Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 5–15
Agrarian Scientific Journal. 2025;(11):5–15

АГРОНОМИЯ
4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Научная статья
УДК 633.854.78:631.527
https://doi.org/10 10.28983/asj.y2025i11pp5-15

Изучение морфологических признаков гибридов подсолнечника F_1 в системе тестерных скрещиваний и оценка комбинационной способности родительских компонентов

Людмила Александровна Гудова[1], Андрей Владимирович Лекарев[1], Анастасия Петровна Ермакова[1], Ольга Александровна Полевая[1], Татьяна Сергеевна Киселева[2]
[1]ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», г. Саратов, Россия
[2]ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия
e-mail: abelia77@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения морфологических признаков гибридов подсолнечника F_1, созданных по тестерной схеме, проведена оценка родительских форм (линий восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника) по уровню комбинационной способности. Исследования проводили в 2021–2024 гг. на опытном поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». В результате исследований установлено, что в вариантах скрещивания тестеров с Rf-линией л-966, получены самые высокорослые гибриды (среднее значение признака составило 149,4 см в 2023 г. и 144,1 см в 2024 г.). Изгиб прикорзиночной части стебля характеризовался сильной вариабельностью по годам исследований. Более стабильное проявление признака обнаружено у тестируемых гибридов на основе опылителя л-1735_{21} (11,12 см в 2023 г. и 12,7 см в 2024 г.). Крупные корзинки получены в комбинациях скрещивания ЦМС-линий с Rf-линией л-1443_{21} (23,31 см в 2023 г. и 20,56 см в 2024 г.). Относительно высокая площадь корзинки зафиксирована в скрещиваниях ЦМС-линий с отцовскими формами: л-1443_{21} (415,6 см^2 в 2023 г. и 334,4 см^2 в 2024 г.); л-966 (440,9 см^2 в 2023 г. и 345,2 см^2 в 2024 г.). Значения эффектов ОКС и дисперсии СКС у линий восстановителей фертильности и тестеров не совпадали по годам исследований. Высокий эффект ОКС выявлен у линии л-966 по высоте растений и диаметру корзинки в 2023 г. и по всем изучаемым признакам в 2024 г. Rf-линия подсолнечника л-1430_{21} характеризуется высоким эффектом ОКС и дисперсией СКС по признаку «высота растений», а л-1443_{21} – по признаку «площадь корзинки» в 2023 г. В условиях 2024 г. не выявлено Rf-линий подсолнечника, сочетающих высокий эффект ОКС и высокую вариансу СКС. Rf-линии л-1735_{21} характеризуются высокой дисперсией СКС по признакам «диаметр и площадь корзинки», л-1456_{21} – по признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля» и л-1533_{21} – по признаку «высота растений». Отношение средних квадратов отклонений ОКС/СКС указывает на превалирование аддитивных эффектов в контроле изучаемых признаков в годы исследований.

Ключевые слова: подсолнечник, гибрид, стерильная линия, линия-восстановитель фертильности пыльцы, морфологические признаки, комбинационная способность

Для цитирования: Гудова Л. А., Лекарев А. В., Ермакова А. П., Полевая О. А., Киселева Т. С. Изучение морфологических признаков гибридов подсолнечника F1 в системе тестерных скрещиваний и оценка комбинационной способности родительских компонентов // Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 5–15. https://doi.org/10 10.28983/asj.y2025i11pp5-15.

AGRONOMY

Original article

Study of morphological traits of F_1 sunflower hybrids in a test cross system and assessment of the combining ability of parental components

Lyudmila A. Gudova[1], Andrey V. Lekarev[1], Anastasia P. Ermakova[1], Olga A. Polevaya[1], Tatyana S. Kiseleva[2]
[1]Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia
[2]Tyumen State University, Tyumen, Russia
e-mail: abelia77@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of a study of the morphological traits of F_1 sunflower hybrids created using a tester design; parental forms (sunflower pollen fertility restorer lines) for their combining ability are assessed. The studies were conducted in 2021–2024 in the experimental field of the Federal Agrarian Research

Center of the South-East Region. The study revealed that crosses of testers with the Rf line L-966 yielded the tallest hybrids (the average height was 149.4 cm in 2023 and 144.1 cm in 2024). The curvature of the anthode portion of the stem showed significant variability across the years of study. A more stable expression of the trait was in the tested hybrids based on the pollinator l-173521 (11.12 cm in 2023 and 12.7 cm in 2024). Large heads were in combinations of crossing CMS lines with the Rf line l-144321 (23.31 cm in 2023 and 20.56 cm in 2024). A relatively high head area was recorded in crosses of CMS lines with paternal forms: l-144321 (415.6 cm^2 in 2023 and 334.4 cm^2 in 2024); l-966 (440.9 cm^2 in 2023 and 345.2 cm^2 in 2024). The values of the GCA effects and SCA variance in the fertility restorer and tester lines did not match across the years of study. A high GCA effect was in the L-966 line for plant height and head diameter in 2023 and for all studied traits in 2024. The Rf-line L-143021 is characterized by a high GCA effect and SCA variance for the plant height trait, and L-144321 – for the head area trait in 2023. Under 2024 conditions, no Rf sunflower lines combining a high GCA effect and high SCA variance were identified. Rf-lines L-173521 are characterized by high SCA variance for the "head diameter and area" traits, L-145621 by the "head stem bending length", and L-153321 by the "plant height" trait. The ratio of the mean square deviations of the GCA / SCA indicates the prevalence of additive effects in the control of the studied traits during the study years.

Keywords: sunflower, hybrid, sterile line, pollen fertility restorer line, morphological traits, combining ability

For citation: Gudova L. A., Lekarev A. V., Ermakova A. P., Polevaya O. A., Kiseleva T. S. Study of morphological traits of F_1 sunflower hybrids in a test cross system and assessment of the combining ability of parental components. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(11):5–15. https://doi.org/10 10.28983/asj.y2025i11pp5-15.

