

ORIGINAL ARTICLE

Inheritance of morphological and fertile characters in heterozygous sorghum hybrids

S.I. Kapustin¹, A.B. Volodin¹, A.S. Kapustin²

¹Federal State Budget Scientific Institution, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, Stavropol Region, Mikhailovsk, ul. Nikonova, Russia.

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education, North-Caucasian Federal University, Stavropol, ul. Pushkin, Russia.

E-mail: snish@mail.ru (or) hpplus@bk.ru

Received: 24.05.2018. Accepted: 10.08.2018

In 2015-2017 years. in the North Caucasian FNAC, 8 sterile mother lines, more than 20 father fertility reducers and 150 derived on their basis cereal sorghum hybrids studied the main economically valuable traits. Identified their quantitative indicators and heritability in hybrids in comparison with the average indicators of parental forms. In the 5 combinations obtained, the true heterosis shows a decrease in the duration of the sprout-budding period by 1-3 days compared to the average data of the parental forms. In a number of hybrids, this symptom increased for 3-6 days, and for some parents and hybrids, they were identical. In comparison with the average values of the parental forms, the true heterosis in some of the hybrids obtained was 15-42 cm, or 11.6-34.7%. Higher values were obtained by pollination with pollen from Ergen and Garant. Among the sterile lines, the maximum values were obtained using Zersta 38A, A-3615 and A-3529. Heterosis leaf length high values (15.4-17.6%) had combinations with the participation of sterile Zersta lines 38A and A-3529. The highest indices of heterosis along the length of the panicles (7.5-12.9 cm) were obtained in hybrids, where the parent forms are Zersta 38A and Brownwood 11C. There is no direct correlation between the level of heterosis in the length of the panicle and the exit of the panicle stem from the socket of the top sheet. The highest level of grain yield was established in the hybrids Brownwood 11C × L-3631/93 (7.24 t/ha), Brown-billed 11C × Ergen (6.48 t/ha), A-1012×Ergen (6.39 t/ha), A-3529×Ergen (6.37 t/ha), Zersta 38A × Garant (6.23 t/ha), A-3615×Hazine 28 (6.29 t/ha), A-3615×SQ1-OA (6.31 t/ha), which is higher than that of Zersta 97 (4.91 t/ha) by 1.32-2.33 t/ha. The true heterosis in 25 of these hybrids to an average crop of grain of parents shows its excess at 1.89-3.20 t/ha or 43.0-79.2%. High heterosis was obtained in combinations with the participation of maternal sterile lines Brown-billed 11C, A-1012, Zersta 38A, A-3615, A-3529, as well as Ergen, Garant, C-3631/93, Hazine 28 and SQ1-OA pollinators. Combinations were established in which heterosis by mass of 1000 grains reached 11.2-17.1%. A number of hybrids received a decrease in this feature in comparison with parental forms by 1.6-7.1%. Similar patterns were obtained for the weight of 1 panicle. In some of the hybrids obtained, the heterosis of this trait is not established. But in combinations involving sterile lines A-1012, Zersta 38A and A-3615, its values were 38.5-79.6%. Variant Brownish 11C × L-3631/93 except for high grain yield, size, weight of panicle and grain has a low harvesting moisture of grain (11.3%), which is explained by a high daily decrease of this sign both at the beginning of maturation (0.6%) so and at the end of maturation (0.8%). A large grain yield (6.39 t/ha) was obtained in the hybrid A-10-12 × Ergen, with a combination of a considerable length of panicle (31 cm), a mass of 1000 grains (25.6 g), a panicle weight of 1 (61 g) and exit the legs of the panicle from the socket of the upper sheet (19 cm).

Keywords: Grain sorghum; line; variety; hybrid; heterosis; parental forms; crossing; combinational ability

Введение

Увеличение производства животноводческой продукции на юге России сдерживается засушливыми почвенно-климатическими условиями. Важным элементом стабилизации кормопроизводства является расширение площадей посева сорго. Это обусловлено его высокой продуктивностью, жаростойкостью и засухоустойчивостью, стабильностью урожаев по годам, хорошими кормовыми свойствами и универсальностью использования (Kulintsev, 2013; Volodin, 2017). Однако расширение посевов этой культуры сдерживает неполное учитывание производителями его биологических особенностей, требований агротехники, а также недостаточное количество новых сортов и гибридов, способных реализовать заложенный в них генетический потенциал в различных почвенно-климатических условиях (Kovtunova, 2017; Windpassinger, 2017). Задачей селекции является увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур. Создано значительное количество сортов сорго с высокой урожайностью зерна. Дальнейшее её увеличение связано с получением новых гетерозисных гибридов, имеющих большой потенциал урожайности и высокое качество зерна (Kovtunova, 2017; Xing, 2016; Immadi, 2016; Amelework, 2017; Mindaye, 2015; Li, 2015). Важно собрать в генотипе как можно больше желаемых признаков (Kapustin, 2017; Reddy, 2005). Для этого при подборе пар для гибридизации важно иметь информацию о хозяйственно ценных признаках и свойствах родительских форм, их комбинационной способности и закономерностях наследования

основных количественных признаков, чтобы более целенаправленно использовать их в селекции (Kenga, 2006; Reddy, 2007).

Целью

данной работы является изучение наследуемости и уровня гетерозиса основных количественных признаков у новых гибридов зернового сорго, полученных на стерильной основе.

Материалы и методы исследований

В 2015-2017 гг. изучение стерильных линий, сортов-восстановителей и полученных гибридов F₁ сорго провели в соответствии с планом НИР по утвержденной программе и методике исследований на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», расположенном в г. Михайловске Ставропольского края. Почвенный покров представлен малогумусным, типичным мицеллярно-карбонатным среднесуглинистым черноземом. Глубина гумусового горизонта 100-120 см, содержание гумуса в слое 0-30 см-3,2%. Обеспеченность почв подвижными формами минерального питания средняя. Климат зоны умеренно-континентальный. Среднегодовое количество осадков 550 мм, сумма эффективных температур выше +10°C-3300-3600°C, ГТК 0,9-1,1. Специфическими погодными факторами в летний период являются неравномерное распределение осадков, частые и длительные засухи при температуре воздуха до 35-42°C и низкой относительной влажности воздуха. 2016 год характеризуется как умеренно теплый и влажный, а 2015 г. и 2017 г.-острозасушливые. Количество осадков за май-сентябрь в 2015 г. составило 214 мм, в 2016 г.-385 мм. В 2017 г. за этот период выпало 315 мм, в том числе за май-июнь-245 мм, а за июль-сентябрь-70 мм. Среднесуточная температура воздуха за эти месяцы имела показатели соответственно 20,6; 18,6 и 20,2°C при среднесезонных значениях за май-сентябрь 18,0°C. Изучение линий, сортов и гибридов сорго осуществляли путем проведения полевых и лабораторных опытов в соответствии с «Методическими указаниями по изучению кукурузы, сорго и крупяных культур» (Shmargayev, 1968), «Методикой оценки и наблюдений широкого унифицированного классификатора СЭВ» (Yakushevsky, 1982). Объектом исследований послужили 150 гибридов F₁, полученные на стерильной основе. Лучшие комбинации представлены в таблицах 2 и 3. Стандартом зернового сорго являлся Зерста 97. В качестве материнских форм использовали ЦМС линии селекции «Северо-Кавказский ФНАЦ». Отцовскими вариантами послужили более 20 высокоурожайных восстановителей фертильности сорго собственной селекции, а также из других российских и иностранных селекционеров (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические и урожайные показатели родительских форм и гибридов зернового сорго (среднее за 2015-2017 гг.).

