

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕКСАПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СИММУТ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Б. Б. Наджодов^{1,2}, лаборант-исследователь лаборатории прикладной геномики и частной селекции сельскохозяйственных растений; аспирант кафедры генетики, селекции и семеноводства, boburnajodov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1932-9522;

В. С. Рубец^{1,3}, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории спидбридинга в селекции сельскохозяйственных культур; ведущий научный сотрудник Отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН, Valentina.rubets50@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1870-7242;

С. С. Баженова², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства, bazhenovass@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3123-1154;

В. В. Пыльнев⁴, доктор биологических наук, профессор, независимый исследователь, PYL8@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0400-0609

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), 127550, г. Москва ул. Тимирязевская, д. 42;

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49;

³ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., д. 4

⁴Независимый исследователь, 125239, г. Москва, ул. Новопетровская, д. 3

В статье представлены результаты изучения 14 синтетических линий яровой пшеницы, созданных в Международном центре улучшения пшеницы и кукурузы (СИММУТ). Исследования проводили в РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Полевые опыты были выполнены на полевой опытной станции в 2022–2023 годах. Агротехника – общепринятая для зоны. Площадь делянки 1 м², повторность трехкратная. Метеорологические данные получены от Метеорологической обсерватории имени В. А. Михельсона. Выявлено, что линии яровой пшеницы № 70, 220 и 221 являются раннеспелыми в условиях ЦРНЗ, остальные среднеспелыми, созревающими позднее стандарта на 7–10 дней. Линии № 70, 178, 215, и 220 являются устойчивыми к мучнистой росе и бурой ржавчине, линии № 147, 217 и 223 – наиболее стабильными по урожайности. Установлено, что существует положительная корреляционная связь между урожайностью с одной стороны, и числом зерен с колоса ($r = 0,56^*$) и массой зерна с колоса ($r = 0,83^{**}$) – с другой. Также обнаружена положительная корреляционная связь между продолжительностью вегетационного периода и массой 1000 зерен ($r = 0,57^*$).

Ключевые слова: синтетические гексаплоидные линии, яровая пшеница, масса 1000 зерен, стекловидность, урожайность.

Для цитирования: Наджодов Б. Б., Рубец В. С., Баженова С. С., Пыльнев В. В. Характеристика хозяйственно ценных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой мягкой пшеницы СИММУТ в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 34–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-34-41.



CHARACTERISTICS OF ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SYNTHETIC HEXAPLOID OF SPRING COMMON WHEAT LINES CIMMYT IN THE CENTRAL REGION OF THE NON-BLACK EARTH PART OF RUSSIA

B. B. Nadzhodov^{1,2}, laboratory researcher of the laboratory for genomics and private breeding of agricultural plants; post-graduate of the department of genetics, breeding and seed production, boburnajodov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1932-9522;

V. S. Rubets^{1,3}, Doctor of Biological Sciences, professor, leading researcher of the laboratory for speed breeding in the agricultural crops' breeding; leading researcher of the Remote Hybridization Department of RAS, Valentina.rubets50@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1870-7242;

S. S. Bazhenova², Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of genetics, breeding and seed production, bazhenovass@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3123-1154;

V. V. Pylnev⁴, Doctor of Biological Sciences, professor, Independent Researcher, PYL8@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0400-0609

¹FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology" (FSBSI ARRIAB), 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 42;

²FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy" 127434, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49;

³FSBIS the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of RAS (MGB RAS), 127276, Moscow, Botanicheskaya Str., 4

⁴Independent Researcher, 125239, Moscow, Novopetrovskaya Str., 3

The current paper has presented the study results of 14 synthetic spring wheat lines developed at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). The study was conducted at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Field trials were carried out at the field experimental station in 2022–2023. Agricultural technology was typical for the zone. The plot area was 1 m² with a threefold sequence. Weather data were obtained from the V. A. Mikhelson Meteorological Observatory. There has been found that the spring wheat lines 70, 220 and 221 are early maturing under the conditions of the Central Region of Non-Black Earth Area. The rest lines are middle maturing, with 7–10 days later with the standard variety. The lines 70, 178, 215 and 220 are resistant to powdery mildew and brown rust. The lines 147, 217 and 223 are the most stable in productivity. A positive correlation was identified between yield and the number of grains per ear ($r = 0.56$), as well as between yield and grain weight per ear ($r = 0.83^*$). Additionally, a moderate positive correlation was observed between the length of the growing season and the weight of 1000 grains ($r = 0.57^*$).

