

Урожайность и адаптивность пшеницы

УДК 633.111.1:631.559.2:575.167:574.2

doi: 10.15389/agrobiology.2022.1.66rus

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.) В СТЕПНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИТ.Ж. АЙДАРБЕКОВА¹, Г.Т. СЫЗДЫКОВА¹, Н.В. МАЛИЦКАЯ² ✉,
Р.Е. НУРГАЗИЕВ¹, А.Т. ХУСАИНОВ¹, М.У. ЖАБАЕВА³, С.К. МАХАНОВА¹,
О.Д. ШОЙКИН⁴

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — одна из самых востребованных сельскохозяйственных культур в Республике Казахстан. В 2020 году валовой сбор зерна яровой мягкой пшеницы достиг 18,0 млн т, что стало самым высоким результатом за последние годы. Резерв увеличения урожайности сортов яровой мягкой пшеницы — повышение их адаптивности и улучшение хозяйственно ценных признаков. В представленной работе мы впервые отобрали хорошо адаптированные к условиям Северо-Казахстанской области линии яровой мягкой пшеницы, выделяющиеся по продуктивности, комплексу хозяйственно ценных параметров, экологической стабильности и пластичности. Цель работы — дать сравнительную оценку линиям яровой мягкой пшеницы различных групп спелости, максимально адаптированных к степной зоне Северного Казахстана, всесторонне изучить хозяйственно ценные признаки и оценить их взаимосвязь с урожайностью зерна. Опыты закладывали по паровому предшественнику (стационар ТОО Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции, п. Шагалы, Северо-Казахстанская обл., 2018-2020 годы). Всего было изучено 28 линий яровой мягкой пшеницы, в том числе 20 среднеранних и 8 среднеспелых. В качестве стандартов использовали два сорта, зарегистрированных в Северо-Казахстанской области: Астана — для среднеранних, Омская 35 — для среднеспелых линий. Изучали продолжительность межфазных и вегетационного периодов, урожайность и основные элементы ее структуры. По результатам исследований продолжительность вегетационного периода составила у среднеранних линий 79, у среднеспелых — 80 сут. Более коротким вегетационным периодом внутри среднеранней группы выделились линии Лютесценс 1125 СП 2/09 (73 сут), Лютесценс 528 (74 сут), Лютесценс 630 СП 2/08 (74 сут), Лютесценс 742 СП 2/19 (74 сут), Лютесценс 715 СП 2/04 (75 сут), Лютесценс 687 СП 2/04 (75 сут), Лютесценс 1148 СП 2/09 (76 сут) при значении у стандарта сорта Астана 79 сут. В среднеспелой группе оптимальной длиной вегетационного периода характеризовались Линия 12/93-01 (82 сут), Линия 33/93-01-15 (82 сут), Лютесценс 2194 (82 сут), Лютесценс 1919 (85 сут) при значении 80 сут у стандартного сорта Омская 35. По урожайности зерна в среднеранней группе спелости выделились Лютесценс 588 СП 2/05 (2,3 т/га), Эритроспермум 738 2/09 (2,3 т/га), Лютесценс 857 СП 2/05 (2,4 т/га), Лютесценс 821 СП 1/08 (2,4 т/га), Лютесценс 715 СП 2/04 (2,4 т/га), превосходящие стандарт (2,0 т/га). В среднеспелой группе высокую урожайность имели Лютесценс 371/06 (2,4 т/га), Линия 12/93-01-10 (2,4 т/га), Лютесценс 1919 (2,5 т/га), Линия 55/94-01 (2,6 т/га), Линия 33/93-01-15 (2,8 т/га) в сравнении со стандартом Омская 35 (1,8 т/га). У среднеранних линий были получены следующие усредненные данные по основным элементам структуры урожая: число продуктивных стеблей — 154-244 шт/м², число зерен в колосе — 21-28 шт., масса 1000 зерен — 36,6-43,4 г. В среднеспелой группе линий число продуктивных стеблей составило 170-252 шт/м², число зерен в колосе — 23-30 шт., масса 1000 зерен — 34,2-45,2 г. У среднеспелых линий выявлена корреляционная связь урожайности с числом продуктивных стеблей ($r = 0,74-0,86$, $p = 0,95-1,29$) и озерненностью колоса ($r = 0,31-0,71$, $p = 0,32-0,88$), у среднеранних линий — достоверная положительная сопряженность с озерненностью колоса ($r = 0,35-0,86$, $p = 0,36-1,29$) и тесную связь с числом продуктивных стеблей ($r = 0,68-0,83$, $p = 0,82-1,18$). Связь урожайности с массой 1000 зерен была средней силы ($r = 0,37-0,54$, $p = 0,38-0,60$), а в засушливый год — слабой отрицательной ($r = -0,16$, $p = 0,16$). Таким образом, для степной зоны Северно-Казахстанской области в качестве исходного материала в селекции на засухоустойчивость и повышение адаптационного потенциала мы предлагаем использовать среднеранние линии Лютесценс 715 СП2/04, Лютесценс 821 СП2/08, Лютесценс 588 СП2/05, Эритроспермум 738 2/09 и среднеспелые Линия 33/93-01-15, Линия 55/94-01, Лютесценс 371/06, Лютесценс 1919, Линия 12/93-01-10.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, среднеранние линии, среднеспелые линии, вегетационный период, зерновая продуктивность, элементы продуктивности.

Исходя из прогнозируемых потребностей человечества, связанных с ростом населения, изменением рациона питания и увеличением необходимости в биотопливе, мировое производство сельскохозяйственных культур должно удвоиться к 2050 году. Однако при нынешнем повышении урожай-

ности пшеницы на 0,9 % в год глобальное производство зерна вырастет только на 38 %, в связи с чем упор надо делать на повышение урожайности сортов (1).

Экологически устойчивое растениеводство (2) невозможно без использования высокоурожайных сортов (3). Генетическое улучшение сортов по признаку продуктивности должно составлять до 1,16-1,31 % в год (4). В последние десятилетия в мире зарегистрировано меньше генетических достижений, чем требуется (5, 6).

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — естественный аллогексаплоид, который несет в себе генный материал нескольких видов рода *Triticum* L. и *Aegilops* L. благодаря естественной гибридизации с последующей амфидиплоидизацией (7). В северных областях Казахстана посевами яровой мягкой пшеницы занято 15,0 млн га. Средняя урожайность в этой зоне в зависимости от климатических условий по годам составляет от 0,9 до 1,4 т/га (<https://primeminister.kz/ru/news/uborochnye-raboty-v-kazahstane-zaversheny-na-934-msh-rk-2281145>).

Сорта, возделываемые в условиях степной зоны Северного Казахстана, характеризуются высоким качеством зерна. При этом для получения высокого урожая важное значение имеет изучение продуктивного и адаптивного потенциала сорта, его биологических особенностей (8).

При относительно равных условиях среды и одинаковой продуктивности структура урожая у разных сортов различается. Одни сорта обладают высокой продуктивной кустистостью, другие — высокой абсолютной массой зерна, третьи — повышенной озерненностью колоса (9). В получении высоких и устойчивых урожаев биологические (элементы структуры урожая) и технологические признаки (объемная масса зерна и содержание белка) рассматриваются как ведущие; в то же время высока роль агротехнических приемов, влияющих на проявление этих признаков (10, 11). Весь агротехнический комплекс работ должен строго соответствовать особенностям сортов в конкретных условиях внешней среды.

Важнейшее свойство любого сорта — его адаптивность, то есть способность генотипа противостоять действию факторов среды, снижающих продуктивность и урожай, что очень важно для агроэкологического районирования сорта (12).

В условиях Северного Казахстана лимитирующим фактором роста и развития растений яровой мягкой пшеницы становится влагообеспеченность. Кроме того, отрицательное влияние при возделывании культуры оказывают высокие температуры и низкая влажность воздуха, особенно в критические фазы роста и развития (выход в трубку—колошение). В весенний и раннелетний периоды (июнь) посевы часто повреждаются пыльными бурями, заморозками, болезнями, вредителями (хлебная блоха).

Для повышения засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы необходимо вести отбор родительских форм, у которых есть биохимические и физиологические механизмы, способные смягчать последствия абиотического стресса на стадии налива зерна (13, 14).