Линия, сорт, гибрид	Продолжительность периода всхождений, дней	Высота растений, см	Длина метелки, см	Выход метелки из раструба верхнего листа, см	Длина листа, см	Урожайность зерна, т/га
Материнские стерильные линии						
Зерста 90°C	68	170	19	11	71	3,09
Княжна	62	176	28	8	73	3,47
А-63	67	135	19	1	63	3,22
Зерста 38А	64	113	30	9	70	2,94
Коричневозерное 11С	64	133	22	14	71	2,66
А-1012	62	128	22	16	62	2,95
А-3615	63	109	23	6	73	3,02
А-3529	64	116	25	2	68	2,33
Отцовские формы-восстановители						
Наран	65	130	24	12	60	5,18
Ерген	68	114	30	8	78	5,98
Митридат	71	112	29	8	60	5,70
Л.3631/93	69	133	28	9	65	5,41
Калатур	67	122	25	8	60	5,38
Хазине 28	68	131	25	7	63	5,46
Гибриды						
Зерста 97 (St)	64	147	22	11	68	4,91
Зерста 38А × (Л.3563 × Нива 75)	67	155	37	10	82	6,07
Зерста 38А × Калатур	68	149	35	9	75	6,18
Зерста 38А × Гарант	64	163	30	19	80	6,23
Коричневозерное 11С × Л.3631/93	65	151	35	8	68	7,24
Коричневозерное 11 С × Ерген	72	163	31	20	82	6,48
Коричневозерное 11С × Хазине 28	64	156	31	19	74	6,14
А-1012 × (А-158 × Пищевой 5)	72	152	22	14	76	6,07
А-1012 × Наран	67	144	26	19	62	5,96

A-1012 - Ерген	70	160	31	20	76	6,39
A-3615 × Митридат	72	151	24	17	73	6,03
A-3615 × SQ1-ОА	66	152	27	13	68	6,31
A-3615 × Крупинка 10	70	156	27	10	71	6,21
A-3615 × Хазине 28	67	148	26	8	72	6,29
A-3529 × Наран	67	145	26	12	75	5,99
A-3529 × Ерген	69	148	32	7	78	6,37

НСР_{0,05} т/га для:

стерильных линий

0,18

отцовских форм

0,25

гибридов

0,27

Родительские формы с высоким эффектом общей и специфической комбинационной способности являются источником селекционно-ценных признаков и более приспособлены к условиям выращивания (Justin, 2015; Kumar, 2013; Fasahat, 2016). Для определения показателей наследуемости предметом изучения являлись следующие хозяйственно ценные признаки сорго: продолжительность вегетационного периода, высота растений, длина, масса и выход ножки метелки из раструба верхнего листа, количество и размер листьев, урожайность зерна, масса 1000 зерен, уборочная влажность зерна, качество продукции и др. Посев селекционных питомников проводили во второй декаде мая. Густоту стояния формировали вручную из расчета 150 тыс. растений на 1 га. Площадь делянки 25 м² в 4-х повторениях, способ размещения делянок-рэндомизированный. Обработку почвы, уход за посевами выполняли согласно «Рекомендаций по возделыванию сорго на зерно, силос и зеленый корм в Ставропольском крае» (Volodin, 2015). Содержание основных питательных веществ определяли в сертифицированном Ставропольском государственном центре агрохимической службы по общепринятым методикам. Статистический анализ полученных данных проведен по Б.А. Доспехову (Dosphehov, 1985).

Результаты и их обсуждение

Работа по выведению стерильных аналогов и аналогов восстановителей фертильности основана на том, что ЦМС передается образцам-закрепителям стерильности методом насыщающих скрещиваний с отбором типичных растений для данных опылителей, но стерильных по пыльце (Mahdy, 2011; More, 2014; Patil, 2015). Таким образом получены стерильные линии:

- Зерста 90°С выведена насыщающим скрещиванием стерильной линии зернового сорго А823 закрепителем стерильности Зерста 90, который в свою очередь получен отбором из гибридной популяции от скрещивания сортов Скороспелое 89 и Сарваши;
- Зерста 38А получена методом насыщающих скрещиваний стерильной линии А803 закрепителем стерильности 4338/83, который получен отбором из сорта зернового сорго Надежда Ставрополя;
- Княжна (А-3622) создана насыщающим скрещиванием стерильной линии Зерста 38А закрепителем стерильности 3622/80. Закрепитель стерильности Л-3622/80 получен методом отбора и самоопыления из сорта Надежда Ставрополя;
- А-3615 выведена насыщающим скрещиванием стерильной линии Зерста 38А закрепителем стерильности Л-3615/90, который был выделен индивидуальным отбором растений, многократного самоопыления и последующих отборов до исключительной выравненности из сорта зернового сорго Надежда Ставрополя;
- А-3529 получена насыщающим скрещиванием стерильной линии зернового сорго А-771 закрепителем стерильности 3529/88, который в свою очередь получен путем отбора и самоопыления из гибридной популяции от скрещивания сортов зернового сорго Скороспелое 89 и Сарваши.

