

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ГЕТЕРОЗИСА В СЕЛЕКЦИИ СОРГО

О. П. Кибальник, кандидат биологических наук

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго»,  
Саратов, Россия  
E-mail: kibalnik79@yandex.ru

**Ключевые слова:** сорго, гибриды  $F_1$ , типы ЦМС, гетерозис, хозяйственные признаки

**Реферат.** Одним из направлений селекции на повышение продуктивности сорго является использование эффекта гетерозиса у гибридов, полученных на основе материнских линий с цитоплазматической мужской стерильностью. Гетерозис наблюдается у гибридов первого поколения за счет взаимодействия генов (доминирования и эпистазы), аддитивного эффекта доминантных генов, а в последующих поколениях его эффект ослабляется. В данной статье представлены результаты изучения эффекта гетерозиса гибридов  $F_1$ , полученных на основе ЦМС-линий с А1, А2, А3, А4, М-35-1А, 9Е типами стерильности и продуктивных сортов-опылителей, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессорам региона. Испытания проводили на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2016 гг. Площадь делянки – 7,7 м<sup>2</sup>. Повторность – трехкратная. Размещение делянок – рендомизированное. Густота стояния новых гибридов, стандарта и родительских форм – 100 тыс. растений на 1 га. Установлена частота проявления истинного (превосходство над лучшей родительской формой), гипотетического (превосходство над средним значением признака родительских форм) и конкурсного (превышение показателей признака гибрида  $F_1$  над районированным гибридом) гетерозиса по признакам: высота растений, длина соцветия, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайности. Более частое проявление гетерозиса наблюдалось по высоте растений, длине соцветия, массе 1000 зерен и реже (преимущественно в 2016 г.) – по урожайности и массе зерна с одной метелки. Выявлены перспективные комбинации скрещиваний с невысоким эффектом конкурсного гетерозиса по высоте растений и наибольшим по урожайности: А1 О-Янг 1/Аванс, А1 О-Янг 1/Топаз, А3 Фетерита 14/Меркурий, А4 КП 70/Волжское 4. Данные гибриды формируют урожайность зерна 4,09–9,15 т/га (2015–2016 гг.) и характеризуются эффектом конкурсного гетерозиса в 2016 г. по урожайности зерна от 2,1 до 71,4 %. Гибриды А1 О-Янг 1/Волжское 4 и А2 КВВ 114/Аванс отличаются конкурсным гетерозисом по массе 1000 зерен (51,7–60,0 %) и зерна с одной метелки (5,8–52,9 %). Выделенные гибриды целесообразно передать на дальнейшее конкурсное испытание.

## HYBRID VIGOUR EFFECT IN SORGHUM SELECTION

Kibalnik O.P., Candidate of Biology

Russian Research and Technological Institute of Sorghum and Corn “Rossorgo”, Saratov, Russia

**Key words:** sorghum, hybrids  $F_1$ , types of ЦМС, hybrid vigour, economic features.

**Abstract.** The authors see application of hybrid vigour in the hybrids obtained on the basis of mother lines with cytoplasmic male sterility as a promising way of sorghum selection. The selection is aimed at increasing sorghum productivity. Hybrid vigour is observed in the first generation of hybrids which was caused by interaction among genes (dominance and epistasis) and additive effect of dominant genes. Its effect is weakened in further generations. The paper explores the effect of heterosis of  $F_1$

hybrids obtained on the basis of CMC lines with A1, A2, A3, A4, M-35-1A, 9E types of sterility and productive pollinator varieties which are resistant to biotic and abiotic factors in the region. The experiment was carried out on the pilot plots of Research and Technological Institute of Sorghum and Corn "Rossorgo" in 2015-2016. The area of the plot was 7.7 m<sup>2</sup>; frequency observed was three times; landfill location was random. The density of new hybrids, standards and parental forms was 100 thousand plants pro a hectare. The frequency of pure (superior to the superior parental form), hypothetical (superior to the average value of parental forms) and competitive (excess of the sign of hybrid F<sub>1</sub> over the released hybrid) heterosis in terms of: plant height, inflorescence length, grain mass per panicle and 1000 grains, yield. Heterosis was more frequent in terms of plant height, inflorescence length, weight of 1000 grains, and less frequently (mainly in 2016) in terms of yield and weight of grain from a panicle. The authors indicate the prospective combinations of crosses with low effect of competitive heterosis in plant height and the highest yield as: A1 O-Yang 1/Avance, A1 O-Yang 1/Topaz, A3 Feterita 14/Mercury, A4 KP 70/Volzhskoe 4. These hybrids form the grain yield of 4.09-9.15 t/ha (2015-2016) and are characterized by the effect of competitive heterosis in 2016 in terms of grain yield from 2.1 to 71.4%. Hybrids A1 O-Yang 1/Volzhskoe 4 and A2 KVV 114/Avance differ in competitive heterosis by weight of 1000 grains (51.7-60.0%) and grains from one panicle (5.8-52.9%). The hybrids outlined are expected to be relevant for further tests.

Зерновое сорго является перспективной сельскохозяйственной культурой с целью использования на фураж и монокорм в засушливых регионах Российской Федерации. В Государственном реестре селекционных достижений на 2018 г. пред-

ставлено 59 сортов, 12 линий и 50 гибридов зернового сорго отечественной и иностранной селекции [1], причем большинство гибридов выведены иностранными селекционно-семеноводческими компаниями (рис. 1).