В представленной работе мы впервые отобрали хорошо адаптированные к условиям Северо-Казахстанской области линии яровой мягкой пшеницы, выделяющиеся по продуктивности, комплексу хозяйственно ценных параметров, экологической стабильности и пластичности.

Цель работы — сравнить линии яровой мягкой пшеницы различных групп спелости, максимально адаптированные к степной зоне Северного Казахстана, по хозяйственно значимым признакам и оценить их взаимосвязь с урожайностью зерна.

Методика. Опыты закладывали по паровому предшественнику (станции ТОО Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции, п. Шагалы, Северо-Казахстанская обл., 2018-2020 годы). Изучали расширенный набор линий яровой мягкой пшеницы различных групп спелости для экологического сортоиспытания из различных научных центров Казахстана (всего 28 линий, в том числе 20 среднеранних и 8 среднеспелых). В качестве стандартов использовали два сорта, зарегистрированные в Северо-Казахстанской области: Астана — для среднеранних, Омская 35 — для среднеспелых линий.

Общая площадь делянки составляла 25 м², учетная — 20 м². Повторность 4-кратная. Варианты размещались рандомизированно. Посев проводили в оптимальные для зоны сроки (20-25 мая), норма высева составила 3,0 млн всхожих семян на 1 га, семена высевали селекционной сеялкой ССН-7 («Омский экспериментальный завод», Россия).

Почва опытного участка — чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый, рН 8,1. Содержание гумуса в слое почвы 0-40 см составляло 4,5 %, нитратного азота — 16,6, подвижного фосфора — 10, калия — 630 мг/кг почвы.

Непосредственно перед посевом на опытном поле отбирались почвенные пробы на глубине 0-40 см по общепринятой методике. В почвенных образцах определяли содержание гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (15), рН водной вытяжки — потенциометрическим методом (16), содержание нитратного азота — дисульфобензидиновым методом по Грандваль-Ляжу (17), содержание подвижного фосфора и обменного калия — по методу Б.П. Мачигина (18).

Структуру урожая анализировали на материале с пробных площадок в 4 повторностях для каждого образца (19). Каждый собранный сноп анализировался по числу растений, общих и продуктивных стеблей. Элементы структуры урожая (число зерен в колосе и массу 1000 зерен) определяли у 25 растений в 4 повторностях. Уборку урожая проводили в период полной спелости зерна комбайном Sampo-500 («Sampo Rosenlew», Финляндия). По каждому сорту и линии показатели качества зерна приводили к 14 % влажности и 100 % чистоте.

Для оценки метеорологических условий в годы проведения опытов отмечали количество выпавших осадков и температурный режим в сравнении со среднесезонными данными (<http://www.pogodaiklimat.ru>). Экспериментальные данные были проанализированы в программе AgStat (<https://www.agstat.com/>). По результатам дисперсионного анализа рассчитывали наименьшую существенную разность (НСР₀₅), вычисляли средние (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$), коэффициенты вариации (Cv) и корреляции (r) (20).

Результаты. В 2018 году запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на экспериментальном поле перед посевом составили 149,1 мм. Начало летних месяцев было холодным, поэтому посев проводили 28 мая, что было на 3-5 сут позже оптимальных для зоны сроков. Средняя температура воздуха в мае составила 9,5 °С, в июне поднялась до 17,1 °С. Наблюдалось появление дружных всходов и закладка элементов кущения. В июле средняя температура воздуха составила 20,3 °С, что положительно сказалось на закладке генеративных органов и элементов колоса. Средняя температура воздуха в августе 16,6 °С благоприятно повлияла на продуктивность колоса. За период вегетации 2018 года выпало 291,7 мм осадков, или 285 % многолетней нормы. Культура была хорошо обеспечена влагой, гидротермический коэффициент (ГТК) составил от 0,6 до 0,9 при значении

среднегодовом показателе 0,8. Необходимо отметить, что высокая влажность в августе и температура воздуха 16,6 °С удлинили фазу созревания зерна.

В 2019 году запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы были оптимальными и составили 128,0 мм. Начало мая характеризовалось жаркой и сухой погодой с сильными ветрами. Максимальная температура воздуха в мае достигала отметки 29,0-31,6 °С. При этом количество осадков в мае было низким — 12,8 мм, или 46 % от многолетней нормы. Осадки распределялись по декадам было неравномерным, что происходит при частых засухи в последние десятилетия (21). Дожди выпали только во II и III декадах мая, и их количество составило 58-73 % от нормы. Июнь 2019 года был прохладным (среднесуточная температура воздуха на 3 °С ниже среднегодовом показателе 18,6 °С), осадки выпали в количестве 56,8 мм (129 % от нормы). Теплый период наступил поздно, в конце июня сумма положительных температур составила 917 °С при среднегодовом показателе 1069 °С. Недостаток тепла отразился на продолжительности периода посев—всходы, который составил 14-16 сут (по многолетним данным 10-12 сут). Однако осадки в III декаде июня оказали положительное влияние на прохождение растениями фазы кущения (в этот год был зафиксирован наибольший коэффициент кущения — 2,3). Июль 2019 года был сухим, среднемесячная температура воздуха составила 20,9 °С, выпало 23 мм осадков при норме 71 мм (32 %). Характерный для региона июльский максимум осадков не наблюдался. В период созревания культуры в августе было тепло, среднесуточная температура воздуха составила 18,1 °С, или на 0,9 °С выше среднегодовых данных. Выпало 43,3 мм осадков при норме 47,0 мм (92 %). В целом август по метеорологическим показателям соответствовал среднегодовой норме, озерненность колоса и масса 1000 зерен сформировались в положительных условиях.

В 2020 году май на севере региона выдался аномально жарким и ветреным. Максимальная температура воздуха составляла 33,5-35,6 °С, сумма положительных температур на конец месяца превышала среднегодовом показатель на 267 °С. Наиболее жаркой оказалась II декада мая: среднесуточная температура воздуха составила 20 °С при норме 13 °С. При этом количество осадков (28,1 мм) соответствовало среднегодовой норме. Несмотря на сложившиеся нетипичные условия посевного периода, были получены дружные всходы. Продолжительность периода посев—всходы составила 7 сут. Июнь 2020 года характеризовался очень контрастными метеорологическими условиями. Первые две декады были крайне засушливыми — 1,1 и 1,8 мм, или 8 и 16 % нормы. Осадки в III декаде (33 мм) значительно выровняли ситуацию. В целом за месяц выпало 35,9 мм (82 %). Избыток тепла в июне составил 211 °С. Создавшиеся метеорологические условия ускорили прохождение растениями фазы кущения. В июле 2020 года осадки выпадали крайне неравномерно. Их количество составило 75,6 мм (106 %), а распределение было следующим: основное количество выпало в I декаде июля (66,6 мм), во II и III декадах оно было крайне низким — 0,2 и 8,8 мм (1 и 34 %). Сумма положительных температур в июле составила 1938 °С, что было на 268 °С выше среднегодовых значений. Создавшиеся погодные условия положительно отразились на закладке и формировании элементов колоса. Август 2020 года также был сухим и жарким. Среднесуточная температура воздуха составляла 19,8 °С, или на 2,6 °С выше нормы. На фоне повышенных температур количество осадков 2,6 мм (43 %) ускорило наступление фазы восковой спелости пшеницы. В 2020 году период созревания

зерна в сравнении с многолетним наблюдением сократился на 10 сут. В целом 2020 год по агрометеорологическим условиям для роста и развития культуры характеризовался раннелетней и августовской засухой и выраженным июльским максимумом осадков. Обеспеченность культуры в 2020 году влагой в критический период (выход в трубку—колошение) положительно отразилась на формировании урожая и качестве зерна.

В условиях ограниченных водных ресурсов актуализируется селекция пшеницы по признакам, обеспечивающим повышение эффективности использования влаги (22). По данным А. Nawaz с соавт. (23), наиболее пагубно отражается на завязывании и созревании зерна засуха в репродуктивную фазу и фазы налива зерна. В степной зоне Северного Казахстана часто наблюдается раннелетняя засуха, поэтому более адаптированы к местным условиям сорта с удлинённым межфазным периодом всходы—колошение и укороченным колошение—созревание зерна.