Продолжительность периода всходы-выметывание

у стерильных линий колебалась от 62 до 68 дней. Самыми скороспелыми являются Княжна (62 дня), А-1012 (62 дня) и А-3615 (63 дня). Наибольшая продолжительность этого периода отмечена у Зерста 90°С (68 дней) и А-63 (67 дней). Среднеспелыми формами являются Зерста 38А, Коричневозерное 11С и А-3529 (64 дня). Значительная часть отцовских форм, опыление которыми приводит к получению высокого уровня гетерозиса зерна сорго-имеют в сравнении с стерильными линиями большую продолжительность периода всходы-выметывание-68-71 день. В зависимости от подбора родительских пар гибриды F₁ могут быть более скороспелыми (Knoll, 2018; Knoll, 2016; Mindaye, 2016; Ghorade, 2013; Blum, 2013), занимать промежуточное положение между ними, или отставать от них. С целью избегания доминирования позднеспелости отбирали формы с различиями 3-6 дней. У полученных гибридов наименьшая величина изучаемого периода в пределах 61-65 дней установлена у комбинаций А-1012 × Состав, Коричневозерное 11С × Л-3631/93, А-1012 × (Л-3563 × Нива 75), Коричневозерное 11С × Хазине 28, Зерста 38А × Гарант. У этих вариантов в сравнении с средними по родительским формам показателями продолжительность периода всходы-выметывание истинный гетерозис показывает уменьшение продолжительности изучаемого периода на 1-3 дня, или на 2,3-4,5% (таблица 2). Значительная протяженность от всходов до выметывания (69-72 дня) зафиксирована у вариантов А-3529 × Ерген, Коричневозерное 11С × Ерген, А-3615 × Митридат, А-1012 × Ерген, А-1012 × (А-158 × Пищевой 5). Истинный гетерозис показывает увеличение изучаемого периода и гибридов на 3-6 суток или 4,5-9,1% в

сравнении с средними данными по родительским формам. У варианта А-3615 × SQ1-ОА продолжительность периода всходы-выметывание у гибрида и у средних данных родительских форм оказалась одинаковой и составила 66 дней.

Таблица 2. Проявление эффекта гетерозиса по периоду всходы-выметывание, высоте растений, длине метелки и выходу ножки метелки из раструба верхнего листа, среднее за 2015-2017 гг.

Гибрид	Период всходы-выметывание			Высота растений			Длина метелки			Выход ножки метелки из раструба верхнего листа		
	сред-нее	истинный гетерозис	%	сред-нее	истинный гетерозис	%	сред-нее	истинный гетерозис	%	сред-нее	истинный гетерозис	%
	сутки	сутки		см	см		см	см		см	см	
Зерста 97 (St)	64	-	-	14,7	-	-	19,6	-	-	4,5	-	-
Зерста 38Ах (Л.3563хНива 75)	66	+1	1,5	119	+36	30,3	24,1	+12,9	53,5	7,8	+2,2	28,2
Зерста 38АхКалатур	65,5	+2,5	3,8	117,5	-31,5	26,8	27,5	+7,5	25,9	8,5	+0,5	5,9
Зерста 38А × Гарант	67	-3	4,5	121	+42	34,7	25,9	+4,1	15,8	8,9	+10,1	113
Коричневозерное 11С×С3631/93	66,5	-1,5	2,3	133	+18,0	13,5	25,0	+10	40	11,5	-3,5	30,4
Коричневозерное 11С×Ерген	66	+6	9,1	128,5	+34,5	26,8	26,0	+6	23,1	11,0	+9	81,8
Коричневозерное 11С×Хазине 28	66	-2	3,0	132	+24	18,2	23,5	+7,5	31,9	10,5	+8,5	80,9
А-1012 × (А158 × Пищевой 5)	66	+6	9,1	126	+26	20,6	22	+9	40,9	12,5	+1,5	12,0
А-1012 × Наран	65	+2	3,1	129	+15	11,6	23	+3	13,1	14,0	+5,0	35,7
А-1012 × Ерген	65	+5	7,7	121	+39	32,2	26	+5	19,2	12	+7	58,3
А-3615 × Митридат	67	+5	7,5	120	+31	25,8	26	-2	7,7	7	+10	143
А-3615 × SQ1-ОА	66	0	-	123	+29	23,6	23,1	+3,9	16,9	7,5	+5,5	73,3
А-3615 × Крупинка 10	66	+4	6,1	125	+31	24,8	24	+3	12,5	5,5	+4,5	81,8
А-3615 × Хазине 28	65,5	+1,5	2,3	120	+28	23,3	24	+2	8,3	65	+1,5	23,1
А-3529 × Наран	64,5	+2,5	3,7	123	+22	17,9	24,5	+1,5	6,1	7	+5	71,4
А-3529 × Ерген	66	+3	4,5	115	+33	28,7	27,5	+4,5	16,4	5	+2	40

Высота растений

продолжительность вегетационного периода наследуются с высокой степенью гетерозиса и в ряде случаев могут усилиться в гибридах (Mangush, 1998). Литературные источники свидетельствуют, что высота растений гибридов зависит от генотипов исходных родительских форм (Justin, 2015; Mindaye, 2016). Высота растений на 30-й день вегетации (интенсивность начального роста) у стерильных линий максимальной установлена у Зерста 90°C (54 см) и А-63 (51 см). В фазе полной спелости зерна в среднем за три года линии Зерста 90°C и Княжна имели высоту растений 170-176 см. У остальных форм зернового назначения она варьировала в пределах 109-135 см. У отцовских образцов высота растений колебалась от 114 до 133 см. Показатели высоты растений большинства полученных гибридов зернового направления находились в пределах 144-163 см.

У стандарта Зерста 97 этот показатель составил 147 см. Максимальная высота растений сорго составила 160-163 см у комбинаций Зерста 38А × Гарант, Коричневозерное 11С × Ерген и А-1012 × Ерген. Минимальными эти значения (144-156 см) оказались у образцов с участием стерильных форм А-1012, А-3529, А-3615, Коричневозерное 11С. Истинный гетерозис по высоте растений гибридов в сравнении с средними значениями родительских форм наблюдался практически у всех представленных гибридов и составил 15,0-42,0 см или 11,6-34,7%. Наибольшие значения установлены при опылении пылью Ерген (33-39 см; 26,8-32,2%) и применении Гаранта (42 см; 34,7%). Среди стерильных линий самый большой истинный гетерозис по высоте растений оказался при использовании Зерста 38А (31,5-42,0 см; 26,8-34,7%), а также линий А-3615 и А-3529. Подбор растений по интенсивности начального роста нецелесообразен, потому что такие образцы дают высокорослые гибриды, которые вызовут затруднение при уборке зерна. Существенного полегания растений зернового сорго в изучаемые годы не установлено. Кроме генетических особенностей размер стебля у сорго определяется удобрениями, густотой посева, климатом, типом почвы (Fasahat, 2016). В наших исследованиях толщина стебля варьировала в пределах 1,0-1,7 см. У линий самой значительной (1,60-1,67 см) она установлена у Зерста 90°C, Зерста 38А и А-3529. Максимальные значения этого признака у отцовских форм оказались у Ерген (1,58 см), Митридат (1,60 см), Калатур (1,58 см) и др. Полученные гибриды устойчивы к угнетению бактериозом и головней. Повреждение головней отсутствовало, а бактериозом и тлей составило 1 балл.