Рис. 1. Сорта, линии и гибриды зернового сорго, зарегистрированные в Госреестре селекционных достижений в 2018 г.  
Varieties, lines and hybrids of gran sorghum registered in the State Register of Selections in 2018

Одним из направлений расширения ассортимента продуктивных гибридов сорго российской селекции и их конкурентоспособности является использование в практической селекции эффекта гетерозиса. Гетерозис означает превосходство гибридов первого поколения по сравнению с родительскими компонентами по жизнеспособности, росту и развитию, продуктивности, устойчивости к болезням, вредителям и условиям возделывания [2–5]. С открытием у сорго цитоплазматической мужской стерильности по-

явилась возможность создания гибридов F<sub>1</sub>, характеризующихся 15–50%-м гетерозисом по урожайности и другим хозяйственно-ценным признакам [6–9]. Селекция на гетерозис во многом зависит от правильно спланированной программы скрещиваний, включения скороспелого исходного материала с высокой общей и специфической комбинационной способностью, изучения закономерностей наследования вегетативных и генеративных признаков растений [10–12].

В ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» селекция на гетерозис зернового сорго ведется на основе коллекции ЦМС-линий с различными источниками стерильности (А1, А2, А3, А4, 9Е, М35–1А) и продуктивных сортообразцов, адаптированных к условиям возделывания в засушливых регионах Юго-Востока России. Стерильные линии А1 О-Янг 1, А2 КВВ 114, А3 Фетерита 14 и А4 КП 70 характеризуются высокими эффектами ОКС и СКС по морфометрическим признакам и урожайности, что свидетельствует о целесообразности использования в программах создания гибридов. Изучение генетического контроля основных селекционно-ценных признаков ЦМС-линий (высота растений при созревании, длина соцветия, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайность) показало, что в их проявлении участвуют гены с аддитивным эффектом [13].

В этой связи целью исследования является определение истинного, гипотетического и конкурсного гетерозиса изучаемых признаков, а также выделение гетерозисных гибридов  $F_1$  по комплексу хозяйственно-ценных признаков.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гибриды первого поколения получены на основе ЦМС-линий с разными типами цитоплазм (тестерные скрещивания):  $BC_7$  А1 О-Янг 1,  $BC_{15}$  А2 КВВ 114,  $BC_{12}$  А2 Восторг,  $BC_7$  А2 Тамара,  $BC_{12}$  А3 Фетерита 14,  $BC_{12}$  А4 КП 70,  $BC_{12}$  М-35–1А Пищевое 614,  $BC_{12}$  9Е Пищевое 614. В качестве опылителей использовали сорта Меркурий, Огонек, Аванс, Топаз, Волжское 615, Пищевое 35, Волжское 4.

Гибриды  $F_1$  (всего 49 в 2015 г. и 56 в 2016 г.), родительские формы и гибридный стандарт Орион выращивали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2016 гг. Площадь делянки – 7,7 м<sup>2</sup>. Размещение делянок рендомизированное [14]. Повторность в опыте – трехкратная. Густоту стояния растений устанавливали вручную – 100 тыс. растений на 1 га. Оценку селекционных признаков гибридов  $F_1$  и учеты

проводили по общепринятой методике [15]. Гетерозис рассчитывали по формулам [2]:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{истинный}} &= ((F_1 - P_{\text{л}}) / P_{\text{л}}) \cdot 100\%; \\ \Gamma_{\text{гипотетический}} &= ((F_1 - P_{\text{ср}}) / P_{\text{ср}}) \cdot 100\%; \\ \Gamma_{\text{конкурсный}} &= ((F_1 - P_{\text{ст}}) / P_{\text{ст}}) \cdot 100\%, \end{aligned}$$

где  $F_1$  – показатель гибрида;

$P_{\text{л}}$  – показатель лучшей родительской формы;

$P_{\text{ср}}$  – среднее значение родительских форм;

$P_{\text{ст}}$  – значение признака стандарта.

Для интерпретации экспериментальных данных по частоте проявления истинного, гипотетического и конкурсного гетерозиса выделены следующие интервалы варьирования: 1) <0; 2) 0–25%; 3) 25–50%; 4) 50–75%; 5) 75–100%; 6) > 100%.

Метеорологические условия 2015–2016 гг. испытания гибридов  $F_1$  сорго значительно различались по количеству осадков. Так, в течение вегетации гибридов 2015 г. выпало 106,2 мм осадков, сумма активных температур составила 2613,1 °С. Погодные условия 2016 г. характеризовались большим количеством осадков (178,3 мм) и суммой активных температур (2805,0 °С).

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с помощью пакета программ AGROS 2.09 методом дисперсионного однофакторного анализа [14]

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для селекции гибридов зернового сорго практический интерес представляют комбинации, характеризующиеся невысоким эффектом гетерозиса по высоте растений и более высоким – по урожайности зерна и элементам его структуры. Материнские и отцовские формы отличались по хозяйственным признакам (табл. 1). Установлено среднее варьирование морфометрических показателей (высота растений – 13,4–14,4%; длина метелки – 17,9–19,7%) и сильное – по урожайности (19,1–23,2%) и элементам продуктивности (масса 1000 зерен – 19,4–28,8%; с одной метелки – 34,5–39,7%).

Таблица 1

**Характеристика родительских форм гибридов F<sub>1</sub> по селекционным признакам**  
**Characteristics of the F<sub>1</sub> hybrids parental forms according to selection features**

| Признак                    | Год  | Лимиты |       | Средняя и ее ошибка | Стандартное отклонение | Коэффициент вариации, % |
|----------------------------|------|--------|-------|---------------------|------------------------|-------------------------|
|                            |      | min    | max   |                     |                        |                         |
| Высота растений, см        | 2015 | 92,0   | 146,1 | 123,50±4,20         | 16,6                   | 13,4                    |
|                            | 2016 | 74,7   | 142,5 | 107,80±4,00         | 15,6                   | 14,4                    |
| Длина соцветия, см         | 2015 | 14,8   | 31,2  | 24,30±1,10          | 4,3                    | 17,9                    |
|                            | 2016 | 10,7   | 25,5  | 19,60±1,00          | 3,9                    | 19,7                    |
| Масса зерна с 1 метелки, г | 2015 | 8,4    | 33,3  | 20,80±2,10          | 8,3                    | 39,7                    |
|                            | 2016 | 6,4    | 21,0  | 14,60±1,30          | 5,0                    | 34,5                    |
| Масса 1000 зерен, г        | 2015 | 20,1   | 43,6  | 31,20±1,60          | 6,1                    | 19,4                    |
|                            | 2016 | 11,3   | 41,2  | 27,70±2,10          | 8,0                    | 28,8                    |
| Урожайность зерна, т/га    | 2015 | 2,94   | 7,26  | 5,05±0,25           | 0,9                    | 19,1                    |
|                            | 2016 | 2,07   | 4,87  | 3,41±0,21           | 0,8                    | 23,2                    |