Keywords: synthetic hexaploid lines, spring wheat, 1000-grain weight, hardness, productivity.

Введение. В настоящее время в нашей стране и в мире отмечается сужение генетического разнообразия пшеницы. В связи с этим дикие сородичи культурных растений приобретают все большее значение для селекции как доноры хозяйственно ценных признаков (Потоцкая и др., 2019). При этом потенциальная урожайность мягкой пшеницы во многом зависит от устойчивости возделываемых сортов к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам внешней среды. Генетического материала самой мягкой пшеницы не всегда достаточно для решения этой проблемы. В особенности это касается генов устойчивости к болезням, ограниченное разнообразие которых является одним из основных лимитирующих факторов селекции (Давоян и др., 2012). Введение генов устойчивости от дру-

гих видов злаков в генотип пшеницы возможно при использовании синтетических пшениц. Синтетическая гексаплоидная (SHW) пшеница (AABB'D'D') была получена путем искусственной гибридизации между тетраплоидной твердой пшеницей (*Triticum turgidum*, AABB) и диплоидным диким видом (*Aegilops tauschii*, D'D') (Rosyara et al., 2019).

Целью нашего исследования является характеристика синтетических гексаплоидных линий яровой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования послужили 14 синтетических линий яровой мягкой пшеницы. В качестве стандарта использовали раннеспелый сорт Злата селекции ФИЦ «Немчиновка» (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение линий синтетической яровой пшеницы
Table 1. Origin of synthetic spring wheat lines

№ линии по каталогу CIMMYT	Гибридная комбинация
Злата, st	F4 (Иволга × Прохоровка)
Линия №70	Sonata/Vorb
Линия №79	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
Линия №147	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
Линия №150	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №151	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №152	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №153	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee#5/5/Kauz/6/Fret
Линия №178	Omskaya 37/5/Seri*3//RI 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
Линия №187	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/Ae. squarrosa (224) // Opat
Линия №215	53.94.98.2/3/T. dicoccum PI 94625/ Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/ SVK 13.
Линия №217	Fiton 42/3/ T. dicoccum PI 94625 / Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.
Линия №220	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия №221	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия №223	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Полевые исследования проводили на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в 2022–2023 годах. Площадь делянки 1 м², повторность трехкратная. Размещение вариантов – систематическое, агротехника – общепринятая для данной зоны. Посев осуществляли кассетной селекционной сеялкой СКС-6-10, уборку – вручную, обмолот – на пучково-сноповой молотилке МПСУ-500. В ходе вегетации отмечали нас-

тупление фенологических фаз и оценивали устойчивость к полеганию по 5-балльной шкале, где 1 балл – полное полегание, а 5 – полное отсутствие полегания (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1988). Устойчивость к заболеваниям оценивали по универсальной 9-балльной шкале ВИР, где 1 балл – сильное поражение (высокая восприимчивость), а 9 – полное отсутствие поражения (иммунитет). Массу 1000 зерен

определяли согласно ГОСТ 12042-80, натуру зерна – микрометодом (Беркутова, 1992), стекловидность – на электронном диафаноскопе «Янтарь» (ГОСТ 10987-76). Метеорологические данные периода выращивания предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В. А. Михельсона. Гидротермические коэффициенты (ГТК) рассчитывали по методу Г. Т. Селянинова (Чирков, 1986).

В 2022 г. посев был проведен в оптимальные сроки – 5 мая. Метеорологические условия в целом соответствовали среднемноголетним значениям. Период от посева до всходов характеризовался избытком влаги и недостатком тепла, при этом ГТК за данный период составил 1,3 (табл. 2).