Размер листьев

Согласно исследований Tazoe Y., Sazuka. T., Yamaduchi, M., и др. (Tazoe, 2016) гетерозис у сорго не влияет на скорость роста, но скорость фотосинтеза увеличивает площадь листа. У полученных гибридов кормового сорго снижается ширина листа, но увеличивается длина и их количество (Singh, 2017). Количество листьев на одном растении у линии Зерста 38А составило 10 штук, у Зерста 90°C и А-3529-по 9 штук. Остальные стерильные формы имели по 7-8 листьев. Длина листа наибольшие значения (71-73 см) установлена у А-3615, Княжна, Зерста 90°C и Коричневозерное 11С. У остальных линий она варьировала в пределах 62-70 см. Самая значительная ширина листа (8 см) оказалась у А-63. Остальные линии имели размер этого признака 6-7 см.

У большинства отцовских форм количество листьев варьировало от 6 до 8 штук. Их длина самой большой (78 см) оказалась у комбинации Ерген. У остальных она колебалась от 60 до 73 см. Ширина листа (7-8 см) максимальной установлена у Наран, Митридат, Ерген, Калатур. Размер листьев был уже и короче в острозасушливые 2015 г. и 2017 г., чем в умеренно теплом и влажном 2016 г.

Длина и ширина листа у стандартного сорта Зерста 97 имела показатели 68 и 6 см. У комбинации Коричневозерное 11С × Ерген эти значения соответственно составили 82 и 8 см, у Зерста 38А × (Л 3563 × Нива 75)-82 и 9 см, Зерста 38А × Гарант-80 и 8 см, А-1012 × Ерген-76 и 9 см, А-3529 × Ерген-78 и 8 см.

Приведенные гибриды существенно превысили эти значения у стандарта Зерста 97. При этом истинный гетерозис повышения длины листа у полученных гибридов в сравнении с средней длиной листа у родительских форм варьировал от 0 до 14,5 см (0-17,6%). В представленных в таблице 3 данных истинный гетерозис длины листа высокие показатели имел у гибридов с участием стерильной линии Зерста 38А и отцовских форм Л-3563 × Нива 75 (12 см; 17,1%), Гарант (12 см; 17,6%), Калатур (10 см; 15,4%) и у комбинации А-3529 × Наран (11 см; 17,2%). Опыление пыльцой Ерген у большинства стерильных линий повышало длину листа на 5-7,5 см или 6,8-10,1%.

Таблица 3. Проявление эффекта гетерозиса по дине листа и урожайности зерна гибридов F₁ сорго зернового, среднее за 2015-2017 гг.

Гибрид	Длина листа			Урожайность зерна						
	средняя	истинный гетерозис		средняя родительских форм	истинный гетерозис по среднему урожаю родителей		максимальная урожайность родительских форм	истинный гетерозис по более урожайному родителю		
		см	см		%	т/га		%	т/га	т/га
Зерста 97 (St)	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Зерста 38А × (Л-3563×Нива 75)	70	+12	17,1	4,13	1,94	47,0	5,31	0,76	14,3	
Зерста 38А × Калатур	65	+10	15,4	4,16	2,02	48,6	5,38	0,80	14,9	
Зерста 38А × Гарант	68	+12	17,6	4,34	1,89	43,5	5,73	0,50	8,7	
Коричневозерное 11С × С-3631/93	68	0	-	4,04	3,20	79,2	5,41	1,83	33,5	
Коричневозерное 11С × Ерген	74,5	+7,5	10,1	4,32	2,16	50,0	5,98	0,50	8,4	
Коричневозерное 11С × Хазине 28	64,5	+7,5	11,3	4,06	2,08	51,2	5,46	0,68	12,5	
А-10-12 × (А-158 × Пищевой 5)	69	+7	10,1	4,13	1,94	47,0	5,31	0,76	14,3	
А-1012 × Наран	61	+1	0,2	4,07	1,89	46,4	5,18	0,78	15,1	
А-1012 × Ерген	70	+6	8,6	4,47	1,92	43,0	5,98	0,41	6,8	
А-3615 × Митридат	66,5	+6,5	9,8	4,36	1,67	38,3	5,70	0,33	5,8	
А-3615 × SQ1-ОА	67	+1	1,5	4,17	2,14	51,3	5,32	0,99	18,6	
А-3615 × Крупинка 10	68,5	+2,5	3,6	3,83	2,38	62,1	4,64	1,57	33,8	
А-3615 × Хазине 28	67,5	+4,5	6,7	4,24	2,05	48,3	5,46	0,83	15,2	
А-3529 × Наран	64	+11	17,2	3,76	2,23	59,3	5,18	0,81	15,6	
А-3529 × Ерген	73	+5	6,8	4,16	2,21	53,1	5,98	0,39	6,5	

Таким образом, высокие показатели длины и ширины листа у полученных новых гибридов обусловлены их сравнительно небольшими размерами у стерильных линий Зерста 38А (70 см), Коричневозерное 11С (71 см), А-3529 (68 см) и большими размерами листа у отцовской линии Ерген (78 и 8 см).

Длина метелки и выход ножки метелки из раструба верхнего листа

Наибольшей перспективой в производстве обладают сорта и гибриды сорго с рыхлой, легко продуваемой, прямостоячей, хорошо выдвинутой, крупной метелкой. У стерильных линий длина метелки самые большие значения (28-30 см) имела у Зерста 38А и Княжна. У остальных она варьировала в пределах 19-25 см. Ширина метелки максимальной установлена у Зерста 90°С (9 см), Княжна и А-3529 (по 8 см). Выход ножки метелки из раструба верхнего листа самый значительный оказался у Коричневозерное 11С (14 см), А-1012 (16 см), а также Зерста 90°С (11 см). У А-63 и А-3529 этот признак был незначительным.

У отцовских форм по длине (24-30 см), ширине метелки (5-8 см) и выходу ножки метелки из раструба верхнего листа (8-12 см) этим требованиям в наибольшей степени отвечают Наран, Митридат, Л-3631/93, Ерген, Калатур. У стандарта Зерста 97 длина метелки составила 22 см, а выход её ножки 11 см.