Введение. Селекция на гетерозис считается основным способом создания гибридов подсолнечника F_1, превосходящих родительские формы по степени развития какого-либо признака. Самыми весомыми признаками, которые интересуют сельхозтоваропроизводителей, являются величина урожайности и качество получаемой продукции. Однако немаловажное значение в селекционной работе отводится оценке морфологических параметров (высота растений, наклон корзинки, размер корзинки и др.), которые определяют архитектонику растения, устойчивость к полеганию и осыпанию, эффективность фотосинтеза и, в конечном счете, потенциальную урожайность и технологичность [1, 3]. Простые межлинейные гибриды подсолнечника F_1 характеризуются большей выравненностью по высоте растений, наклону корзинки и срокам созревания, что влияет на снижение потерь при уборке [1]. Как свидетельствуют литературные данные, гибриды подсолнечника с высотой растений 172–183 см в среднем более выровнены по биометрическим признакам и формируют относительно высокую урожайность [5]. Наиболее продуктивными из материнских форм считаются линии с высотой растений 126–141 см [3, 4]. Частым фактором снижения урожайности является непопадание корзинок в жатку комбайна из-за значительного изгиба или излома верхней прикорзиночной части стеблей. Степень изгиба прикорзиночной части стебля у подсолнечника зависит от фотопериодической чувствительности растений, массы корзинки, линейных размеров корзинки, соотношения влажности тканей, массы оберточных листочков и т.д. [4]. Площадь корзинки также является важным селекционным признаком, связанным с числом семян в корзинке, массой 1000 семян, масличностью [18]. В целом вариабельность морфометрических признаков имеет широкий предел и зависит как от условий возделывания, так и от генетических особенностей. Селекционный процесс, сопряженный с генетическим анализом наследования признаков, позволяет правильно выбирать исходный материал и оптимальную схему создания гибридов. Обязательным звеном является оценка комбинационной способности в системе тестерных (топкроссы) или диаллельных скрещиваний [2, 9, 10, 12, 13]. Тестерные скрещивания незаменимы при работе с двумя наборами генетически разнокачественных генотипов (стерильные и фертильные формы, генотипы разного уровня плоидности и др.) [6, 11, 17], которые используются в создании простых межлинейных гибридов подсолнечника F_1.

Цель работы – оценка простых межлинейных гибридов F_1 подсолнечника по морфологическим признакам, полученным с участием новых линий восстановителей фертильности пыльцы, и определение комбинационной способности исходных линий.

Материалы и методы. В 2023–2024 гг. на опытном поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» изучали простые гибриды подсолнечника F_1 (21 гибрид), созданные по схеме тестерных скрещиваний в 2021 г. В качестве тестеров использовали ЦМС-линии подсолнечника: ЮВ 31, ЮВ 32 у, ЮВ 3116. В качестве опылителей выступали новые линии восстановители фертильности (Rf-линии): л-1443_{21}, л-735_{21}, л-1625_{21}, л-966, л-1456_{21}, л-1533_{21}, л-1430_{21}. Гибриды и родитель-

ские линии размещали на шестирядковых делянках (S – 19,5 м^2), повторность трехкратная. Посев осуществляли отдельными блоками. Дата посева в 2023 г. – 17 мая, в 2024 г. – 19 мая. Учет и измерения морфологических признаков производили на 10 растениях в каждом повторении в период физиологической спелости. Изгиб прикорзиночной части стебля определяли по формуле

$$ИПЧ = В – Р,$$

где В – высота растения, см, Р – расстояние от поверхности почвы до центра лицевой части корзинки, см. Статистическую обработку результатов осуществляли согласно двухфакторной схеме по методике Б. А. Доспехова с использованием статистического пакета Agros 2.09, где фактор А – тестер (ЦМС-линия), фактор В – линия-восстановитель фертильности [7]. Для расчета комбинационной способности использовали методику В. К. Савченко [16].

Гидротермический коэффициент в период вегетации подсолнечника (май – 1-я декада сентября) составил 0,87 в 2023 и 0,33 в 2024 г. при сумме эффективных температур за этот же период 1937,0 и 2050,7 °С соответственно.

Почва на опытном поле – чернозем южный с содержанием гумуса в пахотном слое 3,0–3,5 %; подвижного фосфора – около 6,0 мг/100 г почвы; калия – 25,0 мг/100 г почвы; вскипание карбонатов – 55 см; реакция почвенного раствора – близкая к нейтральной и нейтральная, РН = 5,6–6,5.

Результаты исследований. Созданные по тестерной схеме гибриды подсолнечника F_1 оценивали по признакам, которые характеризуют архитектонику растений в целом: высота растений; длина изгиба прикорзиночной части стебля; диаметр корзинки; площадь корзинки. В 2023 г. высота растения гибридов подсолнечника F_1 варьировала от 122,0 до 156,7 см (таблица 1). Величину признака более 150,0 см определяли у гибридов ЮВ 31 × л-1625$_{21}$, ЮВ 32у × л-966, ЮВ 3116 × л-1430$_{21}$. Низкорослые гибриды подсолнечника характеризовались высотой 121,9–129,8 см. Среднегрупповые значения признака у гибридов подсолнечника в зависимости от тестера составляли 138,36 см – тестер ЮВ 31, 136,01 см – тестер ЮВ 32у, 136,52 см – тестер ЮВ 3116. При множественном сравнении частных средних по фактору А (ЦМС-линия) не выявили существенных различий по длине стебля. При множественном сравнении частных средних по фактору В (линия-восстановитель фертильности) низкое значение длины стебля определяли в комбинациях тестеров с опылителем л-1533$_{21}$ и высокое с опылителем л-1456$_{21}$. Изменчивость высоты растений в 2023 г. на 52,45 % определяли фактором В и на 36,9 % взаимным действием факторов АВ. Влияние фактора А не установлено.

Таблица 1 – Высота растений и длина изгиба прикорзиночной части стебля гибридов подсолнечника F_1, созданных в тестерных скрещиваниях, 2023–2024 гг.

