

DOI 10.33952/2542-0720-2021-2-26-145-154

УДК 633.111.1

Лепехов С. Б.

СРАВНЕНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ С ГИБРИДОМ F₁ ПО ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»

Реферат. Создание линий удвоенных гаплоидов пшеницы – перспективное направление в России. Критерии выявления комбинаций скрещивания, для которых целесообразно осуществлять андрогенез *in vitro*, не определены. Один из таких критериев – уровень гетерозиса в F₁ или F₂. Цель исследований – установление возможности достижения линиями поздних поколений уровня урожайности гибрида F₁. Исследования проводили в 2017–2019 гг. на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий». Материалом исследования являлись сорта Голубковская, Омская 28, Саратовская 70, F₁ Омская 28 × Саратовская 70, F₁ Голубковская × Саратовская 70, четыре селекционные линии от скрещивания Голубковская × Саратовская 70 и семь селекционных линий от скрещивания Омская 28 × Саратовская 70. Изучали следующие признаки: полевою всхожесть, сохранность растений к уборке, высоту растения, количество колосьев на 1 м², биомассу растения, количество колосков в колосе, число зёрен в колосе, массу 1000 зёрен, массу зерна главного колоса и растения, уборочный индекс (K_{хоз}), урожайность, длительность периода «всходы – колошение», устойчивость к полеганию, устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине. Гетерозис к лучшему родителю у рассматриваемых гибридов F₁ наблюдали в трех случаях из шести (прибавка 3–19%). С 2017 по 2019 гг. зафиксировано пять случаев достоверных прибавок урожайности у линий поздних поколений к соответствующим гибридам F₁ (прибавка 2–44%). Линии, превзошедшие гибриды F₁ по урожайности, характеризовались высокорослостью (+5–30 см), более растянутым периодом «всходы – колошение» (+7–8 дней), большей биомассой растений (+1,24–5,16 г), количеством колосков в колосе (+0,5–2,8 штук) и его озернёностью (+3,5–8,0 штук). Линии поздних поколений могут достигать по урожайности гибрида F₁, что отчасти возможно благодаря отбору линий по желаемым признакам, определяемых рецессивными генами.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), селекция, гетерозис, урожайность.

Для цитирования: Лепехов С. Б. Сравнение селекционных линий пшеницы с гибридом F₁ по хозяйственно ценным признакам // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 145–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-145-154.

For citation: Lepekhov S. B. Comparison of soft spring wheat breeding lines and F₁ hybrid according to economically valuable traits // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2 (26). P. 145–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-145-154.

Введение

У самоопыляющихся полевых культур – ячменя и пшеницы, в отличие от подсолнечника и кукурузы, производство гетерозисных семян не получило широкого распространения по причине их дорогостоящего производства. Альтернативой гибридным семенам может быть перевод самоопыляющихся культур на размножение посредством апомиксиса. Однако возможность переноса в пшеницу генов, вызывающих апомиксис, и их использование пока находится в стадии исследований [1]. Получение удвоенных гаплоидов из гетерозисных гибридов

рассматривается как альтернативный подход для «закрепления» гетерозиса, при условии, что сверхдоминирование не является главным компонентом гетерозиса в конкретной комбинации скрещивания [2]. Начиная с 1997 г. в Канаде зарегистрированы 25 сортов пшеницы, полученные с помощью метода удвоенных гаплоидов [3]. В России аналогичным способом создан сорт ячменя Тандем [4].

Получение удвоенных гаплоидов из гибридов первого поколения может способствовать значительному ускорению селекции. Однако сокращение селекционного цикла от скрещивания до создания чистой линии с 8–10 лет до 1–2 лет также исключает и искусственный отбор, проводимый на протяжении этих 8–10 лет. Если селекционные линии – это результат удачной рекомбинации и искусственного отбора, то дигаплоидные линии – лишь результат рекомбинации. Можно ожидать, что использование дигаплоидной технологии хотя и будет иметь преимущество перед традиционной селекцией в скорости создания чистых линий, но проиграет по эффективности. Одним из способов повышения эффективности биотехнологических методов в селекции пшеницы может стать выявление конкретных комбинаций скрещивания, в которых целесообразно получение дигаплоидных линий. Показано, что уровень гетерозиса в F_1 связан с урожайностью в F_2 [5]. В то же время известно, что урожайные линии выщепляют из высокоурожайных гибридных популяций [6]. Таким образом, уровень гетерозиса в F_1 косвенно характеризует селекционную ценность комбинации скрещивания.