Длина метелки более 30 см получена у новых гибридов с участием линий Коричневозерное 11С, Зерста 38А, А-1012, А-3529. Выход ножки метелки в засушливых условиях имел существенные различия и наибольшие показатели у гибридов Коричневозерное 11С × Ерген (20 см), Зерста 38А × Гарант (21 см), А-1012 × Ерген (20 см).

По сопряжению длины метелки и выхода ножки метелки из раструба верхнего листа перечисленные варианты имеют наилучшие значения. Из данных таблицы 2 следует, что наибольшие показатели истинного гетерозиса по длине метелки (7,5-12,9 см или 31,9-53,5%) получены у гибридов, где материнскими линиями являются Зерста 38А и

Коричневозерное 11С. Применение в качестве опылителя комбинации Ерген уменьшало величину гетерозиса до 4,5-6 см или 16,4-23,1%. У гибрида А-3615 × Митридат произошло уменьшение длины метелки в сравнении с средними данными родительских форм на 2 см или на 7,7%, но при этом увеличился выход ножки метелки из раструба верхнего листа на 10 см (43%). У гибрида Коричневозерное 11С × С-3631/93 при увеличении гетерозиса длины метелки на 10%, уменьшился выход ножки метелки из раструба на 3,5 см или 30,4%. У большинства представленных гибридов зафиксировано увеличение длины выхода ножки метелки из раструба верхнего листа сорго, но не установлено прямой корреляционной связи уровня гетерозиса по длине метелки и выхода ножки метелки из раструба.

Урожайность зерна

Многие ученые при изучении проявления гетерозиса по урожайности зерна у сорго пришли к выводу, что некоторые комбинации могут превышать родительские формы на 50-70% и более (Malinovsky, 1968; Chittapur, 2015; Sami, 2013; Mindaye, 2016). В исследованиях Pal, K., Singh, S.K. (Pal, 2017; Wang, 2013), Жуковой М.П., Володина А.Б. (Zhukova, 2016) определяли величину гетерозиса по отношению к лучшему родителю и к их среднему значению. Самый высокий эффект гетерозиса по урожайности зерна наблюдался при межвидовых скрещиваниях. По отношению к среднему значению родителей он достигал 110-150%. В засушливые периоды родительские формы менее урожайные, чем во влажные и более высокое доминирование по продуктивности у гибридов выше при недостатке влаги (Bello, 2007; Bragintseva, 2003). Влажные годы значительно увеличивают число гетерозисных комбинаций (Mangush, 1998; Ahmed, 2011). В наших исследованиях у стерильных линий сорго самый высокий урожай зерна был у Княжна (3,47 т/га), А-63 (3,22 т/га), А-3615 (3,02 т/га) и Зерста 90°С (3,09 т/га). У остальных форм он колебался в пределах 2,33-2,95 т/га. Увеличение урожая зерна в 2016 году в сравнении с острозасушливыми 2015 и 2017 гг. составило 0,09-0,34 т/га. Наиболее высокий урожай зерна у отцовских форм получен у вариантов Митридат (5,70 т/га), Ерген (5,98 т/га). По 5,18-5,46 т/га зерна обеспечили сорта Наран, Калатур, Хазине 28 и Л-3631/93. Основным признаком практического использования гибридов является высокий урожай зерна. Сравнительная оценка гибридов и их родительских компонентов показывает, что приведенные в таблице 3 варианты по урожайности зерна на 38,3-79,2% превысили средний урожай своих родителей, то есть проявили истинный гетерозис. Наибольший уровень урожайности зерна в пересчете на 13% влажность в среднем за три года установлен у комбинаций Коричневозерное 11С × Л-3631/93 (7,24 т/га), Коричневозерное 11С × Ерген (6,48 т/га), А-1012 × Ерген (6,39 т/га), А-3529 × Ерген (6,37 т/га), Зерста 38 А × Гарант (6,23 т/га), А-3615 × Хазине 28 (6,29 т/га), А-3615 × SQ1-OA (6,31 т/га), что выше чем у стандарта Зерста 97 (4,91 т/га) на 1,32-2,33 т/га. Истинный гетерозис у приведенных гибридов по среднему урожаю зерна родителей показывает его превышение у этих гибридов на 1,89-3,20 т/га или 43,0-79,2%. Максимальным он оказался у варианта Коричневозерное 11С × С-3631/93.

При анализе родительских форм установлено, что более высокий истинный гетерозис получен у комбинаций с участием материнских стерильных линий Коричневозерное 11С, А-1012, А-3615, Зерста 38А, А-3529, а также опылителей Ерген, Гарант, С-3631/93, Хазине 28 и SQ1-OA. Среди родительских форм более высокая урожайность зерна установлена у отцовских форм. Определение истинного гетерозиса по более урожайному родителю показывает, что наибольший его уровень получен у комбинаций Коричневозерное 11С × С-3631/93 (1,83 т/га; 33,8%) и А-3615 × Крупинка 10 (1,57 т/га; 33,08%). У опылителя Ерген урожайность зерна была высокой (5,98 т/га), поэтому истинный гетерозис у гибридов с его участием составил 0,39-0,50 т/га или 6,5-8,4%.