Дисперсионным однофакторным анализом подтверждены различия между испытываемыми комбинациями скрещиваний по селек-

ционно-ценным признакам ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ ): высота растений, длина соцветия, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайность (табл. 2).

Таблица 2

**Хозяйственно-ценные признаки гибридов F<sub>1</sub> сорго**  
**Economically valuable features in F<sub>1</sub> hybrids of sorghum (2015-2016)**

| Гибриды на основе ЦМС-линий | Высота растений, см |         | Длина соцветия, см |         | Масса зерна с 1 метелки, г |         | Масса 1000 зерен, г |         | Урожайность зерна, т/га |         |
|-----------------------------|---------------------|---------|--------------------|---------|----------------------------|---------|---------------------|---------|-------------------------|---------|
|                             | 2015 г.             | 2016 г. | 2015 г.            | 2016 г. | 2015 г.                    | 2016 г. | 2015 г.             | 2016 г. | 2015 г.                 | 2016 г. |
| 1                           | 2                   | 3       | 4                  | 5       | 6                          | 7       | 8                   | 9       | 10                      | 11      |
| <i>С сортом Меркурий</i>    |                     |         |                    |         |                            |         |                     |         |                         |         |
| A1 О-Янг 1                  | 126,3               | 130,9   | 31,3               | 30,2    | 18,2                       | 25,3    | 26,9                | 22,9    | 3,34                    | 5,81    |
| A2КВВ 114                   | 138,2               | 112,7   | 28,9               | 26,6    | 19,6                       | 22,7    | 22,4                | 25,2    | 4,44                    | 4,31    |
| A2 Тамара                   | -                   | 111,6   | -                  | 21,8    | -                          | 14,2    | -                   | 27,0    | -                       | 4,15    |
| A2 Восторг                  | 142,3               | 121,3   | 24,3               | 30,1    | 25,5                       | 31,0    | 31,6                | 28,3    | 4,85                    | 7,00    |
| A3 Фетерита 14              | 164,3               | 147,5   | 24,5               | 26,5    | 17,7                       | 27,3    | 36,9                | 31,2    | 4,30                    | 7,83    |
| A4 КП 70                    | 129,7               | 126,1   | 27,4               | 26,8    | 20,8                       | 12,3    | 38,9                | 39,6    | 5,00                    | 2,00    |
| М-35 Пищевое 614            | 112,7               | 118,5   | 18,7               | 26,1    | 12,6                       | 14,7    | 34,3                | 28,2    | 1,89                    | 4,46    |
| 9Е Пищевое 614              | 125,8               | 109,2   | 29,0               | 22,0    | 21,8                       | 18,7    | 27,7                | 28,9    | 5,10                    | 4,48    |
| <i>С сортом Огонек</i>      |                     |         |                    |         |                            |         |                     |         |                         |         |
| A1 О-Янг 1                  | 123,7               | 134,1   | 26,0               | 26,2    | 19,1                       | 28,1    | 26,8                | 25,4    | 3,05                    | 4,67    |
| A2КВВ 114                   | 126,2               | 116,9   | 21,8               | 18,9    | 19,0                       | 17,7    | 25,9                | 26,3    | 4,76                    | 3,86    |
| A2 Тамара                   | -                   | 112,9   | -                  | 25,1    | -                          | 18,6    | -                   | 28,1    | -                       | 3,66    |
| A2 Восторг                  | 129,6               | 132,9   | 25,2               | 25,1    | 14,8                       | 15,9    | 35,8                | 30,5    | 4,20                    | 4,82    |
| A3 Фетерита 14              | 154,9               | 147,4   | 24,9               | 22,3    | 9,5                        | 23,5    | 39,5                | 31,5    | 2,84                    | 6,34    |
| A4 КП 70                    | 126,6               | 133,7   | 25,1               | 28,7    | 21,8                       | 16,1    | 33,9                | 31,6    | 4,80                    | 3,60    |
| М-35Пищевое 614             | 125,8               | 99,7    | 28,0               | 16,2    | 13,8                       | 5,6     | 31,1                | 25,1    | 3,18                    | 2,45    |
| 9Е Пищевое 614              | 124,0               | 95,4    | 25,0               | 16,2    | 22,0                       | 7,9     | 26,8                | 25,8    | 4,85                    | 2,41    |
| <i>С сортом Аванс</i>       |                     |         |                    |         |                            |         |                     |         |                         |         |
| A1 О-Янг 1                  | 150,1               | 146,0   | 30,7               | 30,2    | 22,0                       | 43,8    | 33,9                | 32,7    | 4,18                    | 6,78    |
| A2КВВ 114                   | 144,1               | 134,1   | 30,5               | 24,1    | 42,1                       | 27,6    | 37,2                | 28,8    | 8,85                    | 4,86    |
| A2 Тамара                   | -                   | 112,6   | -                  | 12,9    | -                          | 26,2    | -                   | 33,6    | -                       | 3,80    |
| A2 Восторг                  | 137,1               | 127,0   | 25,4               | 23,7    | 39,1                       | 18,3    | 35,5                | 31,3    | 8,17                    | 4,02    |
| A3 Фетерита 14              | 149,4               | 138,8   | 19,9               | 22,0    | 18,0                       | 21,7    | 39,8                | 37,8    | 4,22                    | 5,58    |
| A4 КП 70                    | 131,9               | 118,5   | 28,8               | 24,7    | 25,1                       | 22,7    | 38,9                | 37,5    | 5,14                    | 4,01    |
| М-35Пищевое 614             | 130,6               | 117,4   | 30,8               | 17,8    | 18,3                       | 25,5    | 30,9                | 31,5    | 3,83                    | 4,72    |
| 9Е Пищевое 614              | 127,2               | 118,5   | 30,1               | 21,2    | 25,8                       | 27,3    | 37,3                | 29,4    | 4,11                    | 5,32    |
| <i>С сортом Топаз</i>       |                     |         |                    |         |                            |         |                     |         |                         |         |
| A1 О-Янг 1                  | 128,7               | 133,0   | 29,8               | 32,2    | 32,7                       | 32,6    | 32,3                | 26,6    | 4,09                    | 9,15    |
| A2КВВ 114                   | 139,7               | 144,6   | 27,2               | 23,7    | 16,8                       | 16,9    | 32,8                | 29,4    | 4,97                    | 4,12    |
| A2 Тамара                   | -                   | 110,3   | -                  | 25,4    | -                          | 24,4    | -                   | 41,2    | -                       | 4,89    |



