

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦМС–ЛИНИЙ С РАЗНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СТЕРИЛЬНОСТИ 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, типы ЦМС, гибриды, кластеризация, селекционные признаки, программы скрещиваний

Реферат. Для улучшения генетико-селекционных признаков материнских форм, повышения их адаптивного потенциала в селекции гибридов сельскохозяйственных культур (сорго, африканское просо, кукуруза, рис, подсолнечник, озимая рожь и т.д.) используют разнообразные типы ЦМС. В статье представлены результаты изучения коллекции ЦМС-линий сорго, полученных на основе новых источников стерильности (A1, A2, A3, A4, A5, A6, 9E и M-35-1A) по агрономическим признакам. На опытном поле института в 2014–2018 гг. высевали 21 линию широкорядным способом с междурядьями 70 см и густотой стояния 100 тыс. растений на 1 га. Размещение делянок площадью 7,7 м² рендомизированное, в трехкратной повторности. Применение кластерного анализа по минимуму евклидовых расстояний позволило провести группировку ЦМС-линий по сходным изученным признакам: 1-я группа включает 9; 2-я – 4; 3-я и 4-я – по 3; 5-я и 6-я – по 1 линии. Дисперсионный однофакторный анализ подтверждает достоверность различий между группами по 18 селекционным признакам, за исключением выдвинутости ножки метелки. Установлено значительное варьирование вегетативных ($V=11,0-21,6\%$) и генеративных признаков ($V=13,2-28,4\%$). Наименьший коэффициент вариации выявлен по продолжительности межфазного периода «всходы – цветение» – 4,8%, что свидетельствует о скороспелости большинства линий (у A2 KBV 181, A2 Судзери светлый, A2 АГС – 46,6 дня). Пятилетнее испытание исходного материала позволило выделить продуктивные линии 5-й и 6-й групп (урожайность зерна 5,07–5,36, биомассы – 18,30–20,70 т/га), слабокустающиеся линии 3-й группы (общая и продуктивная кустистость 1,12–1,14), низкорослые линии 1-й группы (высота растений 81,0 см). A1 Ефремовское 2 отличается высокорослостью (143,3 см), крупными размерами флагового и наибольшего листьев (площадь 150,0 и 254,2 см² соответственно). Подбор стерильных линий с заданными признаками способствует оптимизации селекционного процесса и целенаправленному их применению в программах скрещиваний.

PROSPECTS FOR THE USE OF CMS LINES WITH DIFFERENT SOURCES OF STERILITY IN THE SELECTION OF SORGHUM

O.P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences

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

Key words: sorghum, types of CMS, hybrids, clustering, breeding traits, crossbreeding programs.

Abstract. To improve the genetic-breeding characteristics of maternal forms, to increase their adaptive potential in breeding hybrids of agricultural crops (sorghum, African millet, corn, rice, sunflower, winter rye, etc.), various types of CMS are used. The article presents the results of studying the collection of CMS sorghum lines obtained on the basis of new sources of sterility (A1, A2, A3, A4,

A5, A6, 9E and M-35-1A) by agronomic characteristics. On the experimental field of the Institute in 2014-2018. 21 lines were sown in a wide-row way with row spacing of 70 cm and a density of standing of 100 thousand plants per 1 ha. The allocation of plots of 7.7 m² is randomized, in triplicate. The use of cluster analysis for the minimum of Euclidean distances allowed us to group CMS lines according to similar studied features: the 1st group includes 9; 2nd - 4; 3rd and 4th - 3 each; 5th and 6th - 1 line each. One-way analysis of variance confirms the validity of differences between groups by 18 selection criteria, with the exception of the extension of the panicle leg. A significant variation in vegetative ($V = 11.0-21.6\%$) and generative traits ($V = 13.2-28.4\%$) was found. The smallest coefficient of variation was revealed by the duration of the seedling-flowering interphase period — 4.8%, which indicates the maturity of most lines (in A2 KVV 181, A2 Suzern light, A2 AGS - 46.6 days). A five-year test of the source material made it possible to identify productive lines of the 5th and 6th groups (grain productivity 5.07-5.36, biomass - 18.30-20.70 t / ha); weakly growing lines of the 3rd group (total and productive bushiness 1.12-1.14), low-growing lines of the 1st group (plant height 81.0 cm). A1 Efremovskoye 2 is distinguished by tallness (143.3 cm), large sizes of flag and largest leaves (areas of 150.0 and 254.2 cm², respectively). The selection of sterile lines with predetermined traits helps to optimize the selection process and their targeted use in crossbreeding programs.