Средние показатели урожайности мягкой пшеницы в Казахстане обусловлены не только природно-климатическими факторами, но и несовершенством агротехнологий для возделывания новых сортов (24).

По мнению В.А. Крупнова (25), в засушливую первую половину вегетации оптимальную урожайность формируют средне- или позднеспелые сорта. По нашим данным, в эту группу можно включить и среднеранние сорта, так как разницы по длине вегетационного периода между ними (79 сут) и среднеспелыми (80 сут) линиями не наблюдалось. Кроме того, не отмечалось разницы по продолжительности межфазного периода всходы—колошение у линий разных групп спелости (табл. 1).

1. Продолжительность межфазных периодов вегетации у сортов и линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в степной зоне Северного Казахстана (Северо-Казахстанская обл., Аккайынский р-н, 2018-2020 годы)

Показатель	Межфазный период, сут		
	всходы—колошение	колошение—созревание	всходы—созревание
	Среднеранние ($n = 21$)		
$M \pm SEM$	45,0 \pm 4,00	34,0 \pm 5,50	79,0 \pm 1,52
Lim	41-49	29-40	78-81
R	8	11	3
$C_v, \%$	7,3	13,1	1,8
	Среднеспелые ($n = 9$)		
$M \pm SEM$	46,0 \pm 4,16	34,0 \pm 4,50	80,0 \pm 1,52
Lim	43-51	30-39	79-82
R	8	9	3
$C_v, \%$	7,3	10,7	1,6

Примечание. Lim — лимит, R — размах, C_v — коэффициент вариации.

Полученные нами данные показывают преимущества созданных научными центрами Казахстана среднеранних линий и сортов. Благодаря медленному развитию от всходов до колошения они более устойчивы к весенне-раннелетней засухе. Известно, что у сортов с ранним колошением в условиях высокой температуры и нехватки воды повышается индекс урожайности (26, 27). Совершенствование агрономических фенотипов осуществляется на основе анализа генетической изменчивости селекционного материала (28).

В целом можно отметить, что размах варьирования и коэффициент вариации длины межфазных периодов и вегетации по годам во многом зависели от метеорологических условий и генетических особенностей линий. У среднераннеспелых и среднеспелых линий C_v длины межфазного периода всходы—колошение составил 7,3 %. При этом для межфазного периода колошение—созревание наблюдалась средняя степень изменчивости признака — соответственно 13,1 и 10,7 %. Для продолжительности вегетационного

периода изменчивость была незначительной и составляла 1,8 и 1,6 %.

Корреляционная зависимость между длиной вегетационного периода и урожайностью у линий различных типов спелости была выражена по-разному. Чрезмерное удлинение периода всходы—колошение у среднеранних линий имело отрицательную связь с урожайностью (r от $-0,05$ до $-0,27$, $p = 0,05-0,27$), поскольку вело к сокращению периода формирования и налива зерна.

В 2018 году у среднеспелых линий проявилась слабая отрицательная связь между длиной вегетационного периода и урожайностью ($r = -0,05$, $p = 0,05$). Это объясняется негативным влиянием высокой влажности и пониженной температурой в период формирования и налива зерна. В 2019 и 2020 годах метеорологические условия в те же периоды оказались благоприятными, что подтверждала четко выраженная корреляционная связь средней силы ($r = 0,64-0,68$, $p = 0,75-0,82$) с урожайностью.

Следовательно, продолжительность межфазных периодов и периода вегетации у изученных линий обусловлена генетически, но их изменчивость во многом определяется метеорологическими условиями. По данным П.Л. Гончарова с соавт. (29), доля влияния сорта на длину вегетационного периода в засушливых условиях составляет 69,8 %. Наблюдаемые нами корреляционные связи между урожайностью и длиной вегетационного периода у линий различных типов спелости могут быть связаны с особенностями перераспределения ассимилятов, генетических систем фотопериодических реакций, яровизации, сигналинга, влияющими на формирование зерновой продуктивности растений и ареал возделывания сорта (30-32).

Доказано, что высокая урожайность и качество зерна достигаются при оптимальных показателях для различных элементов структуры урожая (33). Так, число продуктивных стеблей зависит от условий окружающей среды и генотипических особенностей (с наследуемостью признака на уровне $0,51-0,72$) (34). У сортов с более продолжительным межфазным периодом всходы—кушение наблюдается увеличение числа продуктивных стеблей (35). По данным Е.В. Ионовой (36), растения среднеспелого типа имеют растянутый период кушения, замедленное увядание, распластанную форму куста и хорошую корневую систему, для них характерно снижение ассимиляции в жаркие дневные часы. Такие растения ускоряют развитие, стремясь быстрее завершить цикл, из-за чего резко снижается их продуктивность. Растения среднеранних сортов теряют тургор, увядают, но сохраняют жизнеспособность боковых побегов. При выпадении осадков возобновляется их бурный рост, сокращается вторая половина вегетации. Растения среднеспелых сортов страдают от засухи, верхние листья желтеют, нижние и боковые побеги отмирают, сохраняется только главный колос. В наших исследованиях коэффициент кушение у среднеспелых линий составил в среднем 1,2, у среднеранних — 1,3 (табл. 2).

В селекции пшеницы часто исследуются взаимосвязи трех компонентов: числа продуктивных стеблей на 1 м^2 , числа зерен в колосе и массы 1000 зерен, которые в значительной степени коррелируют с урожайностью (37). В наших опытах среднеранние и среднеспелые линии пшеницы в основном различались числом продуктивных стеблей на единице площади. Так, у среднеспелых линий этот показатель составил 219 шт/м^2 , что больше, чем у среднеранних линий, на 15 шт/м^2 (или на 7 %) (см. табл. 2). В среднеранней группе размах варьирования и коэффициент вариации ($R = 90$, $Cv = 8,8 \%$) был выше, чем в среднеспелой группе ($R = 62$, $Cv = 7,8 \%$), что

2. Элементы структуры урожайности у линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разных групп спелости в степной зоне Северного Казахстана по годам наблюдений (Северо-Казахстанская обл., Аккайынский р-н, 2018-2020 годы)