Окончание табл. 2

| 1                            | 2     | 3      | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|------------------------------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A2 Восторг                   | 145,5 | 133,4  | 25,1 | 23,0  | 38,2  | 23,1  | 29,8  | 26,9  | 7,26  | 3,81  |
| A3 Фетерита 14               | 163,6 | 157,2  | 24,5 | 23,1  | 39,4  | 21,4  | 37,3  | 33,1  | 6,10  | 5,20  |
| A4 КП 70                     | 129,7 | 111,3  | 27,4 | 21,8  | 28,2  | 28,0  | 39,9  | 31,3  | 4,94  | 4,86  |
| М-35 Пищевое 614             | 138,9 | 113,9  | 27,0 | 18,8  | 26,4  | 26,6  | 34,2  | 29,6  | 5,27  | 4,51  |
| 9Е Пищевое 614               | 134,6 | 112,9  | 26,9 | 21,3  | 24,3  | 17,2  | 34,3  | 29,3  | 3,07  | 4,19  |
| <i>С сортом Волжское 615</i> |       |        |      |       |       |       |       |       |       |       |
| A1 О-Янг 1                   | 154,0 | 122,9  | 31,2 | 28,7  | 22,6  | 33,2  | 33,6  | 32,7  | 4,07  | 6,47  |
| A2КВВ 114                    | 155,3 | 121,2  | 23,1 | 19,7  | 29,1  | 24,9  | 25,6  | 26,9  | 5,52  | 4,86  |
| A2 Тамара                    | -     | 108,8  | -    | 26,1  | -     | 18,5  | -     | 31,2  | -     | 3,75  |
| A2 Восторг                   | 146,3 | 127,3  | 21,8 | 24,9  | 34,8  | 22,5  | 28,9  | 27,4  | 7,08  | 3,13  |
| A3 Фетерита 14               | 179,7 | 147,9  | 22,9 | 15,9  | 26,3  | 24,1  | 33,2  | 31,1  | 5,24  | 3,49  |
| A4 КП 70                     | 152,5 | 127,4  | 31,6 | 27,4  | 29,2  | 29,4  | 32,2  | 28,7  | 5,26  | 4,98  |
| М-35 Пищевое 614             | 133,5 | 113,9  | 23,7 | 23,2  | 17,4  | 43,4  | 30,9  | 33,3  | 3,48  | 4,50  |
| 9Е Пищевое 614               | 125,7 | 119,2  | 27,9 | 22,9  | 29,9  | 36,3  | 29,6  | 29,2  | 4,97  | 4,53  |
| <i>С сортом Пищевое 35</i>   |       |        |      |       |       |       |       |       |       |       |
| A1 О-Янг 1                   | 164,3 | 140,9  | 33,5 | 23,9  | 27,2  | 33,3  | 27,3  | 26,3  | 4,35  | 5,07  |
| A2КВВ 114                    | 170,9 | 111,9  | 31,4 | 20,0  | 28,0  | 18,9  | 26,8  | 23,2  | 6,63  | 5,04  |
| A2 Тамара                    | -     | 110,7  | -    | 21,3  | -     | 24,2  | -     | 29,7  | -     | 3,98  |
| A2 Восторг                   | 170,7 | 165,5  | 28,0 | 20,9  | 38,1  | 8,1   | 30,0  | 25,8  | 6,93  | 2,88  |
| A3 Фетерита 14               | 174,9 | 157,5  | 23,0 | 16,5  | 21,8  | 33,3  | 31,8  | 35,1  | 5,54  | 4,98  |
| A4 КП 70                     | 155,0 | 127,4  | 30,0 | 22,5  | 27,9  | 25,0  | 28,2  | 26,2  | 5,01  | 3,47  |
| М-35 Пищевое 614             | 135,7 | 113,9  | 31,4 | 20,7  | 28,6  | 19,3  | 34,5  | 29,4  | 3,79  | 3,56  |
| 9Е Пищевое 614               | 130,2 | 119,2  | 27,5 | 19,9  | 24,1  | 18,5  | 30,1  | 28,7  | 5,12  | 3,59  |
| <i>С сортом Волжское 4</i>   |       |        |      |       |       |       |       |       |       |       |
| A1 О-Янг 1                   | 131,5 | 133,8  | 40,7 | 25,7  | 76,8  | 39,9  | 27,1  | 27,3  | 6,07  | 4,63  |
| A2КВВ 114                    | 177,6 | 160,0  | 29,8 | 25,6  | 26,7  | 19,3  | 28,4  | 27,2  | 6,40  | 5,42  |
| A2 Тамара                    | -     | 109,9  | -    | 23,4  | -     | 28,4  | -     | 35,4  | -     | 4,99  |
| A2 Восторг                   | 147,5 | 160,4  | 32,0 | 22,4  | 19,3  | 11,6  | 31,7  | 26,3  | 5,40  | 3,32  |
| A3 Фетерита 14               | 170,3 | 150,1  | 24,6 | 17,3  | 37,4  | 32,8  | 30,6  | 26,1  | 8,61  | 6,08  |
| A4 КП 70                     | 150,7 | 129,4  | 36,2 | 26,1  | 33,1  | 39,0  | 39,7  | 42,9  | 5,95  | 5,45  |
| М-35 Пищевое 614             | 129,0 | 119,5  | 28,2 | 19,7  | 26,3  | 17,2  | 30,7  | 22,9  | 4,20  | 3,61  |
| 9Е Пищевое 614               | 123,0 | 122,3  | 31,0 | 20,5  | 25,6  | 21,6  | 26,4  | 23,5  | 4,36  | 4,32  |
|                              |       |        |      |       |       |       |       |       |       |       |
| Орион (st)                   | 141,4 | 132,5  | 27,0 | 31,0  | 60,9  | 26,1  | 19,8  | 18,0  | 10,35 | 5,34  |
| F <sub>факт.</sub>           | 32,7* | 106,2* | 7,0* | 22,0* | 10,3* | 19,2* | 48,4* | 15,6* | 20,9* | 14,3* |