На примере гороха продемонстрирована незначительность сверхдоминирования в определении гетерозиса [7]. Большая аддитивная генетическая вариация для гетерозисного эффекта установлена у ячменя [8]. У риса комплементарное доминирование (включая частичное доминирование) аллелей из различных локусов вносит главный вклад в гетерозис гибрида F_1 [9]. Следствие доминантной гипотезы гетерозиса заключается в том, что инбредные особи, отобранные из гибридных популяций, могут быть идентичны F_1 по продуктивности.

В научной литературе имеется большое количество примеров получения селекционных линий равных или превосходящих по урожайности гибрида F_1 . Данные сообщения имеются для ячменя [10, 11], гороха [12], риса [13, 14] и пшеницы [2, 15–17]. В подобные исследования включают либо случайные растения, либо создают дигаплоиды, которые тоже не подвергают отбору. Однако и при использовании традиционных методов селекции достигнуты положительные результаты [13].

В 2015–2016 гг. в контрольном питомнике лаборатории селекции мягкой пшеницы ФГБНУ ФАНЦА в большом количестве присутствовали линии F_{12} – F_{13} от двух комбинаций скрещиваний: Омская 28 × Саратовская 70 и Голубковская × Саратовская 70, что свидетельствует об их селекционной перспективности в сравнении с другими комбинациями этого же года скрещивания. Мы решили сравнить данные линии с родительскими сортами и F_1 .

Цель исследований – установление возможности достижения линиями поздних поколений уровня урожайности гибрида F_1 .

Материалы и методы исследований

Исследование проведено в 2017–2019 гг. на опытном поле ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий». Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемошной малогумусный среднесуглинистый (содержание гумуса – 3,8%; валового азота – 0,23%; подвижного фосфора и обменного калия по Чирикову – 200 мг/кг и 180 мг/кг соответственно; $pH_{\text{сол}}$ – 6,15) [18]. Материалом исследования являлись сорта Голубковская (Гол.), Омская 28 (Ом. 28), Саратовская 70 (С. 70), F_1 Омская 28 × Саратовская 70, F_1 Голубковская × Саратовская 70, четыре линии от скрещивания

Голубковская × Саратовская 70 (Линия 1 – Линия 4) и семь линий от скрещивания Омская 28 × Саратовская 70 (Линия 5 – Линия 11). Селекционные линии были получены в ходе отбора из гибридных популяций F₂–F₄ в 2004–2006 гг. по 100 колосьев на популяцию для дальнейшей работы методом педигри. Посев осуществляли по паровому предшественнику в первой декаде мая ручной сеялкой «РС-1» на делянках размером 0,9 м² (длина рядка – 0,9 м, ширина междурядий – 0,2 м, количество рядков – 5) в трёхкратной повторности по схеме рендомизированных блоков. По причине дефицита гибридных семян в рядок высевали по 40 зёрен, что эквивалентно 360 зёрен на 1 м². Изучали следующие признаки: полевую всхожесть, сохранность растений к уборке, высоту растения, количество продуктивных стеблей на 1 м², биомассу растения, количество колосков в колосе, число зёрен в колосе, массу 1000 зёрен, массу зерна главного колоса и растения, уборочный индекс (K_{хоз}), урожайность, длительность периода «всходы – колошение», устойчивость к полеганию, а также устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине [19]. Статистическую обработку вели методом дисперсионного анализа в изложении Т. Литтл, Ф. Хиллз [20].

В 2017 г. количество осадков в первой половине вегетации практически равнялось среднемуголетнему значению (94 мм против 89 мм). В июле выпало 138 % от среднемуголетней нормы осадков (116 мм). Вегетационный период 2018 г. характеризовался достаточным и избыточным количеством осадков (213 мм). Аномально холодный (среднесуточные температуры на 3,0–4,8 °C ниже среднемуголетних значений) и дождливый (96 мм) май сменился влажным (64 мм, что на 16 % выше нормы) и тёплым (превышение среднемуголетней нормы на 2,3 °C) июнем. В июле, несмотря на дефицит осадков (41 мм, что на 36 % ниже нормы), растения не проявляли признаков угнетения от засухи. Август характеризовался дефицитом осадков (11 мм против нормы 49 мм). Главным лимитирующим фактором в 2017 и 2018 гг. являлось интенсивное развитие листостебельных болезней. 2019 г. характеризовался дефицитом осадков (145 мм или 72 % от нормы), однако благоприятные гидротермические условия июня (+8 мм осадков и –0,7°С по температуре воздуха к среднемуголетнему значению) способствовали формированию относительно высокой урожайности.

Результаты и их обсуждение

Двухфакторный дисперсионный анализ свидетельствует о значимости факторов «Год», «Генотип» и их взаимодействия в варьировании урожайности рассматриваемых сортообразцов (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа урожайности сортов, гибридов F₁ и линий яровой мягкой пшеницы в 2017–2019 гг.