Сорт, линий	Число продуктивных стеблей, шт/м ²				Продуктивная кустистость				Число зерен в колосе, шт.				Масса 1000 зерен, г			
	2018	2019	2020	M±SEM	2018	2019	2020	M±SEM	2018	2019	2020	M±SEM	2018	2019	2020	M±SEM
Среднеранние (n = 21)																
Астана (стандарт)	217	192	260	223,0±29,78	1,0	1,0	1,2	1,1±0,10	14	30	30	24,6±8,00	33,5	43,7	34,2	37,1±4,93
Лютесценс 932 СП2/04	215	231	196	214,0±15,17	1,1	1,8	1,4	1,4±0,30	14	29	27	23,3±7,05	35,2	36,6	43,1	38,3±3,65
Эритроспермум 738 2/09	179	211	221	203,6±19,0	0,9	1,9	1,3	1,4±0,43	22	31	30	27,6±4,27	37,7	36,6	39,2	38,8±1,13
Лютесценс 817 СП2/09	227	263	241	243,6±15,71	1,0	1,6	1,2	1,3±0,26	13	28	27	22,6±7,26	35,6	42,5	39,4	39,1±2,99
Лютесценс 753 СП2/09	172	185	201	186,0±12,57	1,0	1,8	1,2	1,4±0,36	18	28	25	23,6±4,44	37,0	42,5	40,2	39,9±2,39
Лютесценс 1125 СП2/09	214	225	183	207,3±18,86	1,1	1,5	1,3	1,3±0,17	11	33	27	23,6±9,84	36,9	45,1	42,5	41,5±3,62
Лютесценс 736 СП2/04	204	201	237	214,0±17,29	1,1	1,5	1,2	1,3±0,18	19	26	28	24,3±4,09	39,4	41,8	43,8	41,7±1,90
Лютесценс № 528	203	201	165	189,6±18,52	1,1	1,8	1,3	1,5±0,31	13	30	30	24,3±8,50	35,7	46,5	40,1	40,8±4,70
Лютесценс 1148 СП2/09	209	253	163	208,3±38,97	1,0	1,6	1,3	1,3±0,25	12	33	32	25,6±10,25	29,1	42,7	38,0	36,6±5,98
Лютесценс 588 СП2/05	189	204	216	203,0±11,71	1,2	1,7	1,6	1,5±0,22	13	28	35	25,3±9,73	44,3	45,2	40,8	43,4±2,01
Лютесценс 857 СП2/05	239	234	191	221,3±22,85	1,0	1,7	1,1	1,3±0,32	18	28	30	25,3±5,56	36,2	45,7	40,2	40,7±4,13
Лютесценс 1206 СП2/19	176	217	192	195,0±17,89	1,2	2,3	1,3	1,6±0,52	21	29	29	26,3±4,00	36,8	38,0	38,0	37,6±0,60
Лютесценс 1143 СП2/09	216	212	192	206,6±11,13	1,1	2,0	1,1	1,4±0,45	13	27	28	22,6±7,26	31,5	48,2	41,6	40,4±7,28
Лютесценс 783 СП2/07	197	181	219	199,0±16,52	1,2	1,8	1,1	1,4±0,32	11	25	28	21,3±7,85	35,8	47,8	40,4	41,3±5,24
Лютесценс 687 СП2/04	195	181	168	181,3±11,69	1,1	1,4	1,0	1,2±0,18	14	31	29	24,6±8,04	37,8	37,2	42,2	39,1±2,36
Лютесценс 821 СП2/08	186	284	199	223,0±46,09	1,1	1,7	1,5	1,4±0,26	15	31	30	25,3±7,76	33,8	44,1	40,0	39,3±4,49
Лютесценс 742 СП2/19	170	208	199	192,3±17,19	1,0	1,4	1,5	1,3±0,22	15	22	30	22,3±6,50	40,2	36,6	40,0	38,9±1,75
Лютесценс 822 СП2/0927	184	222	201	202,3±16,48	1,1	1,5	1,2	1,3±0,18	13	27	29	23,0±7,54	36,9	42,2	38,2	39,1±2,39
Лютесценс 1068 СП2/09	212	205	189	202,3±10,21	1,2	1,5	1,3	1,3±0,13	15	27	26	22,6±5,76	34,4	45,8	45,7	40,2±5,67
Лютесценс 715 СП2/04	180	273	181	211,3±46,25	1,3	2,1	1,4	1,6±0,37	18	30	28	25,3±5,56	39,3	46,2	42,2	42,6±3,00
Лютесценс 630 СП2/08	154	156	152	154,0±1,73	1,1	1,5	1,1	1,2±0,20	16	31	25	24,0±6,53	39,9	43,3	43,6	42,3±1,77
M±SEM	197,0±21,07	216,1±31,6	198,3±26,6	203,8±18,05	1,1±0,09	1,6±0,27	1,2±0,15	1,3±0,10	15,1±3,06	28,7±2,61	28,7±2,27	24,2±1,49	36,5±3,19	42,7±3,70	40,6±2,48	39,9±1,88
Lim	154-239	156-284	152-260	154-244	0,9-1,3	1,0-2,3	1,0-1,6	1,1-1,6	11-22	22-33	25-35	21-28	29,1-44,3	36,6-48,2	34,2-45,7	36,6-43,4
R	85	128	108	90	0,4	1,3	0,6	0,5	11	11	10	7	15,2	11,6	11,5	9,2
Cv, %	10,6	14,5	13,3	8,8	8,5	16,3	11,8	9,0	20,0	9,2	9,0	6,2	8,7	8,1	6,0	4,6

Продолжение таблицы 2

	Среднеспелые (n = 9)															
	192	237	232	220,3±21,36	1,0	1,0	1,1	1,0±0,05	17	26	27	23,3±4,76	38,8	37,0	34,2	36,7±2,00
Омская 35 (стандарт)	192	237	232	220,3±21,36	1,0	1,0	1,1	1,0±0,05	17	26	27	23,3±4,76	38,8	37,0	34,2	36,7±2,00
Линия 55/94-01	213	228	221	220,6±6,50	1,0	1,5	1,5	1,0±0,25	23	35	33	30,3±5,56	33,4	42,6	40,0	38,7±4,10
Линия 12/93-01-10	227	196	264	229,0±29,48	1,1	1,0	1,6	1,2±0,27	12	32	29	24,3±9,34	43,3	48,4	41,0	44,2±3,27
Лютесценс 2174	300	140	215	218,3±69,32	1,3	1,3	1,5	1,4±0,10	20	26	30	25,3±4,35	36,2	47,0	37,7	40,3±5,06
Лютесценс 371/06	225	188	220	211,0±17,38	1,1	1,6	1,4	1,4±0,21	24	31	31	28,6±3,50	39,3	40,6	43,2	41,0±1,71
Лютесценс 1919	172	212	300	228,0±56,70	1,0	1,7	1,1	1,3±0,32	16	29	33	26,0±7,69	40,5	40,3	38,3	39,7±1,05
Лютесценс 43/01	159	174	237	190,0±35,84	1,2	1,5	1,3	1,3±0,13	18	26	29	24,3±4,92	34,6	46,3	45,2	42,0±5,59
Линия 33/93-01-15	201	310	245	252,0±47,48	1,2	2,1	1,5	1,6±0,39	17	31	35	27,6±8,18	32,1	42,3	36,1	36,8±4,45
Лютесценс 248/01	232	188	175	198,3±25,86	1,3	1,4	1,5	1,4±0,08	17	28	34	26,3±7,46	34,5	45,3	39,1	39,6±4,69
M±SEM	213,4±39,77	208,1±46,50	234,3±33,59	218,6±19,48	1,1±0,11	1,4±0,32	1,3±0,17	1,2±0,11	18,2±3,52	29,3±3,03	31,2±2,57	26,2±2,18	36,9±3,56	43,3±3,56	39,4±3,27	39,9±2,31
Lim	159-300	140-310	175-300	170-252	1,0-1,3	1,0-2,1	1,1-1,6	1,0-1,6	12-24	26-35	27-35	23-30	32,1-43,3	37,0-48,4	34,2-45,2	36,7-44,2
R	141	170	125	62	0,3	1,1	0,5	0,6	12	9	8	7	11,2	11,4	11,0	7,5
Cv, %	18,1	21,7	13,9	7,8	10,2	22,2	12,5	14,4	19,0	10,2	8,1	8,7	9,5	8,1	8,0	5,7

Примечание. Lim — лимит, R — размах, Cv — коэффициент вариации.

обусловлено меньшим колебанием значений лимитов по годам.

В целом урожайность зерновых культур зависит от ряда факторов, в том числе от способности растений синтезировать и перераспределять ассимиляты, формировать элементы структуры урожая, а также от сроков прохождения фаз развития и созревания (38). Ряд признаков, включая число зерен в колосе, потенциал урожайности, сроки цветения и налива зерна, рассматривают как комплексный показатель, объясняющий 76 % вариации урожайности зерна ($r = 0,70$, $p = 0,86$), который может быть использован в программах по селекции линий яровой мягкой пшеницы с высокой продуктивностью при засухах (39). Потенциал урожайности можно повышать за счет более эффективного плодоношения (40), то есть отбора на высокую фертильность колоса, которую оценивают как соотношение числа зерновок к числу цветков в колосе, для достижения высоких и стабильных урожаев (41). На изогенных мутантных линиях показано значительное увеличение массы 1000 зерен (на 6,6 %), ширины (на 2,8 %) и длины зерновки (на 2,1 %) у гексаплоидной пшеницы, которое привело к увеличению массы зерна с колоса (42). Успешная селекция на повышение продуктивности и адаптивности сортов основывается на детальном анализе наследуемости признаков урожайности и влияния взаимодействия генотип—среда на их проявление (43), применения молекулярных маркеров для лучшего понимания генетической основы и взаимосвязи хозяйственно значимых признаков (44).

В годы наших исследований среднее значение числа зерен в колосе в среднеранней группе составляло 24 шт., в среднеспелой — 26 шт. Озерненность колоса в обеих группах спелости показывала низкое варьирование ($C_v = 6,2$ и $8,7$ % при значении размаха $R = 7$). Крайние высокие значения лимитов были выше у среднеспелых линий (30 шт.). По данным Ю.С. Красновой (45), между числом зерен в колосе и массой зерна с колоса и урожайностью существует положительная связь средней силы. Более высокая урожайность среднеспелых форм была обусловлена их хорошей озерненностью: у Линии 55/94-01 — 33 шт., Лютесценс 1919 — 33 шт., Лютесценс 248/01 — 34 шт., Линии 33/93-01-15 — 35 шт. (см. табл. 2).