Таблица 2. Условия увлажнения и теплообеспеченности выращивания яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 2. Moisture and heat supply conditions for growing spring wheat (2022–2023)

Показатели увлажнения и теплообеспеченности	2022 г.	2023 г.
Сумма осадков, мм		
Межфазный период от посева до всходов	14,9	35,5
Межфазный период от всходов до колошения	109,1	41,7
Межфазный период от колошения до полной спелости	90,7	215,7
В целом за вегетацию	214,7	292,9
Сумма активных температур, °C		
Межфазный период от посева до всходов	113,5	92,4
Межфазный период от всходов до колошения	643,6	587,3
Межфазный период от колошения до полной спелости	719,5	810,3
В целом за вегетацию	1476,6	1490
ГТК		
Межфазный период от посева до всходов	1,3	3,8
Межфазный период от всходов до колошения	1,7	0,7
Межфазный период от колошения до полной спелости	1,3	2,7
В целом за вегетацию	1,6	1,9

В 2023 г. посев был проведен 22 апреля, а всходы появились уже 2 мая. Период от посева до всходов характеризовался сильным избытком влаги – ГТК составил 3,8. Однако в период от всходов до колошения количество осадков оказалось более чем в два раза меньше, чем в 2022 г. (ГТК – 0,7). Это негативно сказалось на развитии вегетативных частей растений и урожайности. В период от колошения до полной спелости наблюдалось увеличение осадков и снижение среднесуточной температуры по сравнению с 2022 г. (ГТК – 2,7). Сумма активных температур за оба года оказалась практически одинаковой. В целом в 2023 г. за вегетационный период выпало больше осадков, чем в 2022 г., однако осадки в 2022 г. распределялись более равномерно, что оказало значительное влияние на рост и развитие растений яровой пшеницы.

Статистическую обработку данных проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA), где фактором А выступали сортообразцы, а фактором В – годы. Расчеты выполняли по методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Для оценки корреляционной зависимости между показателями был использован коэффициент корреляции Пирсона. Все расчеты и построение графиков матрицы корреляций выполняли в программной среде Python 3.12.4 с использованием библиотеки Matplotlib.

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного периода.

Метеорологические условия лет выращивания оказали значительное влияние на длительность межфазных периодов и общую продолжительность вегетации яровой пшеницы (табл. 3). В оба года исследований продолжительность периода от всходов до колошения была приблизительно одинаковой у всех образцов (табл. 3). Однако продолжительный дождливый период после цветения в 2023 г. при относительно низкой среднесуточной температуре привел к удлинению вегетационного периода. Межфазный период от колошения до полной спелости увеличился на 10–15 дней по сравнению с 2022 г., что привело к удлинению вегетационного периода изученных линий на 10–15 дней. Осадки после цветения вызвали активное образование побегов (подгонов), которые, несмотря на потребление значительного количества питательных веществ, не способствовали повышению урожайности, так как к моменту уборки эти побеги находились на стадии цветения и не успели сформировать полноценный урожай. В 2022 г. линии № 220 и 223 можно классифицировать как среднеранние аналогично стандарту Злата. Большинство мексиканских линий – № 70, 79, 147, 150, 152, 187, 215 – отставали от стандарта на 1–4 дней и входили в группу среднеспелых. Линии № 151, 153 и 178 были самыми позднеспелыми в 2022 г., отставая от сорта Злата на 10 дней. В 2023 г. ли-

нии № 220 и 221 созрели раньше сорта Злата на 2 дня (табл. 3). Только линия № 70 созрела одновременно со стандартом. Остальные линии в 2023 г. задержались в среднем на неделю. Запоздывание с созревaniem часто совпадает с дождливым периодом, который является обычным для Центрального региона Нечерноземной зоны. Таким образом, позднеспелость мексиканских линий можно считать отрицательным признаком, особенно для условий этого региона.