Sorghum bicolor L. Moench – засухоустойчивая и жаростойкая культура, отличающаяся высокой продуктивностью. Возделывается для кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы, а также с целью применения в пищевой и перерабатывающей промышленности. В России сорго выращивается преимущественно в регионах с недостаточным увлажнением и наибольшие площади занимает в районах Приволжского и Южного федерального округов. Научно-исследовательская и семеноводческая работа по сорговым культурам ведется 26 российскими научными учреждениями и селекционно-семеноводческими организациями, в том числе и ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Приоритетным направлением селекции в институте за последние 10–15 лет являлось создание высокопродуктивных сортов, характеризующихся скороспелостью, высоким качеством зерна и биомассы, устойчивостью к болезням и вредителям [1]. Выведение гибридов затруднялось отсутствием раннеспелых стерильных линий. Их семеноводство осложнялось нестабильным вызреванием в условиях Саратовской области.

Для увеличения генетического разнообразия компонентов гибридов и создания

скороспелых ЦМС-линий возникла необходимость в вовлечении новых источников стерильности [2]. В настоящее время выведение гибридов сорго в институте основано на коллекции скороспелых ЦМС-линий с A1 (Milo), A2 (IS12662C), A3 (IS1112C), A4 (IS7920C), A5 (IS1056C), A6 (IS17506C), 9E (IS17218C) и M-35–1A (Maldandi) типами стерильных цитоплазм (рис. 1). Для большинства типов стерильности у сорго характерна спорофитная система восстановления фертильности. Однако в литературе имеются сведения о разных механизмах восстановления фертильности на цитоплазме A3. Гены-восстановители этой цитоплазмы встречаются крайне редко [3–5]. Цитоплазма A1 отличается наиболее простой системой восстановления фертильности, что способствует ее распространению в селекции гибридов сорго [6]. Многие линии-восстановители цитоплазмы A1 оказываются неспособными к восстановлению мужской фертильности на других типах ЦМС [7]. Для систем ЦМС A1, A2, A5 и A6 характерны мелкие сухие пыльники, не содержащие жизнеспособной пыльцы, тогда как у типов A3, A4 и 9E пыльники крупные с некоторым количеством окрашиваемых пыльцевых зерен [8].

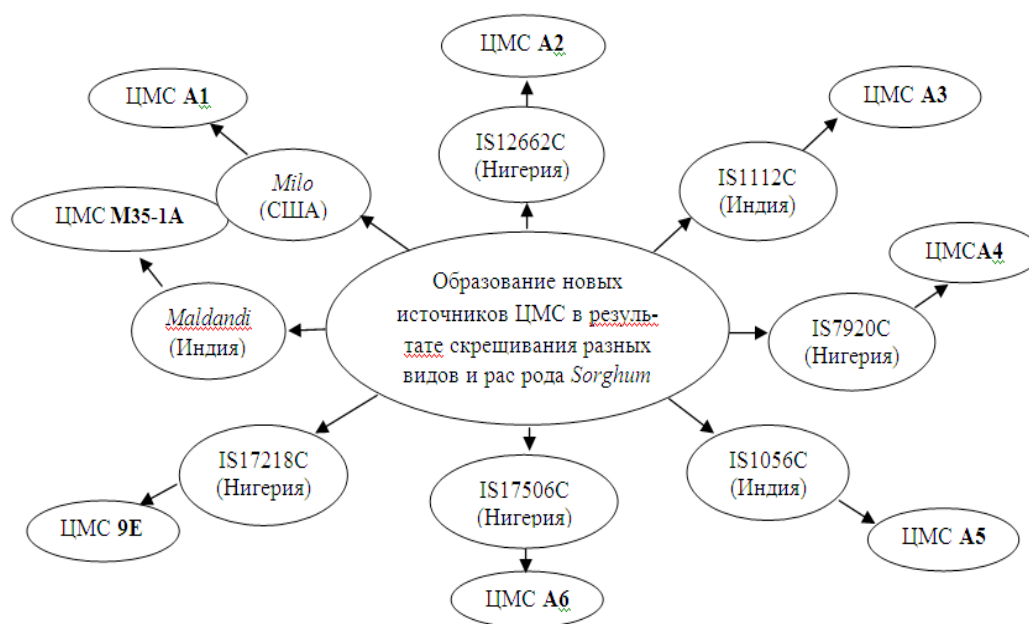


Рис. 1. Разнообразие и происхождение типов стерильности *Sorghum bicolor* L. Moench, используемых в программах тестерных скрещиваний ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»

Diversity and origin of the types of sterility *Sorghum bicolor* L. Moench used in the programs of test crosses “Rossorgo”

Таким образом, использование в программах скрещиваний типов ЦМС, различающихся по происхождению, генетике восстановления фертильности, морфологии и гистологической структуре пыльников, стадии дегенерации пыльца, структуре митохондриального и хлоропластного геномов [2, 9–10] позволяет создавать новые комбинации с заданными параметрами хозяйственных признаков и биологических свойств.