Масса 1000 зерен по сравнению с озерненностью колоса, несмотря на довольно широкий размах варьирования ($R = 36,6$ - $43,4$ г у среднеранних сортов, $R = 36,7$ - $44,2$ г — у среднеспелых), оказалась более стабильным признаком — C_v соответственно 4,6 и 5,7 %, что указывает на эффективность отбора по нему в местных условиях (см. табл. 2). Снижение массы 1000 зерен может происходить с увеличением индекса продуктивности (46).

В среднеранней группе высокой массой 1000 зерен характеризовались линии Лютесценс 783 СП 2/07 (41,3 г), Лютесценс 1125 СП 2/09 (41,5 г), Лютесценс 736 СП 2/04 (41,7 г), Лютесценс 1068 СП 2/09 (42,0 г), Лютесценс 630 СП 2/08 (42,3 г), Лютесценс 715 СП 2/04 (42,6 г), Лютесценс 588 СП 2/05 (43,4 г). В среднеспелой группе по этому показателю выделились линии Лютесценс 2174 (40,3 г), Лютесценс 371/06 (41,0 г), Лютесценс 43/01 (42,0 г), Линия 12/93-01-10 (44,2 г) при среднем значении 39,9 г. Указанные линии представляют интерес для отбора по массе 1000 зерен.

В.С. Валекжанин и Н.И. Коробейников отмечали (47), что озерненность колоса имеет более высокую изменчивость, чем масса 1000 зерен. Однако в наших исследованиях в степной зоне Северного Казахстана вышеуказанные признаки более стабильны при низком варьировании.

Продуктивность колоса (число зерен на единицу массы колосового

стержня) обеспечивает возможность повышения урожайности в регионах с ее высоким потенциалом (48, 49), в то же время низкая влагообеспеченность во время цветения снижает урожайность зерна на 46,7 %, повышение температуры воздуха — на 33,6 % (50). Результаты экспериментов показали, что для изученных нами линий была характерна средняя степень изменчивости урожайности зерна ($C_v = 11,4-13,4$ %). По средней урожайности среднеранние линии (2,1 т/га) уступали среднеспелым (2,3 т/га). Внутри среднеранней группы следует отметить линии Лютесценс 817 СП 2/09 (2,2 т/га), Эритроспермум 738 2/09 (2,3 т/га), Лютесценс 857 СП 2/05 (2,4 т/га), Лютесценс 715 СП 2/04 (2,4 т/га), Лютесценс 821 СП 2/08 (2,4 т/га) при значении стандарта Астана 2,0 т/га. В среднеспелой группе высокий урожай формировали линии Лютесценс 12/93-01-10 (2,4 т/га), Линия 1919 (2,5 т/га), Линия 55/94-01 (2,6 т/га), Линия 33/93-01-15 (2,8 т/га) при значении стандарта Омская 35 (1,8 т/га).

У изученных линий мы оценили связь каждого элемента структуры урожая с урожайностью по годам. У среднеранних форм урожайность во все годы исследований имела достоверно положительную связь с озерненностью колоса ($r = 0,35-0,86$, $p = 0,36-1,29$). В благоприятные 2018 и 2019 годы наблюдалась тесная связь между урожайностью и числом продуктивных стеблей ($r = 0,68-0,83$, $p = 0,82-1,18$). В те же 2018 и 2019 годы, благоприятные в период формирования и налива зерна, связь массы 1000 зерен с урожайностью оказалась средней ($r = 0,37-0,54$, $p = 0,38-0,60$), а при проявлении августовской засухи в 2020 году связь была слабой отрицательной ($r = -0,16$, $p = 0,16$).

При создании высокоурожайных сортов предлагается повышать продуктивность главного колоса и вторичных побегов, совершенствовать архитектуру колоса, вести отбор по скорости налива зерна, индексу урожайности, крупности зерна (51-54). В изученной нами группе среднеранних линий удачным представляется отбор на сочетание крупнозерности (абсолютная масса 41,5-43,4 г) с высокой озерненностью колоса (до 25-28 шт.), что было хорошо выражено у линий Лютесценс 588 СП 2/05, Лютесценс 715 СП 2/04, Лютесценс 687 СП2/04.

У изученных нами среднеспелых линий наиболее выраженной была связь урожайности с числом продуктивных стеблей ($r = 0,74-0,86$, $p = 0,95-1,29$) и озерненностью колоса ($r = 0,31-0,71$, $p = 0,32-0,88$). При этом с массой 1000 зерен связь оказалась слабой в 2018 и 2020 годах ($r = 0,01-0,24$, $p = 0,01-0,24$), а при неблагоприятных условиях в период формирования и налива зерна в 2019 году — слабой отрицательной ($r = -0,08$, $p = 0,08$). Наши данные согласуются с результатами А.Т. Babkenov с соавт. (55), сообщавшими о слабой корреляционной связи между урожайностью и массой 1000 зерен (r от 0,03 до -0,33). Отсюда следует, что при отборе среднеспелых форм в степной зоне Северного Казахстана особое внимание необходимо уделять озерненности колоса (до 26-30 шт.) и числу продуктивных стеблей (234-300 шт/м²). С этой точки зрения наилучшие показатели имели Линия 33/95-01-05, Лютесценс 371/06, Линия 55/94-01.

Экологически пластичными по урожайности оказались 15 из 30 изученных линий разных типов спелости (табл. 3). В наших исследованиях из 20 линий среднеранней группы выделились четыре — Эритроспермум 738 2/09 (2,3 т/га), Лютесценс 588 СП2/05 (2,3т/га), Лютесценс 857 СП2/05 (2,4 т/га), Лютесценс 821 СП2/08 (2,4 т/га), достоверно (НСР₀₅ 0,2 т/га) превосходящие по урожайности стандарт сорт Астана на 0,3-0,4 т/га. Эти линии характеризовались более высокой озерненностью колоса в сочетании с

большей массой 1000 зерен. Из восьми линий среднеспелой группы урожайность пяти — Линия 12/93-01-10 (2,4 т/га), Лютесценс 371/06 (2,4 т/га), Лютесценс 1919 (2,5 т/га), Линия 55/94-01 (2,6 т/га), Линия 33/93-01-05 (2,8 т/га) была достоверно (НСР₀₅ 0,3 т/га) выше стандарта Омская 35 на 0,6-1,0 т/га.

3. Биологическая урожайность сортов и линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разных групп спелости в степной зоне Северного Казахстана по годам наблюдений (Северо-Казахстанской обл., Аккайынский р-н)