Фактор	SS	df	ms	F _{факт.}	F _{табл.0,05}
Год	2329059	2	1164529	908,5	3,1
Генотип	174550	15	11637	9,1	1,8
Взаимодействие Год × Генотип	145493	30	4850	3,8	1,6
Остаточная дисперсия	123053	96	1282	-	-

Гетерозис к лучшему родителю у рассматриваемых гибридов F₁ наблюдался в трех случаях из шести. Однако все прибавки не были статистически значимыми. В период с 2017 по 2019 гг. зафиксировано пять случаев достоверных прибавок урожайности у линий поздних поколений к обоим гибридам F₁. При этом все прибавки наблюдали в те годы, когда гибриды F₁ не имели гетерозиса к лучшему родителю. В комбинации скрещивания Голубковская × Саратовская 70 отмечено три случая превосходства по урожайности линиями поздних поколений лучшего родительского сорта – Голубковской (таблица 2). Во всех случаях имевшего место

гетерозиса большинство линий поздних поколений достигали по урожайности соответствующий гетерозисный гибрид в обеих комбинациях скрещивания.

Таблица 2 – Урожайность родительских сортов, их гибридов F₁ и линий яровой мягкой пшеницы (г/м²)

Генотип	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее
Линия 1	179	536	400	371
Линия 2	201	541	409	384
Линия 3	232	435	516	394
Линия 4	225	610	458	431
Голубковская	224	545	388	385
F ₁ Голубковская × Саратовская 70	266	592	358	405
Саратовская 70	171	417	363	317
F ₁ Омская 28 × Саратовская 70	259	593	408	420
Омская 28	276	575	459	437
Линия 5	252	603	474	443
Линия 6	316	584	499	466
Линия 7	251	510	455	405
Линия 8	172	556	436	388
Линия 9	221	538	441	400
Линия 10	226	518	394	379
Линия 11	314	558	458	443
НСР ₀₅	46	59	67	-

Гетерозис гибрида F₁ к лучшему родителю в комбинации скрещивания Голубковская × Саратовская 70 в среднем за три года был достигнут за счёт лучшей полевой всхожести семян (+10 %), большего количества продуктивных стеблей с единицы площади посева (+29 штук), крупности зерна (+0,7 г), более продуктивных побегов кущения (+0,22 г) и большего уборочного индекса (+0,3%) (таблица 3).

Таблица 3 – Гетерозис к лучшему родителю у гибридов F₁ (среднее за 2017–2019 гг.)

Признак	Гол.*	F ₁	Гетерозис	С.70*	F ₁	Гетерозис	Ом. 28*
		Гол.× С.70 *			Ом.28× С.70 *		
Полевая всхожесть, %	72	83	+10	73	86	+4	82
Выживаемость растений, %	88	84	-	84	84	-	83
Количество продуктивных стеблей, штук/м ²	478	507	+29	406	472	-	520
Высота растения, см	103	96	-	86	96	-	105
Устойчивость к полеганию, балл	3,5	3,8	-	3,8	4,0	+0,2	3,5
Степень поражения бурой ржавчиной, %	100	37	-	23	36	-	94
Степень поражения стеблевой ржавчиной, %	22	33	-	20	30	-	24
Период «всходы – колошение», дни	44,3	39,2	-	38,7	39,2	-	45,3
Биомасса растения, г	6,69	6,57	-	5,43	6,01	-	7,31
Количество колосков в колосе, штук	15,2	13,5	-	12,1	13,7	-	15,3
Озерненность главного колоса, штук	29,6	27,6	-	24,0	27,6	-	30,7
Масса 1000 зёрен, г	31,8	35,6	+0,7	34,9	36,7	+1,8	32,7
Масса зерна главного колоса, г	1,01	1,04	+0,03	0,89	1,06	-	1,09
Масса зерна растения, г	2,27	2,52	+0,25	2,09	2,30	-	2,49
K _{хоз} , %	33,6	38,3	+0,3	38,0	38,3	+0,3	33,9
Урожайность, г/м ²	385	405	+20	317	420	-	437

Примечание. Здесь и далее * Гол. – Голубковская; С.70 – Саратовская 70; Ом.28 – Омская 28.

Превосходство гибрида F₁ над лучшим родителем в комбинации скрещивания Омская 28 × Саратовская 70 отмечено лишь по полевой всхожести (+4 %), устойчивости к полеганию (+0,2 балла), крупности зерна (+1,8 г) и по уборочному индексу (+0,3 %).

Линии, превзошедшие гибриды F₁ Омская 28 × Саратовская 70 по урожайности в 2017 г., характеризовались высокорослостью (+22–30 см), более растянутым периодом «всходы – колошение» (+6–8 дней), большей биомассой растений (+1,24–1,26 г), количеством колосков в колосе (+0,5–1,2 штук) и его озерненностью (+3,5–5,8 штук) (таблица 4).