С целью повышения результативности гибридизации проведение кластеризации (по минимуму евклидовых расстояний) коллекции материнских форм с разными ЦМС-индуцирующими цитоплазмами по комплексу селекционно-ценных признаков является актуальным.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стерильные линии выращивали на опытном поле института в 2014–2018 гг. Посев исходного материала проводили во 2–3-й

декадах мая широкорядным способом (междурядья 70 см). Площадь делянки составила 7,7 м². Густота стояния растений – 100 тыс. шт/га. Повторность – трехкратная. Размещение делянок – рендомизированное. Селекционно-ценные признаки оценивались по общепринятой методике [11].

По метеорологическим условиям годы исследований значительно различались: гидротермический коэффициент (ГТК) варьировал от 0,41 до 0,90. Растения ЦМС-линий в 2014–2015 гг. развивались при сильно выраженной недостаточной естественной влагообеспеченности (ГТК=0,41–0,45) – «сухие» условия выращивания. Гидротермический коэффициент 2016–2018 гг. составил 0,64–0,90, что свидетельствует о «засушливых» условиях возделывания.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена кластерным анализом по минимуму евклидовых расстояний и дисперсионным однофакторным анализом [12] с использованием программы AGROS версии 2.09.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кластеризация экспериментальных данных хозяйственных признаков ЦМС-линий (в среднем за 2014–2018 гг.) по минимуму евклидовых расстояний указывает на наличие различий между ними. На 14-м шаге итерации (минимум евклидовых расстояний равен 19,96) выделено 6 групп, включающих следующие стерильные линии (рис. 2):

– 1-я группа: А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А4 Карлик 4в, А5 Карлик 4в, А6 Карлик 4в, М35–1А Пищевое 614, 9Е Пищевое 614, А2 Тамара;

– 2-я группа: А1 О-Янг 1, А2 КВВ 114, А2 Восторг, А4 КП 70;

– 3-я группа: А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10;

– 4-я группа: А2 КВВ 181, А2 Судзерж светлый, А2 АГС;

– 5-я группа: А3 Фетерита 14;

– 6-я группа: А1 Ефремовское 2.

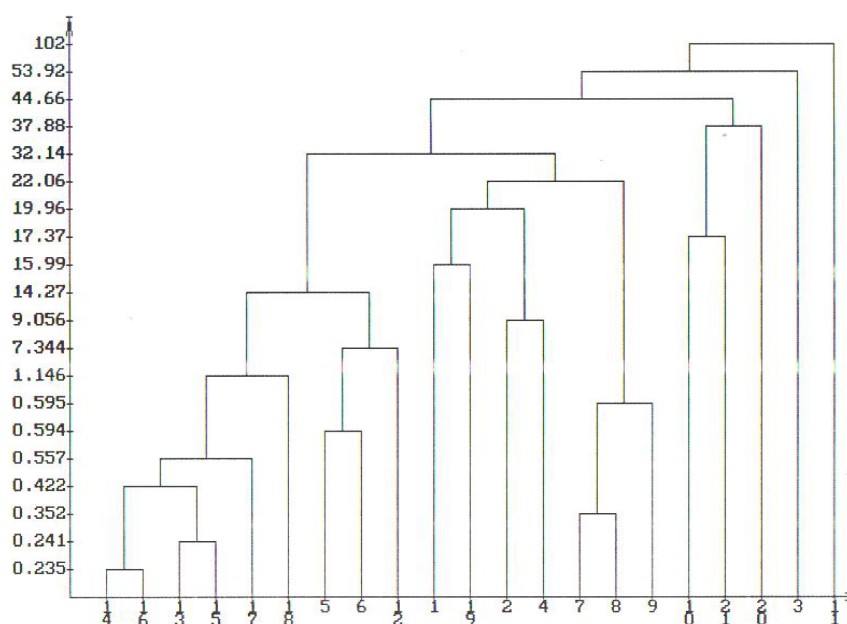


Рис. 2. Кластеризация ЦМС-линий по комплексу селекционных признаков (среднее за 2014–2018 гг.):