Table 1 – Plant height and head bending length of F1 sunflower hybrids developed in test crosses, 2023–2024

Rf-линия (фактор В)	2023 г.				2024 г.			
	тестер (фактор А)			среднее по фактору В	тестер (ЦМС-линия)			среднее по фактору В
	ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116		ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116	
Высота растений, см								
л-1443$_{21}$	141,1	129,8	136,3	135,7b	138,3	126,3	128,8	131,2bc
л-1735$_{21}$	134,2	136,0	131,8	134,0b	133,8	127,3	120,2	127,1b
л-1625$_{21}$	156,7	137,3	130,7	141,5d	136,2	133,7	118,3	129,4bc
л-966	149,2	153,0	146,1	149,4e	148,7	149,2	135,5	144,1d
л-1456$_{2}$	129,0	140,1	137,3	135,5b	121,8	125,3	117,0	121,4a
л-1533$_{21}$	122,0	126,7	121,9	123,6a	131,2	131,3	134,0	132,2c
л-1430$_{21}$	136,3	129,1	151,6	139,0cd	132,3	129,8	126,7	129,6bc
Среднее по фактору А	138,36	136,01	136,52		134,61b	131,85b	125,64a	
$F_{факт}$	$F_{факт.} < F_{теор}$			48,10	20,43			19,99
НСР$_{05}$	–			3,21	3,99			4,40

Окончание таблицы 1

Rf-линия (фактор В)	2023 г.				2024 г.			
	тестер (фактор А)			среднее по фактору В	тестер (ЦМС-линия)			среднее по фактору В
	ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116		ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116	
Длина изгиба прикорзиночной части стебля, см								
$F_{факт}$ AB = 17,27, $НСР_{05}$ = 7,08					$F_{факт}$ AB = 3,03, $НСР_{05}$ = 8,05			
л-1443_{21}	12,5	13,9	9,5	11,66	25,3	10,7	32,8	22,9d
л-1735_{21}	8,0	9,1	16,3	11,12c	14,7	9,3	14,0	12,7a
л-1625_{21}	14,7	9,4	23,1	15,77d	25,2	14,7	25,8	21,9d
л-966	9,1	14,2	9,5	10,96c	31,5	21,5	27,3	26,8e
л-1456_{2}	14,5	13,6	26,1	18,07e	16,5	15,8	10,3	14,2ad
л-1533_{21}	8,2	10,1	1,8	6,69a	20,3	12,8	19,2	17,2bc
л-1430_{21}	6,4	2,3	17,30	8,68b	22,2	8,8	31,2	20,7cd
Среднее по фактору А	10,50a	10,37a	14,68b		22,24b	13,38a	22,95b	
$F_{факт}$	54,5			50,97	112,3			17,33
$НСР_{05}$	50,9			1,56	1,97			3,44
$F_{факт}$ AB = 31,27, $НСР_{05}$ = 2,81					$F_{факт}$ AB = 5,94, $НСР_{05}$ = 5,84			

В 2024 г. высота растений изменялась от 117,0 см до 149,2 см. К относительно высокорослым (длина стебля более 149,0 см) относились гибриды ЮВ 31 × л-966 и ЮВ 32у × л-966. Комбинации скрещивания ЮВ 3116 × л-1625_{21} и ЮВ 3116 × л-1456_{21} характеризовались низкой высотой растений (ниже 120,0 см). Среднегрупповые значения у гибридов составляли 134,61 см, где в качестве материнской линии использовали ЦМС-линию ЮВ 31; 131,85 см – с тестером ЮВ32у; 125,64 см – с тестером ЮВ 3116. Множественное сравнение частных средних по фактору А выявило достоверное превышение высоты растений у гибридов подсолнечника F_1 в комбинациях с тестерами ЮВ 31 и ЮВ 32у относительно гибридов, полученных с ЦМС-линией ЮВ 3116. При множественном сравнении частных средних по фактору В наибольшее значение признака выявили в вариантах, где в качестве опылителя использовали линию л-966, а наименьшее – с линией л-1456_{21}. Наиболее значимое влияние на изменчивость признака в 2024 г. оказывал фактор В – 49,87 %. Влияние фактора А и совокупное влияние факторов А и В были на одном уровне – 17,28 и 15,19 % соответственно.

Изгиб прикорзиночной части растения подсолнечника имеет важное агротехническое значение, поскольку влияет на потери семян при уборке. В 2023 г. изгиб прикорзиночной части стебля составлял 6,4–26,1 см (см. таблицу 1). Больший изгиб (> 20,0 см) выявили у гибридов подсолнечника F_1 ЮВ 3116 × л-1625_{21} и ЮВ 3116 × л-$1456_{21.}$ Среднегрупповые значения признака у гибридов различались. В вариантах скрещивания тестера ЮВ 31 с Rf-линиями подсолнечника среднегрупповое значение составило 10,5 см. В комбинациях, где в качестве тестера использовали ЦМС-линию ЮВ 32у, значение признака составило 10,37 и 14,68 см с тестером ЮВ 3116. Множественное сравнение частных средних по фактору А выявило, что изгиб прикорзиночной части гибридов, полученных в скрещиваниях с тестерами ЮВ 31 и ЮВ 32у, достоверно ниже, чем у гибридов с материнской линией ЮВ 3116.

При множественном сравнении частных средних по фактору В установили, что в комбинациях с линией-восстановителем фертильности л-1533_{21} изгиб прикорзиночной части стебля у гибридов подсолнечника самый низкий (6,69 см), а с линией л-1456_{21} более выражен (18,07 см). Изменчивость признака у гибридов подсолнечника в 2023 г. на 46,1 % определяется взаимным действием факторов АВ. Несколько ниже влияние фактора В – 37,6 %. Действие фактора А (тестер) – 11,4 %.

Следует отметить, что гибридные комбинации ЮВ 32у × л-1443_{21}, ЮВ 32у × 1735_{21}, ЮВ 3116 × × л-1625_{21}, ЮВ 31 × л-1456_{21}, ЮВ 32у × л-1456_{21}, Юв32у × л-1533_{21} характеризуются относительной стабильностью, значение признака слабо варьирует по годам исследований. У гибридов ЮВ 31 × л-966, ЮВ 32у × л-966, ЮВ 3116 × л-966 признак «длина изгиба прикорзиночной части стебля» в 2023 г. существенно ниже, чем в условиях 2024 г.

В 2024 г. экстремумы изгиба прикорзиночной части стебля у гибридов подсолнечника изменялись от 8,83 до 32,83 см. Значительный изгиб стебля определяли у гибридов ЮВ 31 × л-966 (31,5 см), ЮВ 3116 × л-1443_{21} (32,8 см), ЮВ 3116 × л-966 (27,3 см), ЮВ3116 × л-1430_{21} (31,2 см). При множественном сравнении частных средних по фактору А выявили самое низкое значение признака (13,38 см) в вариантах, где в качестве тестера использовали ЦМС-линию ЮВ 32у. Достоверно выше показатель в вариантах с двумя другими тестерами: ЮВ 31 – 22,24 см, ЮВ 3116 – 22,95 см. Влияние факторов на изменчивость признака в 2024 г. распределилось следующим образом: фактор А – 29,97 %, фактор В – 34,07 %, взаимное действие АВ – 23,35 %.