Гетерозис по массе 1000 зерен, массе 1 метелки

Вследствие проявления гетерозиса в зерне и зеленой массе гибридов сорго стабилизируется или растет содержание хлорофилла (Patil, 2013; More, 2016), содержание железа и цинка (Ashok Kumar, 2013; Hariprasanna, 2014), сахара и сырого протеина (Tariq, 2014). В наших исследованиях у стерильных линий содержание белка в зерне более 9% установлено у Зерста 90°С (9,22%), А-3529 (9,08%), Зерста 38А (9,26%) и Коричневозерное 11С (9,01%). Высокое содержание белка в зерне у отцовских опылителей получено у Митридат (9,62%), Ерген (8,25%), Наран (7,50%), Калатур (7,94%). У стандарта Зерста 97 этот показатель составил 6,50%. Сорта и гибриды сорго с крупной метелкой более полновесны, а сочетание этого признака с массой 1000 зерен увеличивает продуктивность растений (Kibalnik, 2017; Mindaye, 2016). По данным Н.П. Шепеля (Sherpel, 1968) у гибридов наряду с увеличенным количеством зерен в одной метелке большей была масса 1000 зерен по сравнению с отцовской формой. Наследовался этот признак по материнской форме. В наших опытах у стерильных линий зернового направления средний вес одной метелки варьировал от 40 до 54 г., у отцовских форм 51-69 г. Максимальные показатели зафиксировали у Ерген (69 г.), Митридат (64 г.). Масса 1000 зерен среди стерильных образцов наибольшие значения имела у Зерста 90°С (26,2 г.), А-63 (25,0 г.) и А-1012 (25,3 г.). У остальных линий она колебалась в пределах 22,1-24,2 г. Среди отцовских форм максимальная масса 1000 зерен установлена у Митридат (25,5 г.), Наран (24,8 г.), Ерген (24,8 г.), Л-3631/93 (26,0 г.). При усреднении данных по обоим родителям установлено, что у полученных гибридов наблюдался истинный гетерозис по массе 1000 зерен и массе 1 метелки (таблица 4). У гибридов Коричневозерное 11С × Ерген масса 1000 зерен возрастала на 17,1%, Коричневозерное 11С × Хазине 28-15,8%, Зерста 38А × Калатур-13,7%, А-1012 × Наран-11,2%. У четырех гибридов получено снижение этого признака в сравнении с родительскими формами на 1,6-7,1%, остальные приведенные в таблице гибриды имели уровень истинного гетерозиса в пределах 0,04-6,5%. Истинный гетерозис по массе 1 метелки у некоторых полученных гибридов не установлен. Максимальные его значения оказались у комбинаций А-1012 × (А-158 × Пищевой 5)-79,6%, Зерста 38А × Калатур-47,5%, Зерста 38А × (Л-3563 × Нива 75)-43,1%, А-3615 × SQ1-OA-38,5%.

Таблица 4. Проявление эффекта гетерозиса по массе 1000 зерен и массе 1 метелки гибридов F₁ сорго зернового, среднее за 2015-2017 гг. Влажность зерна сорго, среднее за 2016-2017 гг.

Гибрид	Масса 1000 зерен		Масса 1 метелки		Влажность зерна, %		Снижение влажности зерна за 1 сутки, %			
	сред-нее	истинный гетерозис	сред-нее	истинный гетерозис	начало созревания	конец созревания	начало созревания	конец созревания	начало созревания	конец созревания
	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г
Зерста 97 (St)	24,3	-	-	48	-	-	24,4	15,6	0,8	0,6
Зерста 38А × (Л-3563хНива 75)	23,2	-0,6	2,6	50,3	+21,7	43,1	-	-	-	-
Зерста 38А × Калатур	24,1	+3,3	13,7	51,5	+21,5	47,5	-	-	-	-
Зерста 38А × Гарант	24,6	+1,6	6,5	49	+14,3	29,2	28,7	22,4	0,5	0,2
Коричневозерное 11С × С-3631/93	24,0	+0,3	0,2	51,5	+16,5	32,0	25,8	11,3	0,6	0,8
Коричневозерное 11С × Ерген	23,4	+0,4	17,1	50	+10	17,2	23,4	11,4	0,9	0,3
Коричневозерное 11С × Хазине 28	23,3	+3,7	15,8	49	+24	48,9	24,2	16,8	0,7	0,3
А-10-12 × (А-158 × Пищевой 5)	25,6	+1,4	5,5	54	+43	79,6	25,1	15,3	0,6	0,3
А-1012 × Наран	25,0	+2,8	11,2	46	-4	8,7	21,7	15,3	0,8	0,2
А-1012 × Ерген	25,0	+0,6	0,3	54,5	+6,5	11,9	25,3	16,1	0,8	0,3
А-3615 × Митридат	24,8	-0,4	1,6	53	-8	15,1	23,9	13,8	0,9	0,2
А-3615 × SQ1-ОА	24,6	+1,4	5,7	52	+20	38,5	-	-	-	-
А-3615 × Крупинка 10	24,1	-1,7	7,1	1,8	-6	12,5	26,1	18,1	0,9	0,2
А-3615 × Хазине 28	24,3	-1,5	6,2	1,95	+13,5	27,3	25,0	19,0	0,8	0,2
А-3529 × Наран	24,1	+0,1	0,04	53	-7	13,2	26,4	13,3	0,9	0,2
А-3529 × Ерген	24,1	+0,2	0,1	61,5	+4,6	7,5	25,7	14,3	0,8	0,3

У материнских форм наименьшие показатели уборочной влажности зерна в конце созревания (29-30 сентября) установлены у линий Коричневозерное 11С (13,2%), Княжна (14,0%) и А-3529 (15,7%). Высокая влажность зерна в этот период получена у Зерста 38А (24,4%), А-63 (24,0%), Зерста 90°С (23,3%). При анализе суточного снижения влажности установлено, что у А-1012, Зерста 90°С и А-3529 он доходил до 0,7-0,9%. У линии Коричневозерное 11С суточная отдача влаги к концу созревания увеличивалась до 0,8% и влажность зерна 30 сентября была наименьшей и составила 13,2%. У отцовских форм влажность зерна у Ерген, Калатур, Гарант, Митридат была ниже 14% и ее суточное снижение составляло 0,4-0,6%.

Вариант Коричневозерное 11С × Л-3631/93 кроме самой высокой урожайности зерна (7,24 т/га), размеров, массы метелки и зерна имел низкую уборочную влажность (11,3%). Это объясняется высоким суточным снижением влажности зерна (0,7%) в том числе и в конце созревания (0,8%), что отличает его от других гибридных комбинаций, у большинства из которых снижение суточной влажности зерна (0,5-0,9%) максимальным было в начале созревания зерна (5-15 сентября). Высокие значения (0,6-0,7%) суточного снижения влажности, особенно в начале созревания (0,9%) получены у комбинаций Коричневозерное 11С × Ерген и А-3529 × Наран. При этом также получены низкие показатели влажности зерна при уборке (11,4-13,3%). Большая урожайность зерна (6,39 т/га) получена у гибрида А-1012 × Ерген, при сочетании существенной длины метелки (31 см), выхода ножки метелки из раструба верхнего листа (19 см), массы 1000 зерен (25,6 г.), массы 1 метелки (61 г.).

Выводы

По продолжительности периода всходы-цветение донорами скороспелости являются Коричневозерное 11С, Зерста 38А, Зерста 90°С, Княжна, А-3615, А-1012.

Линия Княжна способствует увеличению высоты растений, урожайности зерна и зеленой массы. Донорами сокращения высоты растений являются Зерста 38А, А-3529 и Коричневозерное 11С.