В среднем за два года линии № 220 и 221 можно отнести к раннеспелым по сравнению со стандартным сортом Злата. Линия № 70 в среднем за два года созрела одновременно с сортом Злата. Сортообразцы № 79, 147, 150, 151, 153, 187, 215 и 223 имели вегетационный период продолжительностью 91–95 дней, отставая от Златы (90 дней) на 3–4 дня. Остальные линии отставали примерно на 7–9 дней (табл. 3).

Таблица 3. Продолжительность межфазных периодов и вегетации образцов яровой пшеницы, дней (2022–2023 гг.)
Table 3. Length of interphase and vegetation periods of spring wheat samples, days (2022–2023)

Образцы	Всходы–колошение			Колошение–спелость			Вегетационный период		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	42	44	43	31	41	36	83	96	90
Линия №70	44	46	45	30	39	35	84	96	90
Линия №79	45	48	47	31	43	37	86	101	94
Линия №147	42	45	44	32	42	37	84	98	91
Линия №150	42	45	44	34	43	39	86	99	93
Линия №151	42	46	44	41	40	41	93	97	95
Линия №152	44	45	45	32	46	39	86	103	95
Линия №153	50	51	51	33	42	38	93	105	99
Линия №178	46	48	47	37	43	40	93	103	98
Линия №187	46	48	47	30	42	36	86	100	93
Линия №215	45	46	46	32	45	39	87	101	94
Линия №217	47	49	48	33	44	39	90	103	97
Линия №220	43	46	45	30	38	34	83	94	89
Линия №221	43	45	44	29	39	34	82	94	88
Линия №223	42	45	44	31	46	39	83	101	92

Устойчивость к полеганию. Полегание является одной из основных проблем снижения урожайности и качества зерна пшеницы. Устойчивость этой культуры к полеганию зависит от факторов внешней среды, биологических и морфологических особенностей стебля и корневой системы (Агеева и др., 2020).

В 2022 г. все изучаемые линии характеризовались высокой устойчивостью к полеганию (табл. 4). Однако в 2023 г. наблюдалось снижение устойчивости у большинства мексиканских линий до 3–4-х баллов. Исключением стала только линия № 178, которая сохранила высокую устойчивость (5 баллов) в оба года исследований. Сорт-стандарт Злата также показал снижение устойчивости с 5-ти баллов в 2022 г. до 4-х баллов в 2023 году. Это свидетельствует о том, что погодные условия в 2023 г. оказали негативное влияние на устойчивость сортообразцов к полеганию. Линии № 147, 215 и 220, помимо Златы, также показали снижение средней устойчивости до 3-х баллов в 2023 году. Одной из причин снижения устойчивости стало значительное количество осадков в 2023 г. в период от колошения до полной спелости – 215,7 мм по сравнению с 90,7 мм в 2022 году. Обильные дожди ослабили стебли растений, что увеличило вероятность полегания (табл. 2).

Устойчивость к болезням. Преобладающими грибными заболеваниями яровой пшеницы в ЦРНЗ являются мучнистая роса и бурая ржавчина, а с 2010 г. на посевы вернулась стеблевая ржавчина, которая отсутствовала в регионе около 30 лет (Лапочкина и др., 2021). При этом погодные условия могут ускорить жизненные циклы патогенов и вызвать изменение вирулентности (Cowger et al., 2022). В 2022–2023 гг. все изученные линии показали высокий уровень устойчивости к бурой ржавчине (9 баллов). Разные сортообразцы обладали различной степенью устойчивости к мучнистой росе. Этот показатель варьировал и по годам исследований. В 2022 г. линии № 79, 147, 151, 152 и 153 проявили слабую устойчивость (3 балла). Линия № 79 сохранила свою устойчивость на уровне 3-х баллов в 2023 г., в то время как линия № 152 показала дальнейшее снижение устойчивости до одного балла. Стандарт Злата также продемонстрировал значительное снижение устойчивости к мучнистой росе – с 7-ми баллов в 2022 г. до 3-х баллов в 2023 году. Линии № 70, 178, 215, и 220 отличались высокой устойчивостью в оба года исследований, являясь весьма перспективными при селекции сортов, устойчивых к бурой ржавчине и мучнистой росе (табл. 4).