Диаметр корзинки – немаловажный морфологический признак, т.к. связан с семенной продуктивностью положительной корреляцией. Чем больше диаметр корзинки, тем выше урожайность семян подсолнечника. Наибольшая продуктивность формируется у растения, имеющего одну хорошо развитую корзинку. На величину корзинки также оказывают влияние условия возделывания, поскольку размер корзинки подвержен изменениям в течение вегетационного периода растений [8, 14, 15]. В условиях 2023 г. диаметр корзинки у гибридов подсолнечника F_1 изменялся от 16,9 до 24,7 см. 16 гибридов из 21 характеризовались крупной корзинкой диаметром более 20,0 см (таблица 2). Среднегрупповое значение в комбинациях с тестером ЮВ 31 составляло 21,07 см, что, согласно дисперсионному анализу, достоверно ниже, чем в вариантах, где в качестве тестеров использовали ЮВ 32у и ЮВ 3116 (21,9 и 21,5 см соответственно). Наименьшую величину признака при множественном сравнении частных средних по фактору В выявили у вариантов скрещивания с опылителем л-1456_{21} (19,9 см), а наиболее высокую – с линией л-1443_{21} (23,3 см). На изменчивость признака «диаметр корзинки» в 2023 г. в большей степени влияет фактор В (40,9 %) и взаимное действие факторов АВ (41,7 %). Влияние фактора А (тестеров) очень низкое – 3,7 %.

Таблица 2 – Диаметр и площадь корзинки у гибридов подсолнечника F_1 в тестерных скрещиваниях, 2023–2024 гг.

Table 2 – Head diameter and area of F_1 sunflower hybrids in test crosses, 2023–2024

Rf-линия (фактор В)	2023 г.				2024 г.			
	тестер (фактор А)			среднее по фактору В	тестер (ЦМС-линия)			среднее по фактору В
	ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116		ЮВ 31	ЮВ 32у.	ЮВ 3116	
Диаметр корзинки, см								
л-1443_{21}	23,43	21,80	24,70	23,31e	19,00	22,50	20,17	20,56cd
л-1735_{21}	19,53	22,23	20,73	20,83b	22,00	16,67	22,33	20,33cd
л-1625_{21}	21,73	23,33	21,97	22,34d	16,17	19,50	16,67	17,44a
л-966	20,93	22,10	23,67	22,23cd	21,83	20,50	20,50	20,94d
л-1456_2	21,17	21,53	16,87	19,86a	15,00	17,67	19,17	17,28a
л-1533_{21}	19,90	21,10	21,20	20,73b	16,65	20,50	20,33	19,11bc
л-1430_{21}	20,80	21,07	21,60	21,16b	15,83	24,90	20,00	20,24cd
Среднее по фактору А	21,07a	21,88b	21,53b		18,05a	20,32b	19,88b	
$F_{факт}$	18,37			23,68	16,73			10,19
$НСР_{05}$	0,37			0,69	1,15			1,35
$F_{факт}$ АВ = 12,09, $НСР_{05}$ = 1,17					$F_{факт}$ АВ = 9,19, $НСР_{05}$ = 2,44			
Площадь корзинки, $см^2$								
л-1443_{21}	431,2	374,5	441,2	415,6e	285,5	397,5	320,1	334,4cd
л-1735_{21}	300,9	359,4	338,7	332,9ab	386,7	218,4	391,6	332,0cd
л-1625_{21}	374,1	421,8	380,9	392,3cde	205,7	299,4	218,6	241,2a
л-966	346,5	390,8	440,9	392,7de	375,4	330,0	330,0	345,2d
л-1456_2	352,3	367,3	229,6	316,4a	176,7	249,5	289,2	238,5a
л-1533_{21}	313,1	351,1	355,0	339,7ab	214,1	334,6	326,2	291,6bc
л-1430_{21}	328,8	347,8	373,4	350,0b	197,4	488,1	314,1	333,2cd

Окончание таблицы 2

Rf-линия (фактор В)	2023 г.				2024 г.			
	тестер (фактор А)			среднее по фактору В	тестер (ЦМС-линия)			среднее по фактору В
	ЮВ 31	ЮВ 32у	ЮВ 3116		ЮВ 31	ЮВ 32у.	ЮВ 3116	
Среднее по фактору А	349,6a	373,2b	365,7b		263,0a	331,1b	312,8b	
$F_{факт}$	11,84			19,76	13,80			9,72
$НСР_{05}$	13,80			23,90	37,24			40,02
$F_{факт}$ АВ = 8,56, $НСР_{05}$ = 40,58					$F_{факт}$ АВ = 9,44, $НСР_{05}$ = 76,41			

В 2024 г. минимальное значение признака составило 15,0, а максимальное – 24,9 см. Крупные корзинки (диаметр более 20,0 см) выявили у гибридов подсолнечника ЮВ 31 × л-1735_{21}, ЮВ 31 × л-966, ЮВ 32у × л-$1735_{21,}$ ЮВ 32у × л-966, ЮВ 32у × л1533_{21}, ЮВ 3116 × л-1735_{21}, ЮВ 3116 × л-1735_{21}, ЮВ 3116 × л-1533_{21}, ЮВ 3116 × л-1430_{21}. При множественном сравнении частных средних по фактору А установили, что самая мелкая корзинка (диаметр 18,1 см) была у гибридов, полученных в скрещиваниях с ЦМС-линией ЮВ 31. Среднегрупповые значения с тестерами ЮВ 32у и ЮВ 3116 значительно выше и составили 20,3 и 19,9 см соответственно. При множественном сравнении частных средних по фактору В наименьшую величину диаметра определили в комбинациях с опылителями л-1625_{21}, л-$1456_{21.}$ Наибольшее влияние на изменчивость признака «диаметр корзинки» в 2024 г. оказало совместное действие факторов АВ (45,6 %), ниже влияние фактора В (25,3 %) и еще ниже влияние фактора А (12,5 %).

Признак «площадь корзинки» в 2023 г. изменялся в интервале 300,9–441,2 см^2 (таблица 2). У гибридов ЮВ 31 × л-1443_{21}, ЮВ 32у × л-1625_{21}, ЮВ 3116 × л-1443_{21}, ЮВ 3116 × л-966 площадь корзинки превысила 400,0 см^2. В комбинациях, где в качестве материнской линии использовали ЦМС-линию ЮВ 31, самая низкая площадь корзинки (349,6 см^2). Достоверно превышают по данному признаку гибриды, где в скрещивания включали ЦМС-линии ЮВ 32у и ЮВ 3116 – 373,2 и 365,7 см^2 соответственно. Самую низкую величину признака по фактору В выявили в комбинациях с линией-восстановителем фертильности л-1533_{21} (316,4 см^2), а самую высокую – с линией л-1443_{21} (415,6 см^2). Изменчивость признака площади корзинки в 2023 г. на 43,8 % зависела от фактора В, на 37,9 % – от факторов АВ и всего лишь на 3,6 % определялась фактором А.