Более высокие гибриды получены при участии следующих родительских форм: ЦМС-линии А3 Фетерита 14 в комбинациях со всеми опылителями (138,8–174,9 см); А2 КВВ 114 и А2 Восторг с сортами Пищевое 35 (11,9–170,9 см), Волжское 4 (147,5–177,6 см). Остальные гибридные комбинации отличались низкорослостью. По признаку «высота растений» истинный и конкурсный гетерозис (в интервале 0–25%) отмечен у 53,6–55,1 и 35,7–40,8% от общего числа гибридов в опыте соответственно; превышение над средним показателем родительских форм – у 62,5–69,4% комбинаций скрещиваний (рис. 2). Наибольший конкурсный гетерозис установлен у А2 Восторг/Пищевое 35 (24,9%), А3

Фетерита 14/Волжское 615 (27,1%), А2 КВВ 114/Волжское 4 (25,6%).

Показатели длины соцветия изменялись от 12,9 до 40,7 см. У гибридов, полученных на основе линий А1 О-Янг 1 и А2 Восторг в комбинациях с раннеспелыми сортами (Меркурий, Огонек, Аванс, Топаз, Волжское 615), выявлено, что длина соцветия существенно не изменялась в зависимости от года исследований (см. табл. 2). При этом более высокие значения истинного и гипотетического гетерозиса (в интервале 50–75%) установлены в 2016 г., а конкурсного – в 2015 г. (см. рис. 2). Наибольшее превышение над стандартом Орион отмечено у А1 О-Янг 1/ Волжское 4: конкурсный гетерозис – 50,7%.

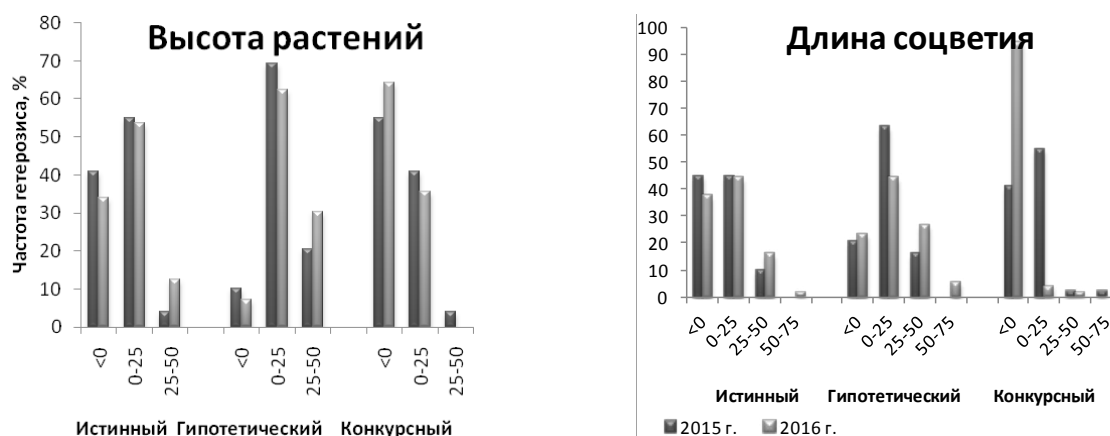


Рис. 2. Частота проявления гетерозиса по высоте растений и длине соцветия

Figure 2. Prevalence frequency of hybrid vigour according to the plant height and inflorescence length

Установлен широкий диапазон варьирования показателей массы зерна с одной метелки (5,6–76,8 г), 1000 зерен (22,4–42,9 г) и урожайности (1,89–9,15 т/га)

в разные годы выращивания гибридов (табл. 2), а также проявление эффекта гетерозиса элементов продуктивности (рис. 3–5).