1 – А2 КВВ 114; 2 – А2 Восторг; 3 – А3 Фетерита 14; 4 – А4 КП 70; 5 – М35–1А Пищевое 614; 6 – 9Е Пищевое 614; 7 – А3 Желтозерное 10; 8 – А4 Желтозерное 10; 9 – 9Е Желтозерное 10; 10 – А2 КВВ 181; 11 – А1 Ефремовское 2; 12 – А2 Тамара; 13 – А1 Карлик 4в; 14 – А2 Карлик 4в; 15 – А3 Карлик 4в; 16 – А4 Карлик 4в; 17 – А5 Карлик 4в; 18 – А6 Карлик 4в; 19 – А1 О-Янг 1; 20 – А2 АГС; 21 – А2 Судзерж светлый

Clustering of CMS-lines on a complex of selection traits (average for 2014–2018)

1 – А2 KKV 114; 2 – А2 Vostorg; 3 – А3 Feterita 14; 4 – А4 KP 70; 5 – М35-1А Food 614; 6 – 9Е Food 614; 7 – А3 Yellow grain 10; 8 – А4 Yellow grain 10; 9 – 9Е Yellow grain 10; 10 – А2 KVV 181; 11 – А1 Efremovskoye 2; 12 – А2 Tamara; 13 – А1 Dwarf 4v; 14 – А2 Dwarf 4v; 15 – А3 Dwarf 4v; 16 – А4 Dwarf 4v; 17 – А5 Dwarf 4v; 18 – А6 Dwarf 4v; 19 – А1 O' Yang 1; 20 – А2 AGS; 21 – А2 Sudzern light

Примечательно, что аллоплазматические стерильные аналоги с разными типами ЦМС и одним и тем же геномом входят в одну группу: на основе Карлика 4в с цитоплазмами А1, А2, А3, А4, А5 и А6, а также с цитоплазмами М35–1А и 9Е на основе Пищевого 614 – в 1-ю; Желтозерного 10 с типами ЦМС 9Е, А3 и А4 – в 3-ю.

Дисперсионным однофакторным анализом выявлены различия между группами по

всем селекционным признакам ($F_{\phi} \geq F_{\text{теор}}$), за исключением выдвинутости ножки соцветия (таблица).

Растения стерильных линий, входящих в 1-ю группу, существенно отличаются более низкими показателями интенсивности начального роста (45,1 см) и высоты при созревании (81,0 см), массы 1000 зерен (27,1 г) и с одной метелки (16,2 г), числа зерен с одной метелки (592 шт.), урожайности зерна (3,48 т/га)

и биомассы (10,74 т/га). У них также отмечены средние показатели размеров соцветия, наибольшего и флагового листьев.

Вторая группа ЦМС-линий (А1 О-Янг 1, А2 КВВ 114, А2 Восторг, А4 КП 70) характеризуется средними значениями морфометрических признаков и элементов продуктивности. Растения этой группы относятся к среднеранним: продолжительность периода от всходов до цветения – 50,8 дня.

ЦМС-линии, входящие в 3-ю группу, являются слабокустящимися формами (продуктивная и общая кустистость равна 1,12–1,14 соответственно) с очень интенсивным начальным ростом (61,8 см) и массой 1000 зерен (34,5 г).

В 4-ю группу включены наиболее скороспелые линии (период «всходы – цвете-

ние» – 46,6 дня) с очень интенсивным начальным ростом (59,9 см) и выдвинутой ножкой соцветия (18,1 см). Это хорошо кустящиеся формы: продуктивная кустистость – 2,20, а общая – 2,22. Для растений характерны более короткие и узкие листья, невысокая озерненность и продуктивность зерна (4,05 т/га).

Растения 5-й группы выделяются наименьшими размерами соцветия (длина – 13,2, ширина – 6,5 см), широкими листьями (наибольший – 5,8, флаговый – 5,2 см), наибольшей продуктивностью (зерна – 5,07 т/га, биомассы – 18,30 т/га) и массой 1000 зерен (40,8 г).