Таблица 4 – Морфобиологические признаки лучших линий в комбинации скрещивания Омская 28 × Саратовская 70 в сравнении с гибридом F₁ и лучшим родителем (Омская 28), 2017 г.

Признак	Ом.28	F ₁ Ом.28 × С.70	Линия 6	Линия 11	НСР ₀₅
Полевая всхожесть, %	81	88	78	80	13
Выживаемость растений, %	93	81	94	86	F<Ft
Количество продуктивных стеблей, штук/м ²	450	357	433	406	F<Ft
Высота растения, см	103	89	119	111	5
Устойчивость к полеганию, балл	4	5	3,5	3,5	-
Степень поражения бурой ржавчиной, %	100	57	57	10	-
Степень поражения стеблевой ржавчиной, %	5	25	10	65	-
Период «всходы – колошение», дни	44,0	38,0	46,0	44,0	0,8
Биомасса растения, г	5,63	4,49	6,16	5,73	1,44
Количество колосков в колосе, штук	15,0	13,8	15,0	14,3	1,0
Озерненность главного колоса, штук	29,5	28,7	34,5	32,2	4,5
Масса 1000 зёрен, г	27,1	31,3	27,2	29,3	2,7
Масса зерна главного колоса, г	0,85	0,96	1,02	1,00	0,19
Масса зерна растения, г	1,72	1,70	1,79	1,85	0,48
K _{хоз} , %	30,5	37,7	29,1	32,3	3,0
Урожайность, г/м ²	276	259	316	314	46

В 2019 г. линии поздних поколений превосходили соответствующие гибриды F₁ по аналогичным признакам с дополнительной прибавкой по продуктивности главного колоса (+0,26–0,33 г) (таблица 5).

Таблица 5 – Морфобиологические признаки лучших линий в комбинациях скрещивания Омская 28 × Саратовская 70 и Голубковская × Саратовская 70 в сравнении с их гибридами F₁ и лучшими родителями (Омская 28, Голубковская), 2019 г.

Признак	Гол.	F ₁ Гол. × С.70	Линия 3	Линия 4	Ом.28	F ₁ Ом.28 × С.70	Линия 6	НСР ₀₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Полевая всхожесть, %	74	81	81	74	82	79	78	F<Ft
Выживаемость растений, %	78	79	84	86	76	78	79	F<Ft
Количество продуктивных стеблей, штук/м ²	454	469	494	422	485	448	520	F<Ft
Высота растения, см	100	99	104	107	100	96	120	6
Устойчивость к полеганию, балл	3,5	3,5	3,5	3	3,5	4,0	2,0	-
Интервал «всходы – колошение», дни	46,0	41,0	49,3	48,0	47,0	41,0	49,0	0,5

Продолжение таблицы 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Биомасса растения, г	6,61	6,33	8,24	8,56	7,28	6,84	12,0	2,99
Количество колосков в колосе, штук	15,2	13,4	15,0	15,1	15,2	13,3	16,1	1,1
Озерненность главного колоса, штук	30,2	27,8	35,6	34,6	32,1	27,5	35,5	5,2
Масса 1000 зёрен, г	36,4	39,4	37,7	38,5	37,2	41,1	39,6	F<Ft
Масса зерна главного колоса, г	1,15	1,15	1,46	1,41	1,31	1,18	1,61	0,21
Масса зерна, г	2,42	2,42	3,30	3,29	2,77	2,69	4,26	F<Ft
K _{хоз} , %	36,2	38,5	40,0	38,5	38,3	39,4	35,6	F<Ft
Урожайность, г/м ²	388	358	516	458	459	408	499	67

Наш эксперимент достаточно убедительно демонстрирует возможность получения методами классической селекции линий, достигающих по урожайности и элементам его структуры уровня гетерозисного гибрида F₁. Тем не менее, преимущество таких линий, как и гетерозис в F₁, варьирует от года к году. Эксперимент был проведён при низких нормах высева, что напрямую связано с ограниченной возможностью получения значительного количества гибридных семян первого поколения у пшеницы. Однако некоторые исследователи указывают на то, что плотность посева не влияет на величину урожайности [21], и что линии, оказавшиеся лучшими в разреженном посеве, подтверждают своё преимущество при обычной норме высева [10].