Таблица 4. Устойчивость линий яровой пшеницы к полеганию и болезням (2022–2023 гг.)
Table 4. Resistance of spring wheat lines to lodging and diseases (2022–2023)

Образцы	Устойчивость, балл								
	к полеганию			к бурой ржавчине			к мучнистой росе		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №70	5	4	5	9	9	9	9	9	9
Линия №79	5	4	5	9	9	9	3	3	3
Линия №147	5	3	4	9	9	9	5	3	4
Линия №150	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №151	5	4	5	9	9	9	5	4	5
Линия №152	5	4	5	9	9	9	3	1	2
Линия №153	5	4	5	9	9	9	5	2	4
Линия №178	5	5	5	9	9	9	7	5	6
Линия №187	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №215	5	3	4	9	9	9	7	7	7
Линия №217	5	4	5	9	9	9	3	2	3
Линия №220	5	3	4	9	9	9	9	5	7
Линия №221	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №223	5	4	5	9	9	9	5	4	5

*Примечание. *В 2022 г. отсутствовал естественный инфекционный фон по бурой ржавчине (в оба годы исследования стеблевая ржавчина обнаружена не была).*

Урожайность сортов и линий яровой пшеницы является ключевым показателем, характеризующим их адаптацию к конкретным природно-климатическим условиям. В благоприятном 2022 г. урожайность всех линий была значительно выше. В 2023 г. условия были ме-

нее благоприятными, что привело к существенному снижению урожайности. Сорт-стандарт Злата показал урожайность 473,5 г/м² в 2022 г., но в 2023 г. его урожайность снизилась более чем в два раза – до 210,3 г/м² (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность и основные элементы структуры линий яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 5. Productivity and main structure elements of spring wheat lines (2022–2023)

Образцы	Урожайность, г/м ²			Число зерен с колоса, шт.			Масса зерна с колоса, г		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	473,5	210,3	341,9	32	21	27	1,3	1,0	1,2
Линия №70	387,9	219,6	303,8	33	29	31	1,4	1,4	1,4
Линия №79	426,4	171,8	299,1	35	28	32	1,5	1,3	1,4
Линия №147	438,9	214,3	326,6	33	28	31	1,4	1,3	1,4
Линия №150	357,7	172,3	265,0	32	24	28	1,3	1,1	1,2
Линия №151	389,8	148,3	269,1	27	22	25	1,2	1,1	1,2
Линия №152	400,8	171,5	286,2	37	18	28	1,6	1,2	1,4
Линия №153	370,6	197,2	283,9	29	24	27	1,6	1,2	1,4
Линия №178	442,3	206,0	324,2	38	32	35	1,6	1,3	1,5
Линия №187	402,7	212,4	307,6	34	37	36	1,5	2,0	1,8
Линия №215	409,0	236,2	322,6	30	32	31	1,3	1,7	1,5
Линия №217	430,5	214,0	322,3	31	21	26	1,5	1,1	1,3
Линия №220	352,3	262,8	307,6	31	29	30	1,2	1,3	1,3
Линия №221	361,6	227,8	294,7	29	27	28	1,2	1,2	1,2
Линия №223	445,6	310,7	378,2	39	34	37	1,6	1,6	1,6
НСР ₀₅	49,3	35,15	75,5	6,5	8,0	12,7	0,2	0,2	0,2

В среднем за два года сорт Злата показал урожайность 341,9 г/м². Наиболее стабильными и высокоурожайными оказались линии № 220 и 223. Линия № 223, в частности, продемонстрировала высокие показатели: 445,6 г/м² в 2022 г. и 310,7 г/м² в 2023 г., что в среднем составило 378,2 г/м². Это выше среднего значения сорта Злата, что указывает на высокий потенциал этой линии для селекции. Высокоурожайная линия

№ 147 в 2022 г. достигла 438,9 г/м², а в 2023-м – 214,3 г/м², что дало средний результат в 326,6 г/м². Линии № 217 и 178 также продемонстрировали высокую урожайность, близкую к сорту Злата. Линия № 217 имела среднюю урожайность 322,3 г/м², а линия № 178 – 324,2 г/м². Это указывает на их стабильный высокий потенциал в условиях ЦРНЗ (табл. 5). В итоге можно выделить линии № 147, 178, 217

и 223 как наиболее стабильные по урожайности в различающихся по метеорологическим условиям годам. Линия № 220 характеризовалась способностью дать хороший результат при неблагоприятных условиях. Эти линии можно использовать в селекции на урожайность.