Увеличение длины листа происходило с неиспользованием линий Зерста 38А, А-1012, А-3529. Донорами увеличения длины метелки и массы 1000 зерен установлены Коричневозерное 11С, Зерста 38А, А-3529, А-1012. Максимальный вес 1 метелки был у гибридов, полученных с участием линий А-1012, Зерста 38А и А-3615.

Для создания высокогетерозисных гибридов целесообразно использовать высокоурожайные родительские формы Коричневозерное 11С, Зерста 38А, А-1012, Княжна, А-3529, А-3615. Они обладают высоким эффектом гетерозиса по урожайности и качеству зерна с низким эффектом гетерозиса по высоте растений и продолжительности вегетационного периода.

Бібліографія

Наш Author також має ідентифікатор ORCID:

S.I. Kapustin: <https://orcid.org/0000-0002-3389-0340>

A.B. Volodin: <https://orcid.org/0000-0002-2944-4241>

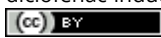
A.S. Kapustin: <https://orcid.org/0000-0001-7857-5988>

References

- Ahmed, M., Fayyaz-ul-H, Ummara, Q., Aslam, M.A. (2011). Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), 594-607.
- Amelework, B., Shimelis, H., Laing, M. (2017). Genetic variation in sorghum as revealed by phenotypic and SSR markers: Implications for combining ability and heterosis for grain yield. *Plant Genetic Resources: Characterisation and Utilisation*, 15(4), 335-347. doi.org/10.1017/S1479262115000696
- Ashok Kumar, A., Reddy, B.V.S., Ramaiah, B., Sahrawat, K.L., Pfeiffer, W.H. (2013). Gene effects and heterosis for grain iron and zinc concentration in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Field Crops Research*, 146, 86-95. doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.001
- Bello, D., Kadams, A.M., Simon, S.Y., Mashi, D.S. (2007). Studies on genetic variability in cultivated sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars of Adamawa State Nigeria. *American Eurasian Journal Agricultural Environmental Science*, 2(3), 297-302.
- Blum, A. (2013). Heterosis, stress, and the environment: A possible road map towards the general improvement of crop yield. *Journal of Experimental Botany*, 64(16), 4829-4837. doi.org/10.1093/jxb/ert289
- Bragintseva, N.A., Vakhopsky, E.K. (2003). The initial material for selection of grain sorghum (Iskhodnyy material dlya selektsii zernovogo sorgo). Conference Paper, *Modern Methods of Adaptive Selection of Grain and Forage Crops*, 199-202. (in Russian).
- Chittapur, R., Biradar, B.D. (2015). Association studies between quantitative and qualitative traits in rabi sorghum. *Indian Journal of Agricultural Research*, 49(5), 468-471. doi.org/10.18805/ijare.v49i5.5814
- Dosphehov, B.A. (1985). *Methodology of field experience (Metodika polevogo opyta)*. Kolos, Moscow. (in Russian).
- Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J.M., Derera, J. (2016). Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics and Biostatistics International Journal*, 4(1), 1-24. doi.org/10.15406/bbij.2016.04.00085
- Ghorade, R.B., Kalpande, V.V., Bhongle, S.A., Boratkar, M.V. (2013). Heterosis studies involving newly developed parents of Kharif sorghum. *Plant Archives*, 13(2), 743-745.
- Hariprasanna, K., Agte, V., Patil, J.V. (2014). Genetic control and heterosis for grain iron and zinc contents in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 74(4), 638-643. doi.org/10.5958/0975-6906.2014.00903.1
- Immadi, S., Maralappanavar, M.S., Patil, S.S., Sajjanar, G.M. (2016). Translation of phenotypic diversity of *Sorghum bicolor* axillary branched mutant into exploitable heterosis. *Plant Breeding*, 135(2), 177-190. doi.org/10.1111/pbr.12351
- Justin, R., Were, B., Mgonja, M., Santosh, D., Abhishek, R., Emmarold, M., Agustino, O., Samuel, G. (2015). Combining ability of some sorghum lines for dry lands and sub-humid environments of East Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 10(19), 2048-2060. doi.org/10.5897/AJAR2014.8519
- Kapustin, S.I., Volodin, A.B., Kapustin, A.S. (2017). Use of heterosis in increasing yield and quality of green mass of sugar sorghum (Ispol'zovaniye geterozisa v povyshenii urozhaynosti i kachestva zelenoy massy sakharnogo sorgo). Conference Paper, *Actual and New Directions in the Selection and Seed Production of Agricultural Crops*, 63-65.
- Kenga, R., Tenkouano, A., Gupta, S.C., Alabi, S.O. (2006). Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) population. *Euphytica*, 150(3), 319-326.
- Kibalnik, O.P. (2017). Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii*, 21(6), 651-656. doi.org/10.18699/VJ17.282
- Knoll, J.E., Anderson, W.F., Harris-Shultz, K.R., Ni, X. (2018). The Environment Strongly Affects Estimates of Heterosis in Hybrid Sweet Sorghum. *Sugar Tech*, 20(3), 261-274. doi.org/10.1007/s12355-018-0596-0
- Knoll, J.E., Anderson, W.F. (2016). Yield components in hybrid versus inbred sweet sorghum. *Crop Science*, 56(5), 2638-2646. doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0161
- Kovtunova, V.A., Volodin, A.B., Kotvunov, V.V. (2017). Heterosis in selection of sugar sorghum (Geterozis v selektsii sakharnogo sorgo). *Grain economy of Russia*, 1, 11-17. (in Russian).
- Kulintsev, V.V., Godunova, E.I., Volodin, A.B. (2013). The system of agriculture of the new generation of the Stavropol Territory (Sistema zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraya). Stavropol. Agrus. (in Russian).
- Kumar, S., Kumar, V., Chand, P., Kumar, N., Shrotria, P.K. (2013). Genetic parameters for hydrocyanic acid content in forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 4(4), 395-400.
- Li, X., Li, X., Fridman, E., Tesso, T.T., Yu, J., Phillips, R.L. (2015). Dissecting repulsion linkage in the dwarfing gene *Dw3* region for sorghum plant height provides insights into heterosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (38), 11823-11828. doi.org/10.1073/pnas.1509229112
- Mahdy, E.E., Ali, M.A., Mahmoud, A.M. (2011). The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Asian Journal of Crop Science*, 3(1), 1-15. doi.org/10.3923/ajcs.2011.1.15
- Malinovsky, B.N. (1968). Heterosis of sorghum and its use in plant-breeding (Geterozis u sorgo i yego ispol'zovaniye v selektsii). *Heterosis in plant-breeding*. Leningrad, 292-301. (in Russian).
- Mangush, P.A., Andryushchenko, I.I. (1998). Heterosis of the traits of grain sorghum hybrids (Geterozis priznakov u gibridnogo sorgo). *Maize*, 2, 10-11. (in Russian).
- Mindaye, T.T., Mace, E.S., Godwin, I.D., Jordan, D.R. (2015). Genetic differentiation analysis for the identification of complementary parental pools for sorghum hybrid breeding in Ethiopia. *Theoretical and Applied Genetics*, 128(9), 1765-1775. doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.020
- Mindaye, T.T., Mace, E.S., Godwin, I.D., Jordan, D.R. (2016). Heterosis in locally adapted sorghum genotypes and potential of hybrids for increased productivity in contrasting environments in Ethiopia. *Crop Journal*, 4(6), 479-489. doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.020