В связи с существенным взаимодействием «генотип-среда» прогностическая ценность величины гетерозиса по урожайности в F₁ остаётся малоприменимой для практической селекции и биотехнологии, учитывая небольшой размер делянки, однолетнее испытание и отсутствие повторностей в опыте. Главной проблемой при сравнении F₁, родителей и линий поздних поколений является взаимодействие лимитирующих факторов среды, выраженности признаков, связанных с устойчивостью к ним, и характера наследования этих признаков. Во всех случаях линии, превзошедшие по урожайности гибрид F₁, характеризовались большей высотой растения и продолжительным периодом «всходы – колошение», в сравнении с гибридом F₁. Два данных признака являются ключевыми при селекции засухоустойчивых сортов степного экотипа в Алтайском крае. Поэтому под действием искусственного отбора у линий поздних поколений эти признаки были сдвинуты в большую сторону по сравнению с родительскими сортами. Максимальной прибавкой урожайности к F₁ такие генотипы обладали в 2019 г. на фоне засухи в первой половине лета и отсутствия листостебельных болезней после колошения. Противоположную картину наблюдали в 2017 и 2018 гг., когда скороспелость способствовала «уходу» от ржавчинных болезней в конце вегетации. Именно в эти годы среднеранние гибриды F₁ формировали урожайность на уровне лучшего родителя либо выше его.

В нашем эксперименте высота растения наследовалась по промежуточному типу, а скороспелость доминировала. В аналогичных исследованиях отмечено, что скороспелость доминирует [15, 22], а высота растения гибрида остаётся на уровне самого высокого родителя или имеет промежуточное значение [2, 10, 23]. Данные особенности наследования этой пары признаков вели к формированию среднерослого и среднераннего морфотипа у гибрида F₁. Растения с подобным морфотипом, при отборе из гибридных популяций, как правило, забраковывает селекционер ещё в ранних поколениях. Таким образом, гибриды F₁ обладали двумя нежелательными признаками.

Из элементов структуры урожая промежуточное наследование отмечено для количества колосков и озернённости колоса, а устойчивый гетерозис – по массе 1000 зёрен и $K_{хоз}$. В научной литературе есть сведения о различной величине гетерозиса по элементам структуры урожая. В одних исследованиях прибавка урожайности гибрида была достигнута посредством увеличения колосьев с единицы площади посева без существенных изменений в компонентах урожая [10, 15], в других – масса 1000 зёрен демонстрировала самый сильный гетерозис [11, 17]. Мы обращаем внимание на то, что прибавка урожайности к лучшему родителю у гибридов F_1 и линий поздних поколений достигнута за счёт различных элементов структуры урожая. В эксперименте Uddin и др. [17] компоненты урожайности чистых линий и гибрида F_1 были идентичны, что и позволило авторам прийти к выводу о возможности восстановления гомозиготных генотипов с теми же основными характеристиками, как и гетерозисных гибридов, из которых они были получены.

Если в случае гибридов F_1 их морфобиологические признаки детерминированы различными положительными генами двух родительских форм, то у инбредных линий поздних поколений, благодаря рекомбинации генов, возникают трансгрессии. В нашем случае положительные трансгрессии имелись по высоте растения, длительности периода «всходы – колошение», продуктивности главного колоса, устойчивости к болезням (см. таблицы 4, 5). Достоверная прибавка по урожайности у линий поздних поколений к лучшему родителю свидетельствует о том, что отбор был успешен только в комбинации Голубковская × Саратовская 70. В комбинации Омская 28 × Саратовская 70 были отобраны линии, достигавшие по урожайности величины лучшего родителя – Омская 28, но не превосходившие его в рассматриваемых условиях. Напомним, что в эксперимент включены линии пшеницы от двух самых успешных в селекционном плане комбинаций скрещивания. Отсутствие в данных комбинациях статистически значимого гетерозиса по урожайности к лучшему родителю за три года исследования свидетельствует об ограниченной ценности данного показателя, что соответствует данным других ученых [17].

Выводы

Линии поздних поколений яровой мягкой пшеницы достигали по уровню урожайности гибрида F_1 , из которого они были получены (прибавки в серии лет от 2 до 44 %). Данные линии характеризовались высокорослостью (+5–30 см), более растянутым периодом «всходы – колошение» (+7–8 дней), большей биомассой растений (+1,24–5,16 г), количеством колосков в колосе (+0,5–2,8 штук) и его озернёностью (+3,5–8,0 штук).

Уровень гетерозиса в F_1 имеет ограниченную ценность для идентификации перспективных комбинаций скрещивания, так как в некоторых случаях признаки с отрицательными эффектами определяются доминантными генами и проявляются в F_1 .