В условиях 2024 г. у гибридов подсолнечника F_1 наблюдали значительную вариабельность признака «площадь корзинки». Лимитирующие значения составляли 197,4 и 488,1 см^2. Значение признака в гибридных комбинациях с материнской линией ЮВ 31 изменялось от 197,4 до 386,1 см^2, при среднегрупповом значении 262,9 см^2. При вариантах скрещивания ЦМС-линии ЮВ 32у с Rf-линиями площадь корзинки находилась в интервале 218,4–488,1 см^2, средняя величина составила 331,1 см^2. Изучаемый признак варьировал от 218,6 до 391,6 см^2 в случае скрещивания тестера ЮВ 3116 с линиями-восстановителями фертильности, среднегрупповое значение – 312,8 см^2. Самый высокий показатель выявили у гибрида ЮВ 32у × л-$1430_{21.}$ У 9 гибридов площадь корзинки составила более 300,0 см^2. При множественном сравнении частных средних по фактору А достоверно ниже показатель в комбинациях с тестером ЮВ 31, по фактору В – с опылителями л-1625_{21}, л-1456_{21}. В 2024 г. на изменчивость площади корзинки существенное влияние оказывало взаимное действие факторов АВ (47,4 %), несколько ниже влияние фактора В (24,4 %). Действие фактора А составило 11,2 %.

В результате дисперсионного анализа выявили достоверное различие ($F_{факт} > F_{теор}$) между гибридами по изучаемым признакам. В соответствии с этим можно оценить комбинационную способность новых линий-восстановителей фертильности пыльцы по изучаемым признакам. Установили, что некоторые генотипы проявляют заметную реакцию на изменение условий окружающей среды, в результате чего можно наблюдать отличия в проявлении ОКС и СКС по годам изучения.

В условиях 2023 г. по признаку «высота растений» высокий эффект ОКС выявили у линии-восстановителя фертильности пыльцы подсолнечника л-966 (12,45). Среднее значение эффекта ОКС определили у опылителей л-1625_{21} (4,57) и л-1430_{21} (2,08). По дисперсии СКС лучшей оказалась линия л-1625_{21} (154,18). Дисперсию СКС на уровне среднего значения установили у опы-

лителя л-1430_{21} (133,27). По признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля» высокую величину эффекта ОКС определили у линии л-1456_{21} (6,22). Значение эффекта ОКС на уровне среднего характерно для линии л-1625_{21} (3,91). Rf-линия л-1533_{21} характеризуется высокой дисперсией СКС (45,66). Величина дисперсии СКС на уровне среднего значения присуща всем остальным самоопыленным линиям подсолнечника по данному признаку (таблица 3).

Таблица 3 – Оценка комбинационной способности линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника по морфологическим признакам, 2023 г.

Table 3 – Assessment of the combining ability of sunflower pollen fertility restorer lines based on morphological traits, 2023

Линии	Эффект ОКС				Дисперсия СКС			
	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки	площадь корзинки	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки	площадь корзинки
Линия-восстановитель фертильности								
л-1443_{21}	–1,23	–0,19	1,81	52,8	20,59	27,12	2,85	2004,8
л-1735_{21}	–2,95	–0,72	–0,66	–29,9	6,59	4,50	0,90	309,4
л-1625_{21}	4,57	3,91	0,84	29,5	154,18	22,13	0,28	296,3
л-966	12,45	–0,89	0,73	29,9	15,83	20,31	1,49	1642,0
л-1456_{2}	–1,47	6,22	–1,64	–46,5	49,12	20,7	6,91	6044,6
л-1533_{21}	–13,41	–5,15	–0,76	–23,1	13,38	45,66	0,17	167,8
л-1430_{21}	2,03	–3,17	–0,34	–12,8	133,27	29,07	0,19	321,7
$F_{факт}$	49,13*	50,91*	23,67*	19,76*				
$НСР_{05}$	9,23	4,57	0,13	43,72				
Тестер (стерильная линия)								
ЮВ 31	1,39	–1,34	–0,42	–13,26	49,30	3,72	0,84	827,7
ЮВ 32у	–0,95	–1,48	0,38	10,41	32,0	19,42	1,18	871,9
ЮВ 3116	–0,44	2,82	0,03	2,9	49,64	33,35	2,24	185,8

Примечание: $F_{факт}$ СКС родительских форм: высота растений – 17,27*; длина изгиба прикорзиночной части стебля – 31,27*; диаметр корзинки – 12,08*; площадь корзинки – 8,56*.

Высокую оценку эффекта ОКС по признаку «диаметр корзинки» установили у отцовских форм л-1443_{21} (1,81), л-1625_{21} (0,84), л-966 (0,73), высокую дисперсию СКС – у л-1456_{21} (6,91).

По признаку «площадь корзинки» отцовская линия л-1443_{21} отличается высокой общей комбинационной способностью, величина эффекта ОКС составила 52,8. На уровне среднего значения эффект ОКС установили у генотипов л-1625_{21} (29,5) и л-966 (29,9). По дисперсии СКС выделили линии-опылители л-1443_{21} (2004,8) и л-1456_{21} (6044,6). Среднюю величину определили у л-966 (1642,0).

Следует отметить, что отрицательное значение эффекта ОКС по всем изучаемым признакам установили у линий л-1735_{21} и л-1533_{21}. Низкие значения дисперсии СКС характерны для генотипа л-1735_{21}.

Таким образом, отцовская форма л-1430_{21} характеризуется высоким эффектом ОКС и дисперсией СКС по признаку «высота растений», а л-1443_{21} – по признаку «площадь корзинки». Константные ветвистые линии с высокими оценками эффектов ОКС и вариансе СКС целесообразно использовать в качестве компонентов в высокогетерозисной гибридной популяции. Родительские линии с высокими эффектами ОКС и низкими вариансами СКС целесообразно включать в синтетические популяции с целью создания на их базе самоопыленных линий.