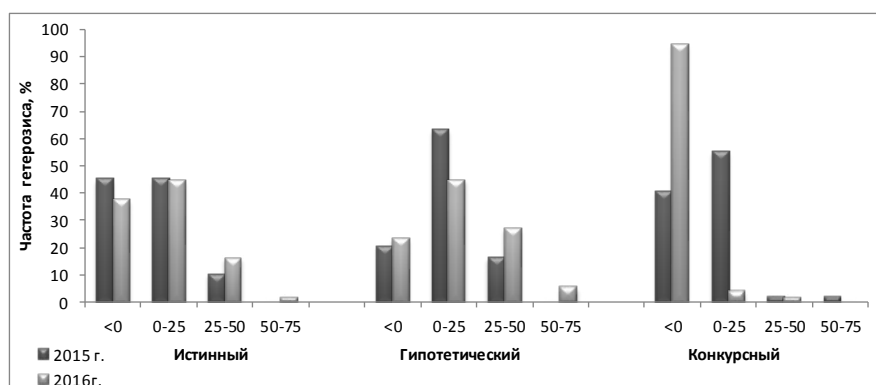


Рис. 3. Эффект гетерозиса у гибридов  $F_1$  по массе зерна с одной метелки  
Heterosis effect of hybrids  $F_1$  according to grain weight pro a panicle

Гибриды, у которых в роли материнских форм выступала линия А2 Восторг, а отцовских – сорта Меркурий и Огонек, отличались незначительным изменением массы зерен с одной метелки как в 2015 г., так и в 2016 г.: 25,5–31,0 и 14,8–15,9 г соответственно. Стабильные показатели массы зерна с одной метелки по годам исследований отмечены у гибридов, полученных с использованием родительских форм: А4 КП 70 в комбинации с сортами Аванс (22,7–25,1 г), Топаз (28,0–28,2 г), Волжское 615 (29,2–29,4 г), Пищевое 35 (25,0–27,9 г) и Волжское 4 (33,1–39,0 г); А2 Восторг с сортами Меркурий (25,5–31,0 г) и Огонек (14,8–15,9 г); А3 Фетерита 14/ Волжское 4 (32,8–37,4 г); с сортом Топаз на основе А1 О-Янг 1 (32,6–32,7 г), А2 КВВ 114

(16,8–16,9 г) и М-35–1А Пищевое 614 (26,4–26,6 г). Высокие значения данного признака у комбинации А1 О-Янг 1/Волжское 4 – до 76,6 г. Наибольший гетерозис (в интервале от 100% и более) отмечен в 2016 г.: истинный – у 8,9% от общего количества гибридов  $F_1$ , гипотетический – у 25,0%. Гибриды А1 О-Янг 1/Волжское 4, А1 О-Янг 1/Аванс и М-35–1А Пищевое 614/Волжское 615 превысили показатели стандарта: конкурсный гетерозис составил 52,9–67,8%.

Экспериментальные гибриды характеризовались наибольшей крупностью семян в сравнении с районированным стандартом: масса 1000 зерен варьировала в интервале 22,4–42,9 г против 18,0–19,8 г у Ориона. Наименьшее изменение значений массы 1000

зерен в сложившихся метеорологических условиях отмечено у гибридов на основе А1 О-Янг 1; А4 КП 70 в комбинациях с сортами Меркурий, Огонек, Аванс, Пищевое 35, Волжское 4; в скрещиваниях А2 КВВ 114 с сортами Меркурий, Волжское 615, Волжское 4; гибридизации 9Е Пищевое 614 с сортами Меркурий, Огонек, Волжское 615. Гибриды,

у которых в качестве материнской формы использовались ЦМС-линии А3 Фетерита 14 и А4 КП 70, характеризуются крупностью зерна. Высокий эффект истинного гетерозиса выявлен у гибрида А4 КП 70/Меркурий (51,7%), гипотетического – А4 КП 70/Волжское 4 (52,7%), А2 КВВ 114/Меркурий (70,3%) и А4 КП 70/Меркурий (111,8%).

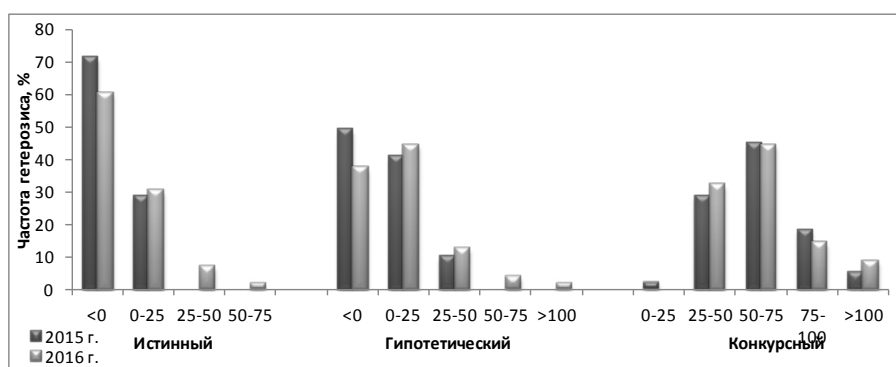


Рис. 4. Истинный, гипотетический и конкурсный гетерозис гибридов F<sub>1</sub> по массе 1000 зерен  
True, hypothetical and competitive heterosis of F<sub>1</sub> hybrids by weight of 1000 grains (2015-2016)

Конкурсный гетерозис в интервале 25–50% встречается у 14–18 новых гибридов (от общего их количества); в интервале 50–75% – у 22–25 гибридов; в интервале 75–100% – у 8–9 гибридов. В скрещиваниях с сортом Аванс на основе А3 Фетерита 14 и А4 КП 70 с сортом Топаз и ЦМС-линиями А2 Тамара, А4 КП 70 у гибрида А4 КП 70/Волжское 4 конкурсный гетерозис более 100%.