Число зерен с колоса и масса зерен являются важными элементами структуры урожая, которые тесно связаны с общей урожайностью растений. В 2022 г. число зерен с колоса у большинства образцов варьировало от 27 до 39, при этом линия № 223 показала максимальное число зерен – 39 штук. В 2023 г. из-за засушливых условий в период вегетации число зерен снизилось у всех образцов, и максимальное было зафиксировано у линии № 187 (37 шт.), тогда как стандарт Злата имел лишь 21 зерно с колоса (табл. 5).

Масса зерен с колоса у большинства образцов варьировала в пределах 1,2–1,8 г в среднем за 2 года (табл. 5). В 2022 г. линия

№187 показала максимальный результат – 1,5 г, а больше – 1,6 г – было у линий №152, 153, 178, 223, что свидетельствует о высокой продуктивности колоса (табл. 6) В 2023 г. масса зерен снизилась у большинства линий – № 187, 215 и 220, что можно связать с неблагоприятными условиями для формирования зерна. В итоге большинство линий по числу и массе зерен незначительно отличались от стандарта Злата, однако линии № 178, 187 и 223 проявили себя как наиболее продуктивные в сравнении с остальными.

Физические свойства зерна (масса 1000 зерен, натура и стекловидность) играют ключевую роль в оценке его посевных и технологических качеств. В наших исследованиях были получены высокие показатели по всем анализируемым параметрам, что указывает на высокую потребительскую и технологическую ценность зерна (табл. 6).

Таблица 6. Характеристика физических свойств зерна яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 6. Characteristics of physical properties of spring wheat grain (2022–2023)

Образцы	Масса 1000 зерен, г			Натура, г/л			Стекловидность, %		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	42,5	47,1	44,8	805,5	794,8	800,0	49,3	92,0	70,7
Линия №70	41,7	43,6	42,7	833,5	796,2	815,0	43,3	84,6	64,0
Линия №79	44,0	44,1	44,1	828,4	790,0	809,0	56,2	91,9	74,1
Линия №147	43,5	44,3	43,9	807,6	773,8	791,0	56,6	96,6	76,6
Линия №150	41,8	42,3	42,1	783,9	723,2	754,0	64,6	92,8	78,7
Линия №151	44,9	45,6	45,3	780,3	721,7	751,0	65,3	87,6	76,5
Линия №152	44,2	46,5	45,4	814,8	781,0	798,0	58,5	92,7	75,6
Линия №153	47,0	47,6	47,3	828,4	810,0	819,0	57,8	97,2	77,5
Линия №178	41,2	40,9	41,1	813,3	796,2	805,0	71,6	81,0	76,3
Линия №187	43,2	47,0	45,1	786,3	772,2	779,0	47,0	60,7	53,9
Линия №215	42,7	47,4	45,1	834,7	766,5	801,0	56,6	83,2	69,9
Линия №217	52,7	51,3	52,0	815,6	829,2	822,0	63,7	95,8	79,8
Линия №220	37,8	43,6	40,7	785,3	780,7	783,0	60,8	96,6	78,7
Линия №221	38,6	42,2	40,4	794,1	767,7	781,0	69,3	68,1	68,7
Линия №223	39,3	45,8	42,6	785,0	779,7	782,0	46,8	62,6	54,7
НСР ₀₅	1,7	1,5	4,9	9,3	22,7	34,8	10,9	5,5	15,8

Масса 1000 зерен. Все изученные линии в оба года исследований показали крупное зерно с массой более 40 г. В 2023 г. масса зерен увеличилась практически у всех образцов. Линии № 215 и 217 выделялись самыми крупными зернами с массой 47,4 и 51,3 г, а линия № 153 – с массой 47,4 и 51,3 г соответственно по результатам исследования (табл. 6), что свидетельствует о высокой выполненности эндосперма. Это можно объяснить хорошей влагообеспеченностью и более продолжительным межфазным периодом от колошения до спелости. Средняя масса 1000 зерен для стандарта Злата составила 44,8 г, что является высокими показателем (табл. 6).