Литература

1. Morrison L. A., Metzger R. J., Lukaszewski A. J. Origin of the blue-aleurone gene in Sebesta Blue wheat genetic stocks and a protocol for its use in apomixis screening // *Crop Science*. 2004. Vol. 44. No. 6. P. 2063–2067. DOI: 10.2135/cropsci2004.2063.
2. Busch R. H., Lucken K. A., Froberg R.C. F_1 hybrids versus random F_5 line performance and estimates of genetic effects in spring wheat // *Crop science*. 1971. Vol. 11. No. 3. P. 357–361. DOI: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100030014x.
3. De Pauw R. M., Knox R. E., Humphreys D. G., Thomas J. B., Fox S. L., Brown P. D., Singh A. K., Pozniak C., Randhawa H. S., Fowler D. B., Graf R. J., Hucl P. New breeding tools impact Canadian commercial farmer fields // *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2011. Vol. 47. P. 28–34. DOI: 10.17221/3250-CJGPB.

4. Жилин Н. А., Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 1(60). С. 79–82.
5. Adhikari A., Ibrahim A. M. H., Rudd J. C., Baenziger P.S., Easterly A., Garst N., Belamkar V., Sarazin J.-B. Supplementing selection decisions in a hybrid wheat breeding program by using F₂ yield as a proxy of F₁ performance // Euphytica. 2020. Vol. 216. Iss. 130. DOI: 10.1007/s10681-020-02664-0.
6. Lalić A., Kovačević J., Novoselović D., Drezner G., Babić D. Comparison of pedigree and single seed descent method (SSD) in early generation of barley // Poljoprivreda. 2003. Vol. 9. Iss. 2. P. 33–37.
7. Sarawat P., Stoddard F. L., Marshall D. R. Derivation of superior F₅ lines from heterotic hybrids in pea // Euphytica. 1993. Vol. 73. Iss. 3. P. 265–272. DOI: 10.1007/BF00036705.
8. Yap T. C., Harvey B. L. Heterosis and combining ability of barley hybrids in densely and widely seeded conditions // Canadian Journal of Plant Science. 1971. Vol. 51. No. 2. P. 115–122. DOI: 10.4141/cjps71-024.
9. Xiao J., Li J., Yuan L., Tanksley S. D. Dominance is the major genetic basis of heterosis in rice as revealed by QTL analysis using molecular markers // Genetics. 1995. Vol. 140. Iss. 2. P. 745–754.
10. Polok K., Szarejko I., Maluszynski M. Barley mutant heterosis and fixation of F₁-performance in doubled haploid lines // Plant breeding. 1997. Vol. 116. Iss. 2. P. 133–140. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1997.tb02167.x.
11. Hanifi-Mekliche L., Gallais A. Heterosis, genetic effects and value of F₂s and doubled-haploid lines in barley breeding // Agronomie, EDP Sciences. 1999. Vol. 19. Iss. 6. P. 509–520.
12. Sarawat P., Stoddard F. L., Marshall D. R., Ali S. M. Heterosis for yield and related characters in pea // Euphytica. 1994. Vol. 80. Iss. 1. P. 39–48. DOI: 10.1007/BF00039296.
13. Ntanos D. A., Roupakias D. G. Rice F₁ hybrids: the breeding goal or a costly solution? // Australian Journal of Agricultural Research. 2003. Vol. 54. Iss. 10. P. 1005–1011. DOI: 10.1071/AR03023.
14. Naik N., Rout P., Umakanta N., Verma R.L., Katara J. L., Sahoo K. K., Singh O. N., Samantaray S. Development of doubled haploids from an elite indica rice hybrid (BS6444G) using anther culture // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2017. Vol. 128. P. 679–689. DOI: 10.1007/s11240-016-1149-4.
15. Jost M., Hayward C. F. F₁ hybrid versus 32 selected F₇ lines performance of common winter wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) // Theoretical and applied genetics. 1980. Vol. 58. Iss. 2. P. 177–180. DOI: 10.1007/BF00279711.
16. Suenaga K. Doubled haploid system using the intergeneric crosses between wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) // Bulletin of National Institute of Agrobiological Resources. 1994. Vol. 9. P. 83–139.
17. Uddin M. N., Ellison F. W., O'Brien H., Latter B. D. H. The performance of pure lines derived from heterotic bread wheat hybrids // Australian Journal of Agricultural Research. 1994. Vol. 45. Iss. 3. P. 591–600. DOI: 10.1071/AR9940591.
18. Усенко С. В., Усенко В. И., Гаркуша А. А., Барышева Н. В. Качество зерна пшеницы в зависимости от предшественника, обработки почвы, удобрений и средств защиты растений в лесостепи юга Западной Сибири // Достижение науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 32–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10705.
19. Койшыбаев М., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Скрининг пшеницы на устойчивость к основным болезням: методические указания. Анкара: FAO-SEK, 2014. 58 с.
20. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. М.: Колос, 1981. 320 с.
21. Matsuyama H., Ookawa T. The effects of seeding rate on yield, lodging resistance and culm strength in wheat // Plant Production Science, 2020. Vol. 23. Iss. 3. P. 322–332. DOI: 10.1080/1343943X.2019.1702469.
22. El-Hennawy M. A., Abdalla A. F., Shafey S. A., Al-Ashkar I.M. Production of doubled haploid wheat lines (*Triticum aestivum* L.) using anther culture technique // Annals of Agricultural Sciences. 2011. Vol. 56. Iss. 2. P. 63–72. DOI: 10.1016/j.aos.2011.05.008.
23. Kumar S., Kumar A., Kumar J. Genetic analysis for heterotic traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using six parameters model // Electronic Journal of Plant Breeding. 2017. Vol. 8. Iss. 1. P. 206–215. DOI: 10.5958/0975-928X.2017.00030.8.