Сорт, линия	Урожайность, т/га							
	2018 год		2019 год		2020 год		среднее	
	т/га	ООС, %	т/га	ООС, %	т/га	ООС, %	т/га	ООС, %
Среднеранние (n = 21)								
Астана (стандарт)	0,9		2,5		2,6		2,0	
Лютесценс 932 СП2/04	1,1	122	2,4	96	2,3	90	1,9	95
Эритроспермум 738 2/09	1,6	178	2,6	104	2,6	0	2,3	115
Лютесценс 817 СП2/09	1,0	111	3,1	124	2,6	0	2,2	100
Лютесценс 753 СП2/09	1,4	156	2,1	84	2,3	90	1,9	95
Лютесценс 1125 СП2/09	0,9	0	2,8	112	2,1	90	1,9	95
Лютесценс 736 СП2/04	1,5	167	2,1	84	2,9	112	2,2	100
Лютесценс № 528	0,9	0	2,8	112	2,0	77	1,9	95
Лютесценс 1148 СП2/09	0,8	90	3,5	140	2,0	77	2,1	105
Лютесценс 588 СП2/05	1,1	122	2,6	104	3,1	119	2,3	115
Лютесценс 857 СП2/05	1,6	178	3,0	120	2,7	104	2,4	120
Лютесценс 1206 СП2/19	1,4	156	3,1	124	2,1	80	2,2	100
Лютесценс 1143 СП2/09	0,9	0	3,6	144	2,2	85	2,2	100
Лютесценс 783 СП2/07	0,8	90	3,3	132	2,5	96	2,2	100
Лютесценс 687 СП2/04	1,0	122	2,1	84	2,1	80	1,7	85
Лютесценс 821 СП2/08	1,0	122	3,8	152	2,4	92	2,4	120
Лютесценс 742 СП2/19	1,0	122	1,6	64	2,2	85	1,6	80
Лютесценс 822 СП2/09	0,9	0	2,5	0	2,2	85	1,9	95
Лютесценс 1068 СП2/09	1,1	122	2,6	104	2,2	85	2,0	0
Лютесценс 715 СП2/04	1,3	144	3,8	152	2,1	80	2,4	120
Лютесценс 630 СП2/08	0,9	9	2,6	104	1,6	61	1,7	85
M±SEM	1,1±0,25		2,7±0,59		2,3±0,34		2,0±0,24	
Lim	0,8-1,6		1,6-3,8		1,6-3,1		1,6-2,4	
R	0,8		2,2		1,5		0,8	
Cv, %	23,0		20,7		20,7		11,7	
НСР ₀₅	1,87		2,14		1,10		0,20	
Среднеспелые (n = 9)								
Омская 35 (стандарт)	1,1		2,2		2,1		1,8	
Линия 55/94-01	1,6	145	3,2	145	2,9	138	2,6	144
Линия 12/93-01-10	1,2	109	2,9	131	3,2	152	2,4	133
Лютесценс 2174	2,2	200	1,7	77	2,8	133	2,2	122
Лютесценс 371/06	2,1	190	2,3	104	2,8	133	2,4	133
Лютесценс 1919	1,1	0	2,5	114	3,8	180	2,5	139
Лютесценс 43/01	1,2	109	2,2	0	3,1	148	2,2	122
Линия 33/93-01-15	1,1	0	4,1	186	3,1	148	2,8	156
Лютесценс 248/01	1,3	18,2	2,4	9,1	2,4	14,3	2,0	122
M±SEM	1,4±0,43		2,6±0,70		2,9±0,48		2,3±0,30	
Lim	1,1-2,2		1,7-4,1		2,1-3,8		1,8-2,8	
R	1,1		2,4		1,7		1,0	
Cv, %	28,7		25,4		15,7		14,1	
НСР ₀₅	2,21		2,04		1,30		0,30	

Примечание. ООС — отклонения от стандарта, Lim — лимит, R — размах, Cv — коэффициент вариации.

Таким образом, у среднеранних линий яровой мягкой пшеницы в условиях Северо-Казахстанской области межфазный период всходы—колошение соответствует по продолжительности периоду у среднеспелых линий. Вегетационный период сокращается за счет ускоренного прохождения фазы колошение—созревание зерна. По урожайности из группы среднеранних изученных линий выделены Эритроспермум 738 2/09 (2,3 т/га), Лютесценс 588 СП2/05 (2,3 т/га), Лютесценс 857 СП2/05 (2,4 т/га), Лютесценс 821 СП2/08 (2,4 т/га), из группы среднеспелых — Линия 12/93-01-10 (2,4 т/га), Лютесценс 371/06 (2,4 т/га), Лютесценс 1919 (2,5 т/га), Линия 55/94-01 (2,6 т/га), Линия 33/93-01-05 (2,8 т/га). У среднеспелых линий выявлена

корреляционная связь между урожайности с числом продуктивных стеблей ($r = 0,74-0,86$, $p = 0,95-1,29$) и озерненностью колоса ($r = 0,31-0,71$, $p = 0,32-0,88$). У среднеранних линий проявилась достоверная положительная связь урожайности с озерненностью колоса ($r = 0,35-0,86$, $p = 0,36-1,29$) и тесная корреляция с числом продуктивных стеблей ($r = 0,68-0,83$, $p = 0,82-1,18$). Связь урожайности с массой 1000 зерен — средняя положительная ($r = 0,37-0,54$, $p = 0,38-0,60$), а в засушливый год — слабая отрицательная ($r = -0,16$, $p = 0,16$). Для степной зоны Северно-Казахстанской области в качестве исходного материала в селекции на засухоустойчивость и повышение адаптационного потенциала мы предлагаем привлекать среднеранние линии Лютесценс 715 СП2/04, Лютесценс 821 СП2/08, Лютесценс 588 СП2/05, Эритроспермум 738 2/09 и среднеспелые Линия 33/93-01-15, Линия 55/94-01, Лютесценс 371/06, Лютесценс 1919, Линия 12/93-01-10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ray D.K., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, 2013, 8(6): e66428 (doi: 10.1371/journal.pone.0066428).
2. Ramankutty N., Mehrahi Z., Waha K., Jarvis L., Kremen C., Herrero M., Rieseberg L.H. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual Review of Plant Biology*, 2018, 69: 789-815 (doi: 10.1146/annurev-arplant-042817-040256).
3. Hall A.J., Richards R.A. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research*, 2013, 143: 18-33 (doi: 10.1016/j.fcr.2012.05.014).
4. Foulkes M.J., Reynolds M.P. Chapter 16 — Breeding challenge: improving yield potential. In: *Crop physiology (Second edition). Applications for genetic improvement and agronomy* / V.O. Sadras, D.F. Calderini (eds.). Academic Press, Elsevier, 2015: 397-421 (doi: 10.1016/b978-0-12-417104-6.00016-9).
5. Flohr B.M., Hunt J.R., Kirkegaard J.A., Evans J.R., Swan A., Rheinheimer B. Genetic gains in nsw wheat cultivars from 1901 to 2014 as revealed from synchronous flowering during the optimum period. *European Journal of Agronomy*, 2018, 98: 1-13 (doi: 10.1016/j.eja.2018.03.009).
6. Lopes M.S., Reynolds M.P., Manes Y., Singh R.P., Crossa J., Braun H.J. Genetic yield gains and changes in associated traits of CIMMYT spring bread wheat in a “Historic” set representing 30 years of breeding. *Crop Science*, 2012, 52(3): 1123-1131 (doi: 10.2135/cropsci2011.09.0467).
7. Новохатин В.В. Обоснование генетического потенциала у интенсивных сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Сельскохозяйственная биология*, 2016, 51(5): 627-635 (doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.627rus).
8. Кужахметов Б.А. Результаты экологического испытания сортов яровой пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области. *Известия Оренбургского государственного университета*, 2011, 3(31): 28-30.
9. Валекжанин В.С., Коробейников Н.И. Селекционная оценка коллекционного материала яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. *Достижения науки и техники АПК*, 2015, 29(6): 35-37.
10. Козленко Н.П., Поползухина Н.А., Поползухин П.В. Агроэкологическое обоснование возделывания яровой мягкой пшеницы. *Омский научный вестник*, 2015, 1(138): 138-141.
11. Li P., Chen J., Wu P. Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. *Agronomy Journal*, 2011, 103(6): 1619-1628 (doi: 10.2134/agronj2011.0013).
12. Якунина Н.А., Поползухина Н.А., Шамакова О.А., Поползухин П.В., Баяхметова С.Е., Дашкевич С.М., Мамыкина С.С., Бабкенов А.Т. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы селекции ГНУ СибНИИСХ и ТОО НПЦЗХ им. А.И. Бараева. *Сельскохозяйственный журнал*, 2013, 3(6): 308-311.
13. Upadhyay D., Budhlakoti N., Singh A.K., Bansal R., Kumari J., Chaudhary N., Padaria J.C., Sareen S., Kumar S. Drought tolerance in *Triticum aestivum* L. genotypes associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation. *3 Biotech*, 2020, 10(6): 281 (doi: 10.1007/s13205-020-02264-8).
14. AbdElgawad H., Zinta G., Beemster G.T.S., Janssens I.A., Asard H. Future climate CO₂ levels mitigate stress impact on plants: increased defense or decreased challenge? *Frontiers in plant science*, 2016, 7: 556 (doi: 10.3389/fpls.2016.00556).
15. *Определение органического вещества (гумуса) по методу Тюрина в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26213-91*. М., 2021.
16. *Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка*

водной вытяжки: ГОСТ 26423-85.М., 2011.