Натура зерна. В 2022 г. у большинства образцов была сформирована высокая натура зерна, превышающая 800 г/л. В 2023 г. наблюдалось небольшое снижение показателя натуры у изученных линий, кроме линии

№ 217 и № 153 увеличивали этот показатель с 810,0 до 829,2 г/л. Это делает их перспективными для селекции на высокую натуру и качество зерна. Сорт Злата показал снижение натуры с 805,5 г/л в 2022 г. до 794,8 г/л в 2023 г. (средний показатель 800 г/л) (табл. 6).

Стекловидность зерна. В 2022 г. стекловидность у большинства образцов пшеницы варьировала от 43,3 до 71,6 %. Самыми высокими значениями стекловидности в этом году отличились линии № 178 (71,6 %) и № 221 (69,3 %). В 2023 г. стекловидность у большинства линий выросла, и многие из них, включая стандарт Злата, достигли показателей выше 90 % (табл. 6). В целом все исследуемые образцы яровой пшеницы продемонстрировали высокие показатели массы 1000 зерен, натуры и стекловидности. Линии № 215, 217 и 223 особенно выделяются по всем параметрам и могут быть рекомендованы для использования в селекции

онных программах, направленных на улучшение качества зерна (табл. 6).

Корреляционный анализ основных агрономических показателей выявил несколько значимых взаимосвязей между изучаемыми характеристиками яровой пшеницы (рис. 1). Масса зерен с колоса проявила высокую положительную корреляцию с числом зерен с колоса ($r = 0,83^*$), что указывает на ключевую роль

этого показателя в формировании урожайности. Это свидетельствует о важности сбалансированного развития как генеративных, так и вегетативных органов для повышения общего объема урожая. Таким образом, корреляционный анализ подчеркнул значимость таких признаков, как число и масса зерна с колоса, для повышения урожайности (рис. 1).



Рис. 1. Матрица корреляционных взаимосвязей элементов структуры урожая (2022–2023 гг.)
Fig. 1. Matrix of correlations among yield structure elements (2022–2023)

Выводы. Синтетические линии яровой пшеницы № 70, 220 и 223, созданные в СИММУТ, являются среднеспелыми для условий Центрального района Нечерноземной зоны, в то время как остальные созревают на 7–10 дней позже стандарта. Линии № 70, 178, 215 и 220 устойчивы к мучнистой росе и бурой ржавчине. Линии № 147, 217 и 223 продемонстрировали наибольшую стабильность по урожайности, что делает их перспективными для селекции.

Основные элементы структуры урожая, влияющие на его величину, – количество и мас-

са зерна с колоса. Линии № 215 и 217 выделялись крупными размерами зерен (массой 1000 зерен 47,4 и 51,3 г соответственно), а линии № 217 и 153 показали высокие показатели натуры (свыше 820 г/л). Линии № 153, 217 и 220 достигли стекловидности выше 95 %. В целом линии № 215, 217 и 223 показали высокие значения массы 1000 зерен, натуры и стекловидности, что делает их перспективными для селекционных программ по улучшению качества зерна.