Наибольшую ценность согласно эффекту ОКС представляет ЦМС-линия ЮВ 31 (1,39) по признаку «высота растений». У тестера ЮВ 32у наибольшее значение ОКС определили по признакам «диаметр корзинки» и «площадь корзинки» (0,38 и 10,41 соответственно). Стерильная

линия ЮВ 3116 по эффекту ОКС превзошла остальные по признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля». Высокие значения по дисперсии СКС выявили у ЦМС-линии ЮВ 32у по диаметру корзинки (6,61) и ЮВ 3116 по остальным изучаемым признакам. Тестер ЮВ 31 уступил по величине дисперсии СКС по всем изучаемым параметрам.

В 2024 г. высоким эффектом ОКС по всем изучаемым признакам характеризовалась линия-восстановитель фертильности л-966 (таблица 4). Низкую отрицательную величину эффекта ОКС выявили у самоопыленной линии л-1456_{21} по всем изучаемым признакам. Высокую дисперсию СКС по признаку «высота растений» определили у опылителей л-1533_{21} (37,76). На уровне среднего значения дисперсия СКС у генотипов л-1443_{21} (26,89) и л-1625_{21} (27,01); л-966 (18,19) и л-1456_{21} (10,11). По признакам «диаметр корзинки» и «площадь корзинки» высокую вариансу СКС установили у линии л-1735_{21} (16,21 и 15704,4 соответственно). По признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля» высокую дисперсию СКС отмечали у отцовской формы л-1456_{21} (56,93), средней величиной характеризовались линии л-1443_{21} (39,69) и л-1430_{21} (41,96).

Таблица 4 – Оценка комбинационной способности линий-восстановителей фертильности пыльцы подсолнечника по морфологическим признакам, 2024 г.

Table 4 – Assessment of the combining ability of sunflower pollen fertility restorer lines based on morphological traits, 2024

Линия	Эффекты ОКС				Дисперсия СКС			
	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки	площадь корзинки	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки, см	площадь корзинки
Линия-восстановитель фертильности								
л-1443_{21}	0,45	3,42	1,14	32,1	26,89	39,69	0,92	945,3
л-1735_{21}	–3,60	–6,85	0,91	29,7	6,07	6,38	16,21	15704,4
л-1625_{21}	–1,31	2,36	–1,96	–61,4	27,01	0,87	1,43	988,6
л-966	13,41	7,25	1,52	42,9	18,19	6,52	3,86	3713,9
л-1456_{2}	–9,31	–5,30	–2,13	–63,8	10,11	56,93	1,56	1216,8
л-1533_{21}	1,46	–2,08	–0,31	–10,7	37,76	2,63	1,17	1119,1
л-1430_{21}	–1,09	1,20	0,82	30,9	3,38	41,96	11,92	13,52
$F_{факт}$	20,00*	17,34*	10,18*	9,72*				
$НСР_{05}$	8,08	5,87	1,34	33,98				
Тестер (стерильная линия)								
ЮВ 31	3,90	2,10	–1,37	–39,3	10,74	1,13	4,33	4157,8
ЮВ 32у	1,15	–6,14	0,90	28,8	12,36	23,10	6,61	6780,8
ЮВ 3116	–5,06	3,42	0,46	10,5	20,03	26,72	1,42	1307,9

Примечание: $F_{факт}$ СКС родительские формы: высота растений – 3,02*; длина изгиба прикорзиночной части стебля – 5,94*; диаметр корзинки – 9,19*; площадь корзинки – 9,44*.

В условиях 2024 г. не выявили Rf-линий подсолнечника, сочетающих высокий эффект ОКС и высокую вариансу СКС. Следует отметить линии, характеризующиеся высокой дисперсией СКС по признакам «диаметр корзинки» и «площадь корзинки» (л-1735_{21}), по длине изгиба прикорзиночной части стебля (л-1456_{21}) и по высоте растений (л-1533_{21}).

Среди тестеров высокой комбинационной способностью отличаются ЦМС-линии ЮВ 3116 (3,42) по признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля» и ЮВ 32у по признакам «диаметр и площадь корзинки» (0,90 и 28,80 соответственно). ЦМС-линия ЮВ 31 имеет высокое значение эффектов ОКС по высоте растений (3,90). По величине дисперсии СКС выделили ЦМС-линии ЮВ 3116 и ЮВ 32у. Стерильная линия ЮВ 31 отличалась низкими положительными или отрицательными значениями дисперсии СКС.

При исследовании комбинационной способности линий подсолнечника важно определить их роль в определенных комбинациях скрещивания. Оценка констант СКС отражает отклонение от ОКС родительских линий в результате специфического взаимодействия генов, т.е. насколько та или иная комбинация превосходит или уступает предполагаемой на основе ОКС. Анализ констант СКС по совокупности анализируемых признаков, определяющих продуктивность гибридов, позволил выделить лучшие комбинации скрещиваний.

В результате полученных эффектов СКС выявили наиболее перспективные гибридные комбинации подсолнечника В 2023 г. по признаку «высота растений» выделили гибриды ЮВ 31 × л-1625_{21} (13,74), 3116 × л-1430_{21} (13,04). По признаку «длина изгиба прикорзиночной части стебля» высокую величину СКС определили у 6 гибридов из 21 (ЮВ 32у × л-1443_{21}, ЮВ 32у × л-966, ЮВ 32у × × л-1533_{21}, 3116 × л-1625_{21}, 3116 × л-1456_{21}, 3116 × л-1430_{21}). Следует отметить, что по данному признаку отсутствуют комбинации с высоким эффектом СКС между тестером ЮВ31 и линиями-восстановителями фертильности пыльцы. По признакам «диаметр корзинки» и «площадь корзинки» высокий эффект СКС установили у гибридов ЮВ 31 × л-1456_{21}, ЮВ 32у × л-1735_{21}, ЮВ 32у × × л-1456_{21} (таблица 5).

Таблица 5 – Эффект СКС межлинейных гибридов подсолнечника F_1 в тестерных скрещиваниях, 2023–2024 гг.