В качестве компонента гибридного или синтетического сорта целесообразно включать следующие комбинации: 9Е Пищевое 614 с сортами Волжское 4, Топаз и Меркурий; А4 КП 70 с сортами Волжское 4, Топаз и Волжское

615; А2 КВВ 114 с сортами Огонек, Волжское 4, Топаз, Волжское 615 и Меркурий; на основе А3 Фетерита 14 и А1 О-Янг 1 с сортом Пищевое 35. В ходе испытаний у гибридов А1 О-Янг 1/Топаз, А2 Восторг/Меркурий, А3 Фетерита 14/Меркурий отмечено превышение урожайности зерна над лучшей родительской формой – 113,4–135,8% и над средним их показателем – 125,0–188,6%. У большинства гибридов F<sub>1</sub> конкурсный гетерозис проявился только в 2016 г. Выделены гибриды с высоким конкурсным гетерозисом – А1 О-Янг 1/Аванс (26,9%), А3 Фетерита 14/Меркурий (46,6%), А1 О-Янг 1/Топаз (71,4%).

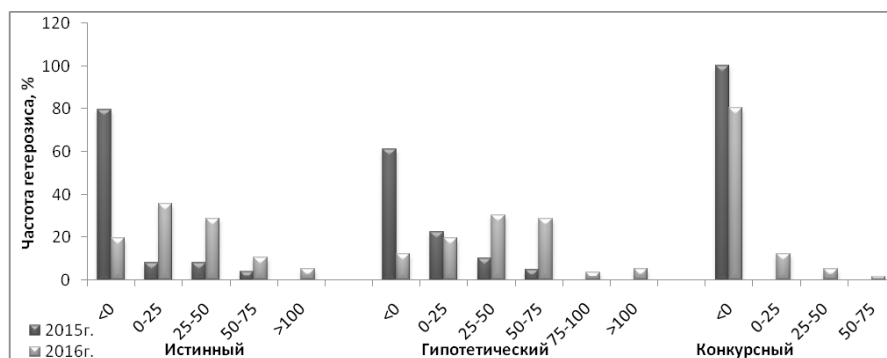


Рис. 5. Частота проявления гетерозиса по урожайности зерна  
Prevalence frequency of hybrid vigour according to the grain yield

В практической селекции важным критерием оценки гибридов  $F_1$  является определение конкурсного гетерозиса по хозяйственно-ценным признакам. В дан-

ной схеме гибридизации по комплексу изученных признаков выделено 6 комбинаций с эффектом конкурсного гетерозиса (табл. 3).

Таблица 3

Конкурсный гетерозис перспективных гибридов  $F_1$   
Competitive hybrid vigour of promising  $F_1$  hybrids

| Комбинации скрещиваний   | Высота растений, см |         | Длина соцветия, см |         | Масса зерна с 1 метелки, г |         | Масса 1000 зерен, г |         | Урожайность зерна, т/га |         |
|--------------------------|---------------------|---------|--------------------|---------|----------------------------|---------|---------------------|---------|-------------------------|---------|
|                          | 2015 г.             | 2016 г. | 2015 г.            | 2016 г. | 2015 г.                    | 2016 г. | 2015 г.             | 2016 г. | 2015 г.                 | 2016 г. |
| A1 О-Янг 1/Аванс         | 6,2                 | 10,2    | 13,7               | -2,6    | -67,2                      | 67,8    | 71,2                | 81,7    | -59,6                   | 27,0    |
| A1 О-Янг 1/Топаз         | -8,9                | 0,4     | 10,4               | 3,9     | -51,2                      | 24,9    | 63,1                | 47,8    | -60,5                   | 71,4    |
| A1 О-Янг 1/ Волжское 4   | -7,0                | 1,0     | 50,7               | -17,1   | 14,6                       | 52,9    | 36,9                | 51,7    | -41,4                   | -13,3   |
| A2 КВВ 114/Аванс         | 1,9                 | 1,2     | 13,0               | -22,3   | -37,2                      | 5,8     | 87,9                | 60,0    | -14,5                   | -8,9    |
| A3 Фетерита 14/ Меркурий | 16,2                | 11,3    | -9,3               | -14,5   | -73,6                      | 4,6     | 86,4                | 73,3    | -58,5                   | 46,6    |
| A4 КП 70/ Волжское 4     | 6,6                 | -2,3    | 34,1               | -15,8   | -50,6                      | 49,4    | 100,5               | 138,3   | -42,5                   | 2,1     |

## ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты изучения эффекта гетерозиса в данной схеме тестерных скрещиваний по хозяйственным признакам зернового сорго свидетельствуют о наиболее частом его проявлении по высоте растений, длине соцветия, массе 1000 зерен и реже – по урожайности и массе зерна с одной метелки. Вместе с тем целенаправленный подход позволяет выделить лучшие родительские компоненты (ЦМС-линии на основе разных типов стерильности – A1, A2, A3, A4, 9E, M35–1A и сортообразцы-опылители) с необходимыми селекционными признаками для использования в синтетической селекции и на гетерозис.

2. Выявлены перспективные комбинации, характеризующиеся эффектом конкурсного гетерозиса по комплексу хозяйственно-ценных признаков за период испытаний: на основе A1 О-Янг 1 с сортами Аванс и Топаз (по всем изученным признакам), Волжское 4 (длине соцветия, массе зерна с одной метелки, массе 1000 зерен); A2 КВВ 114/Аванс (по высоте и массе 1000 зерен); A3 Фетерита 14/Меркурий (по урожайности в 2016 г., высоте и массе 1000 зерен); A4 КП 70/Волжское 4 (высоте растений, длине метелки, массе 1000 зерен, урожайности и массе зерна с одной метелки в 2016 г.).