References

1. Morrison L. A., Metzger R. J., Lukaszewski A. J. Origin of the blue-aleurone gene in Sebesta Blue wheat genetic stocks and a protocol for its use in apomixis screening // Crop Science. 2004. Vol. 44. No. 6. P. 2063–2067. DOI: 10.2135/cropsci2004.2063.
2. Busch R. H., Lucken K. A., Froberg R.C. F₁ hybrids versus random F₅ line performance and estimates of genetic effects in spring wheat // Crop science. 1971. Vol. 11. No. 3. P. 357–361. DOI: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100030014x.

3. De Pauw R. M., Knox R. E., Humphreys D. G., Thomas J. B., Fox S. L., Brown P. D., Singh A. K., Pozniak C., Randhawa H. S., Fowler D. B., Graf R. J., Hucl P. New breeding tools impact Canadian commercial farmer fields // *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2011. Vol. 47. P. 28–34. DOI: 10.17221/3250-CJGPB.
4. Zhilin N. A., Shchennikova I. N. Barley breeding methods and results in the Volga-Vyatka region // *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020. No. 1(60). P. 79–82.
5. Adhikari A., Ibrahim A. M. H., Rudd J. C., Baenziger P.S., Easterly A., Garst N., Belamkar V., Sarazin J.-B. Supplementing selection decisions in a hybrid wheat breeding program by using F₂ yield as a proxy of F₁ performance // *Euphytica*. 2020. Vol. 216. Iss. 130. DOI: 10.1007/s10681-020-02664-0.
6. Lalić A., Kovačević J., Novoselović D., Drezner G., Babić D. Comparison of pedigree and single seed descent method (SSD) in early generation of barley // *Poljoprivreda*. 2003. Vol. 9. Iss. 2. P. 33–37.
7. Sarawat P., Stoddard F. L., Marshall D. R. Derivation of superior F₅ lines from heterotic hybrids in pea // *Euphytica*. 1993. Vol. 73. Iss. 3. P. 265–272. DOI: 10.1007/BF00036705.
8. Yap T. C., Harvey B. L. Heterosis and combining ability of barley hybrids in densely and widely seeded conditions // *Canadian Journal of Plant Science*. 1971. Vol. 51. No. 2. P. 115–122. DOI: 10.4141/cjps71-024.
9. Xiao J., Li J., Yuan L., Tanksley S. D. Dominance is the major genetic basis of heterosis in rice as revealed by QTL analysis using molecular markers // *Genetics*. 1995. Vol. 140. Iss. 2. P. 745–754.
10. Polok K., Szarejko I., Maluszynski M. Barley mutant heterosis and fixation of F₁-performance in doubled haploid lines // *Plant breeding*. 1997. Vol. 116. Iss. 2. P. 133–140. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1997.tb02167.x.
11. Hanifi-Mekliche L., Gallais A. Heterosis, genetic effects and value of F₂s and doubled-haploid lines in barley breeding // *Agronomie, EDP Sciences*. 1999. Vol. 19. Iss. 6. P. 509–520.
12. Sarawat P., Stoddard F. L., Marshall D. R., Ali S. M. Heterosis for yield and related characters in pea // *Euphytica*. 1994. Vol. 80. Iss. 1. P. 39–48. DOI: 10.1007/BF00039296.
13. Ntanos D. A., Roupakias D. G. Rice F₁ hybrids: the breeding goal or a costly solution? // *Australian Journal of Agricultural Research*. 2003. Vol. 54. Iss. 10. P. 1005–1011. DOI: 10.1071/AR03023.
14. Naik N., Rout P., Umakanta N., Verma R.L., Katara J. L., Sahoo K. K., Singh O. N., Samantaray S. Development of doubled haploids from an elite indica rice hybrid (BS6444G) using anther culture // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2017. Vol. 128. P. 679–689. DOI: 10.1007/s11240-016-1149-4.
15. Jost M., Hayward C. F. F₁ hybrid versus 32 selected F₇ lines performance of common winter wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*) // *Theoretical and applied genetics*. 1980. Vol. 58. Iss. 2. P. 177–180. DOI: 10.1007/BF00279711.
16. Suenaga K. Doubled haploid system using the intergeneric crosses between wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) // *Bulletin of National Institute of Agrobiological Resources*. 1994. Vol. 9. P. 83–139.
17. Uddin M. N., Ellison F. W., O'Brien H., Latter B. D. H. The performance of pure lines derived from heterotic bread wheat hybrids // *Australian Journal of Agricultural Research*. 1994. Vol. 45. Iss. 3. P. 591–600. DOI: 10.1071/AR9940591.
18. Usenko S.V., Usenko V.I., Garkusha A.A., Barysheva N.V. Wheat grain quality of depending on the forecrop, tillage method, fertilizers, and plant protection means in the forest-steppe in the south of Western Siberia // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020. Vol. 34. No. 7. P. 32–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10705.
19. Koyshybaev M., Shamanin V. P., Morgunov A. I. Screening wheat for resistance to major diseases: guidelines. Ankara: FAO-SEK Publ., 2014. 58 p.
20. Little T., Hills F. Agricultural experimentation. Design and analysis. Moscow: Kolos, 1981. 320 p.
21. Matsuyama H., Ookawa T. The effects of seeding rate on yield, lodging resistance and culm strength in wheat // *Plant Production Science*. 2020. Vol. 23. Iss. 3. P. 322–332. DOI: 10.1080/1343943X.2019.1702469.
22. El-Hennawy M. A., Abdalla A. F., Shafey S. A., Al-Ashkar I.M. Production of doubled haploid wheat lines (*Triticum aestivum* L.) using anther culture technique // *Annals of Agricultural Sciences*. 2011. Vol. 56. Iss. 2. P. 63–72. DOI: 10.1016/j.aoas.2011.05.008.
23. Kumar S., Kumar A., Kumar J. Genetic analysis for heterotic traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using six parameters model // *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2017. Vol. 8. Iss. 1. P. 206–215. DOI: 10.5958/0975-928X.2017.00030.8.

