wheat. *Theor. Appl. Genet.* 1998;97:657-670. DOI 10.1007/s001220050942.
- Gill B.S., Friebe B., Raupp W.J., Wilson D.L., Cox T.S., Sears R.G., Brown-Guedira G.L., Fritz A.K. Wheat genetic resource center: the first 25 years. *Adv. Agr.* 2006;89:73-136.
- Koishybaev M., Shamanin V.P., Morgunov A.I. Skринing pshenitsy na ustoychivost' k osnovnym boleznyam: metodicheskie ukazaniya [Screening wheat for resistance to major diseases: guidelines]. Ankara: FAO-SEK Publ., 2014. (in Russian)
- Mujeeb-Kazi A., Delgado R. A second, elite set of synthetic hexaploid wheats based upon multiple disease resistance. *Ann. Wheat Newslett.* 2001;47:114-116.
- Mujeeb-Kazi A., Fuentes-Davila G., Delgado R., Rosas V., Cano A., Cortes S., Juarez L., Sanchez J. Current status of D-genome based, synthetic, hexaploid wheats and the characterization of an elite subset. *Ann. Wheat Newslett.* 2000;46:76-79.
- Mujeeb-Kazi A., Gul A., Farooq M., Rizwan S., Ahmad I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Austral. J. Agr. Res.* 2008;59:391-398.
- Ogbonnaya F.C., Abdalla O., Mujeeb-Kazi A., Kazi A.G., Xu S.S., Gosman N., Lagudah E.S. Synthetic hexaploids harnessing species of primary gene pool for wheat improvement. *J. Plant Breed. Rev.* 2013;37:35-122.
- Ogbonnaya F.C., Halloran G.M., Lagudah E.S. D genome of wheat-60 years on from Kihara, Sears and McFadden. Ed. K. Tsunewaki. *Frontiers of Wheat BioScience. (Kihara Memorial Yokohama Foundation for the Advancement of Life Sciences).* Yokohama, Japan, 2005.
- Pershina L.A. Chromosomal engineering of plants: a branch of biotechnology. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektivnogo Zhurnal of Genetics and Breeding.* 2014;18(1):138-146. (in Russian)
- Qi L., Friebe B., Zhang P., Gill B.S. Homoeologous recombination, chromosome engineering and crop improvement. *Chromosome Res.* 2007;15:3-19.
- Shamanin V., Morgunov A. Spring wheat breeding in Western Siberia for resistance to leaf and stem rust. 12th Int. Cereal Rusts and Powdery Mildews Conf. Antalya, Turkey, 13-16 October. 2009;82.
- Shamanin V.P., Morgunov A.I., Manes J., Zelensky Y.I., Chursin A.S., Levshunov M.A., Pototskaya I.V., Likhenko I.E., Manko T.A., Karakoz I.I., Tabachenko A.V., Petukhovskiy S.L. Breeding and genetics estimation of spring wheat population of Siberian shuttle breeding nursery of CIMMYT. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektivnogo Zhurnal of Genetics and Breeding.* 2012;6(1):21-32. (in Russian)
- Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Klevakina M.V. Estimation of the spring bread wheat Siberian collection for resistance to stem rust in the southern forest steppe of West Siberia. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kazan State Agrarian University.* 2016;2(11):55-59. (in Russian)
- Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Y., Olivera P., Morgunov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. *Euphytica.* 2016;212(2):287-296.
- Sochalova L.P., Likhenko I.E. Geneticheskaya ustoychivost' sortov yarovoy pshenitsy k obligatno-aerogennym zabolevaniyam v usloviyakh lesostepi Priob'ya [The genetic resistance of spring wheat varieties to obligate airborne diseases in the forest-steppe of the Ob' region]. Novosibirsk: SibNIIRS Publ., 2011. (in Russian)
- Trethowan R.M., Mujeeb-Kazi A. Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. *Crop Sci.* 2008;48:1255-1265.
- Trethowan R.M., van Ginkel M. Synthetic wheat an emerging genetic resource. *Wheat Sci. Trade.* Ed. B. Carver. Wiley-Blackwell, Ames, IA, 2009;369-386.
- Van Ginkel M., Ogbonnaya F. Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production conditions. *Field Crops Res.* 2007;104:86-94.
- Zaharenko V.A., Medvedev A.M., Erohina S.A., Kovalenko E.D., Dobrovol'skaja G.V., Mihajlov A.A. Metodika po otsenke ustoychivosti sortov polevykh kul'tur k boleznyam na infektsionnykh i provokatsionnykh fonakh [The methodology for evaluation of pest resistance in crops varieties on infectious and provocative backgrounds]. Moscow: Rossel'khozakademiya Publ., 2000. (in Russian)