Table 5 – Effect of the SCA of F1 interline sunfl ower hybrids in test crosses, 2023–2024

Гибрид	Эффект СКС							
	2023 г.				2024 г.			
	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки	площадь корзинки	высота растений	длина изгиба прикорзиночной части стебля	диаметр корзинки	площадь корзинки
ЮВ 31 × л-1443_{21}	3,97	2,22	0,55	28,9	3,24	–0,33	–0,19	–9,6
ЮВ 31 × л-1735_{21}	–1,17	–1,77	–0,87	–18,8	2,79	–0,7	3,04	93,4
ЮВ 31 × л-1625_{21}	13,74	0,31	–0,19	–4,90	2,87	0,56	0,09	3,8
ЮВ 31 × л-966	–1,62	–0,47	–0,88	–32,92	0,65	2,00	2,25	65,6
ЮВ 31 × л-1456_{2}	–7,86	–2,21	1,74	49,15	–3,46	–0,43	–0,91	–22,4
ЮВ 31 × л-1533_{21}	–2,92	2,85	–0,41	–13,38	–4,90	0,17	–1,24	–38,2
ЮВ 31 × л-1430_{21}	–4,13	–0,93	0,07	–7,95	–1,19	–1,27	–3,04	–96,5
ЮВ 32у × л-1443_{21}	–4,95	3,72	–1,89	–51,6	–5,97	–6,13	1,04	34,4
ЮВ 32у × л-1735_{21}	2,94	–0,53	1,01	15,9	–0,92	2,80	–4,57	–142,4
ЮВ 32у × л-1625_{21}	–3,31	–4,85	0,60	19,1	3,13	–1,07	1,15	29,38
ЮВ 32у × л-966	4,53	4,73	–0,52	–12,3	3,90	0,87	–1,35	–43,9
ЮВ 32у × л-1456_{21}	5,59	–3,02	1,29	40,5	2,79	7,75	–0,51	–17,8
ЮВ 32у × л-1533_{21}	4,10	4,86	–0,02	0,9	–1,99	1,53	0,48	14,2
ЮВ 32у × л-1430_{21}	–8,91	–4,87	–0,47	–12,6	–0,93	–5,75	3,75	126,1
ЮВ 3116 × л-1443_{21}	0,97	–5,95	1,35	22,7	2,74	6,45	–0,85	–24,8
3116 × л-1735_{21}	–1,77	2,35	–0,14	2,9	–1,87	–2,09	1,53	49,1
3116 × л-1625_{21}	–10,43	4,54	–0,41	–14,2	–6,00	0,51	–1,24	–33,2
3116 × л-966	–2,91	–4,25	1,39	45,3	–4,55	–2,87	–0,91	–25,7
3116 × л-1456_{2}	2,27	5,23	–3,02	–89,6	0,67	–7,32	1,42	40,2
3116 × л-1533_{21}	–1,18	–7,72	0,42	12,5	6,89	–1,70	0,75	24,0
3116 × л-1430_{21}	13,04	5,79	0,40	20,5	2,12	7,01	–0,71	–29,7

В 2024 г. по признаку «высота растений» самый высокий эффект СКС выявили у гибридной комбинации 3116 × л-1533_{21} (6,89). Еще 8 гибридов характеризовались величиной в диапазоне 2,12–3,90, к ним относятся: ЮВ 31 × л-1443_{21}; ЮВ 31 × л-1735_{21}; ЮВ 31 × л-1625_{21}; ЮВ 32у ×

× л-1625$_{21}$; ЮВ 32у × л-966; ЮВ 32у × л-1456$_{21}$; ЮВ 3116 × л-1443$_{21}$; 3116 × л-1430$_{21}$. По длине изгиба прикорзиночной части стебля интерес представляют три гибрида ЮВ с высоким эффектом СКС: 32у × л-1456$_{21}$, ЮВ 3116 × л-1443$_{21}$, 3116 × л-1430$_{21}$. Гибриды ЮВ 31 × л-1735$_{21}$, ЮВ 32у × л-1430$_{21}$ с высоким значением СКС выделили по признаку «диаметр корзинки». Высокий эффект СКС по площади корзинки определили у гибридов ЮВ 31 × л-1735$_{21}$, ЮВ 31 × × л-966, ЮВ 32у × л-1430$_{21}$.

Величина отношения средних квадратов изменчивости общей и комбинационной способности ($ms_{ОКС}/ms_{СКС}$) в годы изучения составила: по высоте растений – 2,84 (2023 г.) и 6,60 (2024 г.), по длине изгиба прикорзиночной части стебля – 1,62 (2023 г.) и 2,91 (2024 г.), по диаметру корзинки – 10,95 (2023 г.) и 1,10 (2024 г.), по площади корзинки – 2,03 (2023 г.) и 1,03 (2024 г.)

Поскольку частное отношение средних квадратов изменчивости общей и специфической комбинационной способности в годы исследований более единицы, то (с большей долей вероятности) отмечается преобладание аддитивных генов в контроле всех изучаемых признаков.

Величина отношения $ms_{ОКС}/ms_{СКС}$ по годам варьировала, но оставалась относительно стабильной. При этом значимость средних квадратов СКС свидетельствовала о существенном вкладе аддитивных эффектов генов в генетическую вариансу.

Заключение. В годы исследований определили значительное варьирование морфологических признаков у простых гибридов подсолнечника F_1. Изменчивость признаков зависела не только от условий возделывания, но и от набора родительских линий, которые были включены в скрещивания. Установили, что на изменчивость признака «высота растений» в большей степени оказывал влияние фактор В (линия-восстановитель фертильности). Изменчивость признаков «длина изгиба прикорзиночной части стебля», «диаметр корзинки», «площадь корзинки» определялась фактором В или взаимным действием факторов АВ в зависимости от года исследований. Фактор А (тестер) на изменчивость признаков в годы исследований оказывал меньшее влияние.

Оценка комбинационной способности позволила выявить отцовскую форму л-966 с высоким эффектом ОКС по высоте растений и площади корзинки в 2023 г. и по всем изучаемым признакам в 2024 г. Данную форму целесообразно использовать для создания синтетических популяций с последующим созданием самоопыленных линий. Следует отметить, что в целом новые линии-восстановители фертильности пыльцы подсолнечника характеризуются нестабильностью оценок эффектов ОКС и варианс СКС в годы исследований, так же как и эффекты СКС гибридов подсолнечника F_1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочковой А. Д., Хатнянский В. И., Камардин В. А. Типы гибридов подсолнечника и особенности их использования в условиях Российской Федерации (обзор) // Масличные культуры. 2019. № 1(177). С. 110–123.

2. Влияние комбинационной способности родительских линий на показатели продуктивности гибридов подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) / О. П. Шатарнов [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. 2016. Т. 20. С. 30–36.