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Министерства сельского хозяйства РФ и тематическим планом ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» на 2015–2016 гг.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1: Сорта растений [Электрон. ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.reestr.gossort.com> (дата обращения: 03.01.2019).
2. Гужов Ю.Л., Фукс А., Валичек П. Селекция и семеноводство культивируемых растений. – М., 1999. – 536 с.
3. Tiwari D. K., Gupta R. S., Mishra R. Genotypic and phenotypic correlation in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) // Plant Arch. – 2003. – Vol. 3 (2). – P. 283–286.
4. Genetic and phenotypic association between yield Components in hybrid sorghum / *Sorghum bicolor* (L.) Moench population / R. Kenga, A. Tenkouano, S. C. Gupta, S. O. Alabi // Euphytica. – 2006. – Vol. 150 (3). – P. 319–326.
5. Ходоренко А.В., Криничная Н.В., Касьяненко В.А. Термины «доминирование» и «сверхдоминирование». Теория гетерозиса // С.-х. биология. – 2005. – Т. 40 (5). – С. 15–23.



6. Болдырева Л. Л., Бритвин В. В. Оценка гетерозиса по основным морфо-биологическим признакам и свойствам у гибридов F1 зернового сорго // Изв. Оренбург. гос. ун-та. – 2017. – № 3 (65). – С. 225–229.
7. Ковтунова Н. А., Володин А. Б., Ковтунов В. В. Гетерозис в селекции сахарного сорго // Зерн. хоз-во России. – 2017. – № 1 (49). – С. 11–17.
8. Куколева С. С., Старчак В. И. Изучение гетерозиса сорговых культур // Научное обеспечение устойчивого развития растениеводства в условиях аридизации климата: материалы междунар. заоч. науч.-практ. конф. 28–30 июня 2017 г. / ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». – Саратов, 2017. – С. 96–101.
9. Старчак В. И. Гетерозис у гибридов F1 зернового сорго по площади флагового и наибольшего листа // Наука и молодежь: фундаментальные и прикладные проблемы в области селекции и генетики сельскохозяйственных культур: материалы междунар. шк. – конф. молодых ученых. – Зерноград, 2017. – С. 120–125.
10. Ковтунов В. В. Наследование основных количественных признаков гибридами первого поколения сорго зернового // Зерн. хоз-во России. – 2015. – № 3. – С. 33–37.
11. Результаты селекции сорго на гетерозис / М. П. Жукова, А. Б. Володин, А. С. Голубь, Н. С. Чухлебowa, И. А. Донец // Вестн. АПК Ставрополя. – 2016. – № 4 (24). – С. 163–168.
12. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго по элементам урожайности // Кукуруза и сорго. – 2016. – № 3. – С. 23–27.
13. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35–1А типов цитоплазматической мужской стерильности // Вавилов. журн. генетики и селекции. – 2017. – № 21 (6). – С. 651–656. – DOI: 10.18699/VJ17.282.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 2011. – 352 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1989. – Вып. 2. – 197 с.

## REFERENCES

1. Gosudarstvennyj reestr selectionnyh dostizhennyh dopuschennyh k ispol'zovaniyu (State register of selection achievements approved for use). Vol. 1. Sorta rasteniy, Moscow. 2018, Available at: <http://www.reestr.gossort.com>.
2. Guzhov Yu. L., Fuks A., Valichek P. *Seleksiya i semenovodstvo kul'tiviruemyh rasteniy* (Selection and seed production of cultivated plants), Moscow, 1999, 536 p.
3. Tiwari D. K., Gupta R. S., Mishra R. Genotypic and phenotypic correlation in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), *Plant Arch.*, 2003, Vol. 3 (2), pp. 283–286.
4. Kenga R., Gupta S. C., Alabi S. O. Genetic and phenotypic association between yield Components in hybrid sorghum. *Sorghum bicolor* (L.) Moench population, *Euphytica*, 2006, Vol. 150 (3), pp. 319–326.
5. Hodorenko A. V., Krinichnaya N. V., Kas'yanenko V. A. *Sel'skohozyaistvennaya biologiya*, 2005, Vol. 40 (5), pp. 15–23. (In Russ.)
6. Boldyreva L. L., Britvin V. V. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No 3 (65), pp. 225–229. (In Russ.)
7. Kovtunova N. A., Volodin A. B., Kovtunov V. V. *Zernovoe hozyaistvo Rossii*, 2017, No 1 (49), pp. 11–17. (In Russ.)
8. Kukoleva S. S., Starchak V. I. Nauchnoe obespechenie ustoichivogo rasvitiya rastenievodstva v usloviyah aridizatsii klimata (Scientific support of sustainable development of crop production in the conditions of climate aridization), Proceedings correspondence of the Scientific and Practical Conference, Saratov, 2017, pp. 96–101. (In Russ.)
9. Starchak V. I. Nauka i molodezh: fundamental'nye i prikladnye problem v oblasti seleksii i genetiki sel'skohozyaistvennyh kul'tur (Science and youth: fundamental and applied problems in the field of selection and genetics of agricultural crops), Proceedings of the International School-Conference Youth Scientists, Zernograd, 2017, pp. 120–125. (In Russ.)

10. Kovtunov V.V. *Zernovoe hozyaistvo Rossii*, 2015, No 3, pp.33–37 (In Russ.).
11. Zhukova M.P., Volodin A.B., Golub» A.S., Chuhlebova N.S., Donets I.A., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2016, No 4 (24), pp.163–168 (In Russ.)
12. Kibalnik O.P., *Kukuruza i sorgo*, 2016, No 3, pp.23–27. (In Russ.)
13. Kibal'nik O.P., *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*, 2017, No 21 (6), pp. 651–656 DOI 10.18699/VJ17.282. (In Russ.)
14. Dospehov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Methods of field experience with the basics of statistical processing of research results). Moscow, 2011, 352 p.
15. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur* (Methods of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1989, Issue 2, 197 p. (In Russ.)