- More, A., Kalpande, H.V., Aundhekar, R.L., Chavan, S.K., Patil, V.S., Jangampalli, S.S. (2014). Heterosis and line 4 tester analysis of combining ability in kharif sorghum with special reference to grain mold (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Agrotechnol*, 2(4), 140. doi.org/10.4172/2168-9881.S1.012
- More, A.W., Kalpande, H.V., Ingole, D.G., Nirde, A.V. (2016). Heterosis studies for grain yield, fodder yield and their parameters in rabi sorghum hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 7(3), 730-736. doi.org/10.5958/0975-928X.2016.00096.X
- Pal, K., Singh, S.K., Kumar, B., Singh, C. (2017). Studies on heterosis and inbreeding depression in forage sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench). *Biochemical and Cellular Archives*, 17(1), 117-128.
- Patil, J.V., Rakshit, S., Khot, K.B. (2013). Genetics of post-flowering drought tolerance traits in post-rainy sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 73(1), 44-50. doi.org/10.5958/j.0019-5200.73.1.006
- Patil, V.R., Kute, N.S. (2015). Combining ability studies in grain sorghum. *Journal of Global Bioscience*, 4(1), 1902-1909.
- Reddy, B.V.S., Ramesh, S., Ortiz, R. (2005). Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum. *Plant Breeding Reviews*. New Jersey, Willey and Sons Inc., 25, 139-169.
- Reddy, B.V.S., Ramesh, S., Reddy, P.S., Ramaiah, B. (2007). Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Euphytica*, 154(1), 153-164. doi.org/10.1007/s10681-006-9281-6
- Sami R.A. (2013). Heritability Studies In Some Sweet Sorghum (*Sorghum Bicolor*. L. Moench) Genotypes. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(17), 49-51.
- Shepel, N.A. (1968). Efficiency of heterosis in interspecific hybridization of sorghum (Effektivnost' geterozisa pri mezhydivovoy gibridizatsii sorgovykh). *Heterosis in plant growing*. Kolos, Moscow, 268-279. (in Russian).
- Shmaryaev, G.E., Yarchuk, T.Ya., Yakushevsky, E.S. (1968). Methodical instructions for studying collection samples of maize, sorghum and groats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektsionnykh obraztsov kukuruzy, sorgo i krupyanykh kul'tur). *Russian Institute of Plant Growing, Leningrad*. (in Russian).
- Singh, S.K., Pal, K., Kumar, B., Singh, C. (2017). Studies on combining ability and heterosis in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Biochemical and Cellular Archives*, 17(1), 79-96.
- Tariq, A.S., Akram, Z., Shabbir, G., Khan, K.S., Mahmood, T., Iqbal, M.S. (2014). Heterosis and combining ability evaluation for quality traits in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 46(2), 174-182.
- Tazoe, Y., Sazuka, T., Yamaguchi, M., Saito, C., Ikeuchi, M., Kanno, K., Kojima, S., Hirano, K., Kitano, H., Kasuga, S., Endo, T., Fukuda, H., Makino, A. (2016). Growth Properties and Biomass Production in the Hybrid C4 Crop Sorghum bicolor. *Plant and Cell Physiology*, 57(5), 944-952. doi.org/10.1093/pcp/pcv158
- Volodin A.B., Kapustin, S.I., Danilenko, Yu.P. (2015). Recommendations for the cultivation of sorghum for grain, silage and green forage in the Stavropol Territory (Rekomendatsii po vozdeleyvaniyu sorgo na zerno, silos i zelenyy korm v Stavropol'skom kraye). *Amirit, Saratov*. (in Russian).
- Volodin, A.B., Kapustin, S.I., Kapustin, A.S. (2017). Sorghum cultures are source of forage for sheep breeding (Sorgovyie kul'tury-istochnik kormov dlya ovtsevodstva). *Collection of scientific papers*, 1(10), 54-59. (in Russian).
- Wang, L., Jiao, S., Jiang, Y., Yan, H., Su, D., Sun, G., Yan, X., Sun, L. (2013). Genetic diversity in parent lines of sweet sorghum based on agronomical traits and SSR markers. *Field Crops Research*, 149, 11-19. doi.org/10.1016/j.fcr.2013.04.013
- Windpassinger, S., Friedt, W., Deppé, I., Werner, C., Snowdon, R., Wittkop, B. (2017). Towards Enhancement of Early-Stage Chilling Tolerance and Root Development in Sorghum F1 Hybrids. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(2), 146-160. doi.org/10.1111/jac.12171
- Xing, J., Sun, Q., Ni, Z. (2016). Proteomic patterns associated with heterosis. *Biochimica et Biophysica Acta-Proteins and Proteomics*, 1864(8), 908-915. doi.org/10.1016/j.bbapap.2015.12.007
- Yakushevsky, E.S., Varadinov, S.G., Korneichuk, V.A. (1982). The wide unified classification of the SEV and the international classifier of the SEV of cultivated species of the genus *Sorghum* Moench (Shirokiy unifitsirovannyi klassifikator SEV i mezhdunarodnyy klassifikator SEV vozdeleyvayemykh vidov roda *Sorghum* Moench). *Russian Institute of Plant Growing, Leningrad*. (in Russian).
- Zhukova, M.P., Volodin, A.B. (2016). Results of selection of sorghum for heterosis. *Bulletin of the Agroindustrial Complex of Stavropol*, 4(24), 163-168. (in Russian).

Citation: Gryshchenko, V.A., Sysolyatin, S.V., Gulevata, J.V. (2018). Phospholipid composition of blood plasma and internal organs of rats with diclofenac-induced hepatitis. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(3), 273-281.

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License