3. Волгин В. В., Обыдало А. Д., Бочкарёв Б. Н. Двутестерная оценка наследования высоты растений у межлинейных гибридов подсолнечника // Масличные культуры. 2019. № 4(180). С. 3–9.

4. Волгин В. В., Обыдало А. Д., Бочкарёв Б. Н. Сравнительная характеристика хозяйственно полезных признаков материнских линий подсолнечника различного происхождения и корреляции между ними // Масличные культуры. 2018. № 1(173). С. 10–21.

5. Волгин В. В., Обыдало А. Д., Бочкарёв Б. Н. Характеристика хозяйственно-биологических признаков гибридов подсолнечника различного происхождения и корреляции между ними. Масличные культуры. 2015. № 3(163). С. 16–23.

6. Гетерозис в селекции сельскохозяйственных растений / А. В. Кильчевский [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика. 2008. Т. 8. С. 7–24.

7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

8. Жаркова С. В. Морфометрические показатели подсолнечника в условиях степной зоны // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 1-2(64). С. 10–12. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-1-2-10-12.

9. Изучение комбинационной способности перспективных линий подсолнечника и проявление эффекта гетерозиса у гибридов F_1 по признаку «масса 1000 семян» в условиях Саратовской области / А. В. Лекарев [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 6. С. 20–27.

10. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1Ф типов цитоплазматической мужской стерильности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 6. С. 651–656.

11. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В., Шаптуренко М. Н. Теоретические аспекты гетерозиса // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 4. С. 482–492.

12. Кириллов С. С., Полищук А. С. Изучение комбинационной способности перспективных ЦМС-линий подсолнечника Алтайской селекции // Вестник БГСХА им. В. Р. Филиппова. 2018. № 2(51). С. 20–25.

13. Лепешко Е. С., Костылев Л. М., Усатенков Т. В. Оценка комбинационной способности линий подсолнечника // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 40–43.

14. Пустовойт В. С. Подсолнечник: монография. М.: Колос, 1975. 590 с.

15. Романова Н. В., Жаркова С. В. Оценка гибридов подсолнечника по признакам продуктивности в условиях Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 8(142). С. 15–20.

16. Савченко В. К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях. Минск: Наука и техника, 1984. 223 с.

17. Трубачеева Н. В., Салина Е. А., Шумный В. К. ЦМС-Rf в гибридной селекции подсолнечника // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 10. № 2. С. 119–131.

18. Fick G. N., Zimmer D. E. Yield stability of sunflower hybrids and open-pollinated varieties // 7th ISC, Krasnodar, USSR, 1976. Vol. 1. P. 253–258.

REFERENCES

1. Bochkovoy A. D., Khatnyansky V. I., Kamardin V. A. Types of sunflower hybrids and features of their use in the Russian Federation (review). *Oilseed Crops*. 2019;1(177):110–123. (In Russ.).

2. The influence of combining ability of parental lines on the productivity indicators of sunflower hybrids (Helianthus annuus L.) / O. P. Shatarnov, T. M. Shatarnova, T. A. Silkova, N. S. Fomchenko, O. G. Davydenko. *Molecular and Applied Genetics*. 2016;(20):30–36. (In Russ.).

3. Volgin V. V., Obydalo A. D., Bochkarev B. N. Two-test assessment of plant height inheritance in interlinear sunflower hybrids. *Oilseed crops*. 2019;4(180):3–9. (In Russ.).

4. Volgin V. V., Obydalo A. D., Bochkarev B. N. Comparative characteristics of economically useful traits of sunflower maternal lines of different origins and correlations between them. *Oilseed Crops*. 2018;1(173):10–21. (In Russ.).

5. Volgin V. V., Obydalo A. D., Bochkarev B. N. Characteristics of economic and biological traits of sunflower hybrids of different origins and correlations between them. *Oilseed Crops*. 2015;3(163):16–23. (In Russ.).

6. Heterosis in breeding of agricultural plants / A. V. Kilchevsky, L. V. Khotyleva, L. A. Tarutina, M. N. Shapturenko. *Molecular and Applied Genetics*. 2008;(8):7–24. (In Russ.).

7. Dospekhov B. A. Methodology of field experiment with the basics of statistical processing of research results. Moscow, 1985. 352 p. (In Russ.).

8. Zharkova S. V. Morphometric indicators of sunflower in the steppe zone. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022;1–2(64):10–12. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-1-2-10-12. (In Russ.).

9. Study of the combining ability of promising sunflower lines and the manifestation of the heterosis effect in F_1 hybrids for the “weight of 1000 seeds” trait in the Saratov region / A. V. Lekarev, L. A. Gudova, S. P. Kudryashov, A. V. Pomin, L. V. Solopchenko. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2023;(6):20–27. (In Russ.).

10. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS lines of grain sorghum based on the A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1F types of cytoplasmic male sterility. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(6):651–656. (In Russ.).

11. Kilchevsky A. V., Khotyleva L. V., Shapturenko M. N. Theoretical aspects of heterosis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):482–492. (In Russ.).

12. Kirillov S. S., Polischuk A. S. Study of the combining ability of promising CMS sunflower lines of Altai selection. *Bulletin of the Bashkir State Agricultural Academy named after V. R. Filippov*. 2018;2(51):20–25. (In Russ.).

13. Lepeshko E. S., Kostylev L. M., Usatenkov T. V. Evaluation of the combining ability of sunflower lines. *Grain Economy of Russia*. 2020;4(70):40–43. (In Russ.).

14. Pustovoit V. S. Sunflower: monograph. Moscow, 1975. 590 p. (In Russ.).

15. Romanova N. V., Zharkova S. V. Evaluation of sunflower hybrids for productivity traits in the conditions of the East Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan. *Bulletin of the Altai State Agrarian University.* 2016;8(142):15–20. (In Russ.).

16. Savchenko V. K. Genetic analysis in network trial crosses. Minsk, 1984. 223 p. (In Russ.).

17. Trubacheeva N. V., Salina E. A., Shumny V. K. CMS-Rf in hybrid sunflower breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;10(2):119–131. (In Russ.).

18. Fick G. N., Zimmer D. E. Yield stability of sunflower hybrids and open-pollinated varieties. *7th ISC*. Krasnodar, 1976;(1):253–258.

Статья поступила в редакцию 25.12.2024; одобрена после рецензирования 25.01.2025; принята к публикации 02.02.2025.
The article was submitted 25.12.2025; approved after reviewing 25.01.2025; accepted for publication 02.02.2025.