17. *Определение нитратов по методу ЦИНАО: ГОСТ 26488-85. М., 2019.*
18. *Определение подвижного фосфора и калия в карбонатных почвах по методу Мачигина в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26205-91. М., 2020.*
19. Федин М.А. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.* М., 1989.
20. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований).* М., 1985.
21. Trenberth K.E. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 2011, 47(1-2): 123-138 (doi: 10.3354/cr00953).
22. Ovenden B., Milgate A., Wade L., Rebetzke G., Holland J.B. Genome-wide associations for water-soluble carbohydrate concentration and relative maturity in wheat using SNP and dArT marker arrays. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 2017, 7(8): 2821-2830 (doi: 10.1534/g3.117.039842).
23. Nawaz A., Farooq M., Cheema S.A., Yasmeen A., Wahid A. Stay green character at grain filling ensures resistance against среднее in wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2013, 15(6): 1272-1276.
24. Ирмулатов Б.Р., Абдуллаев К.К., Комаров А.А., Якушев В.В. О перспективах прецизионного управления продуктивностью пшеницы в условиях Северного Казахстана. *Сельскохозяйственная биология*, 2021, 56(1): 92-102 (doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.92rus).
25. Крупнов В.А. Засуха и селекция пшеницы: системный подход. *Сельскохозяйственная биология*, 2011, 1: 12-23.
26. Kobata T., Koç M., Barutçular C., Tanno K., Inagaki M. Harvest index is a critical factor influencing the grain yield of diverse wheat species under rain-fed conditions in the Mediterranean zone of southeastern Turkey and northern Syria. *Plant Production Science*, 2018, 21(2): 71-82 (doi: 10.1080/1343943X.2018.1445534).
27. Mondal S., Singh R.P., Huerta-Espino J., Kehel, Z., Autrique E. Characterization of heat- and drought-stress tolerance in high-yielding spring wheat. *Crop Science*, 2015, 55(4): 1552-1562 (doi: 10.2135/cropsci2014.10.0709).
28. Bevan M., Uauy C., Wulff B.B.H., Zhou J., Krasileva K., Clark M.D. Genomic innovation for crop improvement. *Nature*, 2017, 543: 346-354 (doi: 10.1038/nature22011).
29. Гончаров П.Л., Куркова С.В., Осипова Г.М. Реакция сортов яровой мягкой пшеницы на условия внешней среды в степной зоне Западной Сибири (Северная Кулунда). *Достижения науки и техники АПК*, 2013, 1: 5-7.
30. Díaz A., Zikhali M., Turner A.S., Isaac P., Laurie D.A. Copy number variation affecting the photoperiod-b1 and vernalization-a1 genes is associated with altered flowering time in wheat (*Triticum aestivum*). *PLoS ONE*, 2012, 7(3): 33234 (doi: 10.1371/journal.pone.0033234).
31. Yu S.-M., Lo S.-F., Ho T.-H.D. Source-sink communication: regulated by hormone, nutrient, and stress cross-signaling. *Trends in Plant Science*, 2015, 20(12): 844-857 (doi: 10.1016/J.TPLANTS.2015.10.009).
32. Martinez-Barajas E., Delatte T., Schlupepmann H., Jong G.J., Somsen G.W., Nunes C., Primavesi L.F., Coello P., Mitchell R.A., Paul M.J. Wheat grain development is characterized by remarkable trehalose 6-phosphate accumulation pregrain filling: tissue distribution and relationship to SNF1-related protein kinase1 activity. *Plant Physiology*, 2011, 156(1): 373-381 (doi: 10.1104/pp.111.174524).
33. Захаров В.Г., Яковлева О.Д. Изменение урожайности и элементов ее структуры у сортов яровой пшеницы разных периодов сортосмены. *Достижения науки и техники АПК*, 2015, 10: 53-57.
34. Li M., Liu Y., Ma J., Zhang P., Wang C., Su J., Yang D. Genetic dissection of stem WSC accumulation and remobilization in wheat (*Triticum aestivum* L.) under terminal drought stress. *BMC Genetics*, 2020, 21: 50 (doi: 10.1186/s12863-020-00855-1).
35. Елисеев В.И., Сандакова Г.Н. Влияние погодных факторов и различных доз минеральных удобрений на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы в Оренбургском Предуралье. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2019, 2(76): 37-39.
36. Ионова Е.В. Засуха и засухоустойчивость зерновых колосовых. *Зерновое хозяйство России*, 2011, 2(14): 37-41.
37. Zhang H., Chen J., Li R., Deng Z., Zhang K., Liu B., Tian J. Conditional QTL mapping of three yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Journal*, 2016, 4(3): 220-228 (doi: 10.1016/j.cj.2016.01.007).
38. Lawlor D.W., Paul M.J. Source/sink interactions underpin crop yield: the case for trehalose 6-phosphate/SnRK1 in improvement of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 2014, 5: 418 (doi: 10.3389/fpls.2014.00418).
39. Abdolshahi R., Nazari M., Safarian A., Sadathossini T.S., Salarpour M., Amiri H. Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs using discriminant analysis. *Field Crops Research*, 2015, 174: 20-29 (doi: 10.1016/j.fcr.2015.01.009).
40. Slafer G.A., Elia M., Savin R., García G.A., Terrile I.I., Ferrante A., Miralles D.J., Gonzá-

- lez F.G. Fruiting efficiency: an alternative trait to further rise wheat yield. *Food and Energy Security*, 2015, 4(2): 92-109 (doi: 10.1002/fes3.59).
41. Alonso M.P., Mirabella N.E., Panelo J.S., Cendoya M.G., Pontaroli A.C. Selection for high spike fertility index increases genetic progress in grain yield and stability in bread wheat. *Euphytica*, 2018, 214: 112 (doi: 10.1007/s10681-018-2193-4).
 42. Simmonds J., Scott P., Brinton J., Teresa C.M., Bush M., Blanco del A., Dubcovsky J., Uauy C.A. Splice acceptor site mutation in TaGW2-A1 increases thousand grain weight in tetraploid and hexaploid wheat through wider and longer grains. *Theoretical and Applied Genetics*, 2016, 129: 1099-1112 (doi: 10.1007/s00122-016-2686-2).
 43. Lázaro I., Abbate P. Cultivar effects on relationship between grain number and photothermal quotient or spike dry weight in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 150(4): 442-459 (doi: 10.1017/S0021859611000736).
 44. Luján Basile S.M., Ramírez I.A., Crescente J.M., Conde M.B., Demichelis M., Abbate P., Rogers W.J., Pontaroli A.C., Helguera M., Vanzetti L.S. Haplotype block analysis of an Argentinean hexaploid wheat collection and GWAS for yield components and adaptation. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1): 553 (doi: 10.1186/s12870-019-2015-4).
 45. Краснова Ю.С. Изменчивость элементов продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири. *Вестник ОмГАУ*, 2016, 1(21): 64-70.
 46. Su Z., Hao C., Wang L., Dong Y., Zhang X. Identification and development of a functional marker of tagw2 associated with grain weight in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 2011, 122(1): 211-223 (doi: 10.1007/s00122-010-1437-z).
 47. Валекжанин В.С., Коробейников Н.И. Изменчивость и характер наследования числа зерен колоса гибридами F₁ мягкой яровой пшеницы в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. *Вестник АГАУ*, 2020, 3(185): 23-29.
 48. Abbate P.E., Pontaroli A.C., Lázaro L., Gutheim F. A method of screening for spike fertility in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 2013, 151(3): 322-330 (doi: 10.1017/S0021859612000068).
 49. Terrile I.I., Miralles D.J., González F.G. Fruiting efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.): trait response to different growing conditions and its relation to spike dry weight at anthesis and grain weight at harvest. *Field Crops Research*, 2017, 201: 86-96 (doi: 10.1016/j.fcr.2016.09.026).
 50. Ly D., Huet S., Gauffreteau A., Rincenc R., Touzy G., Mini A., Jannink J.-L., Cormier F., Paux E., Lafarge S., Le Gouis J., Charmet G. Whole-genome prediction of reaction norms to environmental stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by genomic random regression. *Field crops research*, 2018, 216: 32-41 (doi: 10.1016/j.fcr.2017.08.020).
 51. Коробейников Н.И., Валекжанин В.С., Пешкова Н.В. Принципы и основные результаты селекции яровой мягкой пшеницы в Алтайском крае (2007-2014 гг.). *Достижения науки и техники АПК*, 2015, 29(6): 21-26.
 52. Ma L., Li T., Hao C., Wang Y., Chen X., Zhang X. *TaGS5-3A*, a grain size gene selected during wheat improvement for larger kernel and yield. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14(5): 1269-1280 (doi: 10.1111/pbi.12492).
 53. Wolde G.M., Mascher M., Schnurbusch T. Genetic modification of spikelet arrangement in wheat increases grain number without significantly affecting grain weight. *Molecular Genetics and Genomics*, 2019, 294: 457-468 (doi: 10.1007/s00438-018-1523-5).
 54. Azam S.M., Mohammad F., Ahmad I., Khalil I.H., Jadoon S.A., Nasim A. Divergence in F₃ segregating bread wheat populations. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 2013, 13(03): 94-99.
 55. Babkenov A.T., Kairzhanov Y.K., Mussynov K.M., Bazilova D.S., Zaitseva O.I. Productivity of spring soft wheat cultivars grown in Northern Kazakhstan. *Ecology, Environment and Conservation*, 2017, 23(2): 786-794.