UDC 633.111.1

Lepekhov S. B.

COMPARISON OF SOFT SPRING WHEAT BREEDING LINES AND F₁ HYBRID ACCORDING TO ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS

Summary. *Creation of doubled haploid lines in wheat is a promising direction of research in Russia. However, the criteria for identifying good cross combinations, for which it is advisable to carry out androgenesis in vitro, have not been defined. One of these criteria could be the rate of heterosis in F₁ or F₂. The aim of this work was to establish the possibility of achieving the yield level of the F₁ hybrid by the lines of later generations. The studies were carried out at the experimental fields of the FSBSI “Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology” in 2017-2019. Varieties ‘Golubkovskaya’, ‘Omskaya 28’, ‘Saratovskaya 70’, F₁ ‘Omskaya 28’ × ‘Saratovskaya 70’, F₁ ‘Golubkovskaya’ × ‘Saratovskaya 70’, four breeding lines from cross ‘Golubkovskaya’ × ‘Saratovskaya 70’ and seven breeding lines from cross ‘Omskaya 28’ × ‘Saratovskaya 70’ were material for this research. Germination, survival rate, plant height, number of spikes per m², plant biomass, number of spikelets per spike and grain per spike, 1000-seed weight, grain weight per spike and plant, harvest index, yield, duration of the “germination – ear formation” period, lodging resistance and leaf and stem rust resistance were examined. In three cases out of six, high-parent heterosis in the studied F₁ hybrids was observed (yield increase – 3–19%). Five cases of significant yield improvement in breeding lines compared to F₁ hybrids were detected in 2017–2019 (additional yield 2–44%). Lines exceeding hybrid F₁ in the context of yield were taller (+5–30 cm), with more extended period “germination – ear formation” (+7–8 days), higher plant biomass (+1.24–5.16 g), a larger number of spikelets per spike (0.5–2.8 units) and larger number of kernels (+3.5–8.0 units). Pure lines of soft spring wheat can be compared in yield to F₁ hybrid, from which they were obtained. This fact was possible due to the selection of lines for desired traits determined by recessive genes.*

Keywords: *soft spring wheat (Triticum aestivum L.), plant breeding, heterosis, yield.*

Лепехов Сергей Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агроботехнологий»; 656910, г. Барнаул, Научный городок, 35; e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

Lepekhov Sergey Borisovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, FSBSI “Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology”; 35, Nauchny gorodok, Barnaul, 656910, Russia; e-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

*Дата поступления в редакцию – 08.02.2021.
Дата принятия к печати – 22.03.2021.*