Библиографический список

1. Агеева Е. В., Леонова И. Н., Лихенко И. Е. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 4. С. 356–362. DOI 10.18699/VJ20.628
2. Беркутова, Н. С. Методы оценки и формирования качества зерна. М., 1991. 206 с.
3. Давоян Р. О., Бебякина И. В., Давоян О. Р., Зинченко А. Н., Давоян Э. Р., Кравченко А. М., Зубанова Ю. С. Синтетические формы как основа для сохранения и использования генофонда диких сородичей пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16, № 1. С. 44–51.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

5. Лапочкина И. Ф., Гайнуллин Н. Р., Баранова О. А., Коваленко Н. М., Марченкова Л. А., Павлова О. В., Митрошина О. В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 7. С. 723–731. DOI: 10.18699/VJ21.082
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / Под общ. ред. М. А. Федина. М., 1988. 122 с.
7. Потоцкая И. В., Чурсин А. С., Шаманин В. П. Создание сортов и селекционного материала члнчной селекции с использованием генетического материала синтетической пшеницы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 4(36). С. 61–67.
8. Чирков, Ю. И. Агрометеорология: учебник. Л: Гидрометеиздат, 1986. 294 с.
9. Cowger C., Bulli P., Chen F., Lillemo M., Maccaferri M. Editorial: Advances in breeding for wheat disease resistance // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1034506. DOI: 10.3389/fpls.2022.1034506
10. Rosyara U., Kishii M., Payne T., Sansaloni C. P., Singh R. P., Braun H. J., Dreisigacker S. Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm // Scientific reports. 2019. Vol. 9(1), Article number: 12355. DOI: 10.1038/s41598-019-47936-5

References

1. Ageeva E. V., Leonova I. N., Likhenko I. E. Poleganie pshenitsy: geneticheskie i ekologicheskie faktory i sposoby preodoleniya [Wheat lodging: genetic and environmental factors and methods to overcome them] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2020. T. 24, № 4. С. 356–362. DOI 10.18699/VJ20.628
2. Berkutova, N. S. Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna [Methods of estimating and forming grain quality]. М., 1991. 206 s.
3. Davoyan R. O., Bebyakina I. V., Davoyan O. R., Zinchenko A. N., Davoyan E. R., Kravchenko A. M., Zubanova Yu. S. Sinteticheskie formy kak osnova dlya sokhraneniya i ispol'zovaniya genofonda dikikh sorodichei pshenitsy [Synthetic forms as a basis for preserving and using the gene pool of wild wheat relatives] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2012. T. 16, № 1. S. 44–51.
4. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., dop. i pererab. М.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. Lapochkina I. F., Gainullin N. R., Baranova O. A., Kovalenko N. M., Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Mitroshina O. V. Kompleksnaya ustoychivost' linii yarovoi i ozimoi myagkoi pshenitsy k bioticheskim i abioticheskim stressam [Complex resistance of spring and winter common wheat lines to biotic and abiotic stresses] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2021. T. 25, № 7. С. 723–731. DOI: 10.18699/VJ21.082
6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kul'tur [Methodology of the state variety testing of agricultural crops. Technological estimation of grain crops, groats, and legumes] / Pod obshch. red. М. А. Fedina. М., 1988. 122 s.
7. Pototskaya I. V., Chursin A. S., Shamanin V. P. Sozdanie sortov i selektsionnogo materiala chelnochnoi seleksii s ispol'zovaniem geneticheskogo materiala sinteticheskoi pshenitsy // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Development of varieties and breeding material of shuttle breeding using the genetic material of synthetic wheat]. 2019. № 4(36). S. 61–67.
8. Chirkov, Yu. I. Agrometeorologiya: uchebnik [Agrometeorology]. L: Gidrometeoizdat, 1986. 294 s.
9. Cowger C., Bulli P., Chen F., Lillemo M., Maccaferri M. Editorial: Advances in breeding for wheat disease resistance // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1034506. DOI: 10.3389/fpls.2022.1034506
10. Rosyara U., Kishii M., Payne T., Sansaloni C. P., Singh R. P., Braun H. J., Dreisigacker S. Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm // Scientific reports. 2019. Vol. 9(1), Article number: 12355. DOI: 10.1038/s41598-019-47936-5

Поступила: 13.09.24; доработана после рецензирования: 25.10.24; принята к публикации: 28.10.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Наджодов Б. Б. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Рубец В. С. – общее научное руководство, критический анализ текста; Баженова С. С. – концептуализация исследований; Пыльнев В. В. – концептуализация исследований, финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.