¹Кокшетауский университет им. Шокана Уалиханова,
020000 Казахстан, г. Кокшетау, ул. Абая, 76,
e-mail: aidarbekova_t@mail.ru, syzdykova_1956@mail.ru, nurrashit@mail.ru,
abil_tokan@mail.ru, saulemach@mail.ru;

²Северо-Казахстанский университет
им. Манаша Козыбаева,
150000 Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86,
e-mail: natali_gorec@mail.ru ✉;

³Кокшетауский университет им. Абая Мырзахметова,
020000 Казахстан, г. Кокшетау, ул. Ауэзова 189 «а»,
e-mail: marhaba_zhabaeva@mail.ru;

⁴Омский государственный аграрный университет
им. П.А.Столыпина,
644008 Россия, г. Омск, Институтская площадь, 1,
e-mail: od.shoykin@omgau.org

Поступила в редакцию
19 октября 2021 года

COMPARATIVE ASSESSMENT OF SPRING SOFT WHEAT LINES (*Triticum aestivum* L.) IN THE STEPPE ZONE OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION

T.J. Aidarbekova¹, G.T. Syzdykova¹, N.V. Malitskaya²✉, R.E. Nurgazyev¹,
A.T. Husainov¹, M.U. Zhabayeva³, S.K. Makhanova¹, O.D. Shoykin⁴

¹Kokshetau Shokan Ualikhanov University, 76, Abay st., Kokshetau, 020000 Kazakhstan, e-mail aidarbekova_t@mail.ru, syzdykova_1956@mail.ru, nurrashit@mail.ru, abil_token@mail.ru, saulemach@mail.ru;

²North Kazakhstan Manash Kozybayev University, 86, Pushkin st., Petropavlovsk, 150000 Kazakhstan, e-mail natali_gorec@mail.ru (✉ corresponding author);

³Kokshetau Abay Myrzakhetov University, 189a, Auezov st., Kokshetau, 020000 Kazakhstan, e-mail marhaba_zhabaeva@mail.ru;

⁴Stolypin Omsk State Agrarian University, 1, Institutskaya pl., Omsk, 644008 Russia, e-mail od.shoykin@omgau.org
ORCID:

Aidarbekova T.J. orcid.org/0000-0001-9486-6734

Syzdykova G.T. orcid.org/0000-0002-3511-8311

Malitskaya N.V. orcid.org/0000-0003-4382-2357

Nurgazyev R.E. orcid.org/0000-0001-6582-635X

The authors declare no conflict of interests

Received October 19, 2021

Husainov A.T. orcid.org/0000-0001-6328-4133

Zhabayeva M.U. orcid.org/0000-0003-0300-634X

Makhanova S.K. orcid.org/0000-0001-9084-348X

Shoykin O.D. orcid.org/0000-0001-8803-2645

doi: 10.15389/agrobiology.2022.1.66eng

Abstract

Spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most highly demanded crops in Kazakhstan. In 2020, the gross harvest of spring soft wheat reached in recent years the highest outcome of 18.0 million tons. The most important resource for increasing the yield of spring soft wheat is the adaptability and implementation of the variety according to a complex of economically valuable traits. New varieties must be flexible under different environmental conditions. In the presented work, we, for the first time, have identified lines of spring soft wheat well adapted to the conditions of the North Kazakhstan region, distinguished by productivity, a set of economically valuable parameters, environmental stability and plasticity. The aims of the work were i) a comparative assessment of the lines of spring soft wheat of different ripeness groups to the highest extent adapted to the conditions of the steppe zone of Northern Kazakhstan and ii) the assessment of economically valuable traits and their interrelationship with grain yield. The trial was performed using an extended set of spring soft wheat lines of various ripeness from research centers of Kazakhstan (fallow soil, the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station LLP, Republic of Kazakhstan, 2018-2020). A total of 28 lines were studied, including 20 middle-early and 8 mid-season lines. Two cultivars registered in North Kazakhstan region served as the standards, the middle-early cv. Astana and the mid-season cv. Omskaya 35. The duration of inter phase and vegetation periods, yield and the main elements of yield structure were studied. The length of growing season was 79 days for the mid-early lines and 80 days for the mid-ripening lines. A shorter growing season was characteristic for the mid-early lines Lutescens 1125 SP 2/09 (73 days), Lutescens 528 (74 days), Lutescens 630 SP 2/08 (74 days), Lutescens 742 SP 2/19 (74 days), Lutescens 715 SP 2/04 (75 days), Lutescens 687 SP 2/04(75 days), Lutescens 1148 SP 2/09 (76 days) vs. the standard cv. Astana (79 days). In the mid-season group, the Liniya 12/93-01(82 days), Liniya 33/93-01-15 (82 days), Lutescens 2194 (82 days), Lutescens 1919 (85 days) stood out for the optimal length of growing season vs. the standard cv. Omskaya 35 (80 days). In terms of crop yield in the mid-early ripeness group, the following lines were distinguished: Lutescens 588 SP 2/05 (2.3 t/ha), Erythrospermum 738 2/09 (2.3 t/ha), Lutescens 857 SP 2/05 (2.4 t/ha), Lutescens 821 SP 1/08 (2.4 t/ha), Lutescens 715 SP 2/04 (2.4 t/ha) vs. cv. Astana (2.0 t/ha). In the mid-season group, Lutescens 371/06 (2.4 t/ha), Line 12/93-01-10 (2.4 t/ha), Lutescens 1919 (2.5 t/ha), Line 55/94-01 (2.6 t/ha), and Line 33/93-01-15 (2.8 t/ha) were superior to cv. Omskaya 35 (1.8 t/ha). In the studied mid-early lines, the main elements of the yield structure were the number of productive stems (154-244 stems/m²), the grain number per ear (21-28 grains), and the 1000-grain weight of 36.6-43.4 g. In the mid-season group, the number of productive stems was 170-252 stems/m², the number of grains per ear was 23-30 grains, and the 1000-grain weight of was 34.2-45.2 g. The yield of mid-early lines showed correlation with the grain number per ear ($r = 0.35-0.86$, $p = 0.36-1.29$) and tight correlation with the number of productive stems ($r = 0.68-0.83$, $p = 0.82-1.18$). The yield of mid-season lines correlated with the number of productive stems ($r = 0.74-0.86$, $p = 0.95-1.29$) and the grain number per ear ($r = 0.31-0.71$, $p = 0.32-0.88$). The correlation between yield of the studied lines and the 1000-grain weight was medium ($r = 0.37-0.54$, $p = 0.38-0.60$) and, in a dry year, weakly negative ($r = -0.16$, $p = 0, 16$). Therefore, for the North Kazakhstan steppe zone, we propose to involve the mid-early lines Lutescens 715 SP2/04, Lutescens 821 SP2/08, Lutescens 588 SP2/05, Erythrospermum 738 2/09 and mid-season Line 33/93-01-15, Line 55/94-01, Lutescens 371/06, Lutescens 1919, Line 12/93-01-10 in breeding for drought resistance and adaptive potential.

Keywords: spring soft wheat, mid-early lines, mid-ripe lines, growing season length, grain productivity, yield structure elements.