Среднеспелая линия А1 Ефремовское 2 (6-я группа) – наиболее высокорослая, продуктивная и озерненная, с крупными листья-

Сравнительная характеристика ЦМС-линий по группам кластеризации (среднее за 2014–2018 гг.)
Comparative characteristics of CMS lines by clustering groups (average for 2014–2018)

Признаки	Группы						F _φ	V, %
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я		
Период «всходы-цветение», дней	50,0 b	50,8 b	52,2 b	46,6 a	52,6 b	60,5 c	9,2*	4,8
Высота, см								
через 30 дней после всходов	45,1 a	56,7cd	61,8 d	59,9cd	54,2bc	50,1ab	15,3*	14,7
при созревании	81,0a	117,5b	111,9b	120,2 b	126,4bc	143,3c	17,4*	21,6
Соцветие, см								
длина	22,1cd	22,4cd	18,4 b	19,6bc	13,2 a	23,4d	8,4*	13,2
ширина	10,1bc	8,3abc	7,5ab	11,0c	6,5a	10,8 c	3,2*	20,6
Выдвинутость ножки соцветия, см	13,1	12,8	16,0	18,1	16,6	13,6	0,6	34,1
Наибольший лист								
длина, см	40,6b	44,7c	49,6d	38,0a	43,9c	57,8e	56,2*	11,7
ширина, см	4,7b	5,3c	4,3ab	4,1a	5,8de	5,8e	12,8*	12,1
площадь, см ²	143,7b	176,1 c	159,2 b	117,2 a	193,1 d	254,2e	43,2*	15,0
Флаговый лист								
длина, см	28,5bc	29,7c	34,0d	23,7a	25,7a	40,6e	24,7*	14,2
ширина, см	4,3c	4,3c	4,1b	3,3a	5,2e	4,9d	63,2*	11,0
площадь, см ²	95,0b	97,1b	105,0b	58,9a	99,0b	150,0c	46,5*	20,8
Кустистость, шт.								
общая	2,25c	1,66abc	1,14a	2,22c	1,83bc	1,42ab	5,7*	27,4
продуктивная	2,17c	1,65abc	1,12a	2,20c	1,80bc	1,38ab	5,2*	27,3
Масса, г								
1000 зерен	27,1ab	27,2ab	34,5c	29,3b	40,8d	24,0a	9,7*	15,2
зерна с 1 метелки	16,2a	22,4bc	28,3de	16,3a	23,2c	32,3e	16,8*	28,4
Число зерен с одной метелки, шт.	592 a	855c	821bc	569a	569a	1347d	13,2*	23,3
Урожайность, т/га								
зерна	3,48a	4,40bc	4,28b	4,05ab	5,07cd	5,36d	7,2*	18,7
биомассы	10,74a	13,90bc	11,63ab	15,73cd	18,30de	20,70e	10,7*	24,9

Примечания: 1 – данные в столбцах по каждому признаку, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана. 2 V – коэффициент вариации. * P ≤ 0,05.

Notes: 1 – the data in the columns for each characteristic, indicated by different letters, significantly differ among themselves in accordance with the test of multiple comparisons of Duncan. 2 - coefficient of variation. * P ≤ 0.05.

ми. Масса зерна с одной метелки составила 32,3 г, а число зерен – 1347 шт.

У стерильных линий отмечена сильная вариабельность выдвинутости ножки метелки (коэффициент вариации 34,1%). Также выявлено значительное варьирование морфометрических признаков (ширина соцветия, высота при созревании, площадь флагового листа) и элементов продуктивности (кустистость, масса зерна и число зерен с одной метелки, урожайность биомассы) – коэффициент вариации 20,6–28,4%. Варьирование показателей высоты растений через 30 дней после всходов, длины соцветий, параметров наибольшего листа, длины и ширины флагового листа, массы 1000 зерен, урожайности зерна – среднее, коэффициент вариации равен 11,0–18,7%. Коллекция ЦМС-линий незначительно различалась по периоду «всходы – цветение» (коэффициент вариации 4,8%), что свидетельствует о скороспелости большинства материнских форм.

В результате изучения коллекции стерильных линий с разными типами ЦМС выделены источники хозяйственно-ценных признаков, что послужило основой для подбора родительских компонентов в программу скрещиваний с целью создания гибридов разного направления использования:

– ЦМС-линии А2 Тамара, А1 О-Янг 1, А2 Восторг, А2 КВВ 114, А4 КП 70, М35–1А Пищевое 614, 9Е Пищевое 614, А3 Фетерита 14 включены в гибридизацию с сортами и линиями зернового сорго селекции института для выведения высокопродуктивных гибридов [13];

– стерильные линии А2 КВВ 114, А2 Восторг, А1 Ефремовское 2 вовлечены в схему скрещивания с сортообразцами суданской травы (из мировой коллекции ВИР, селекции института и других научно-иссле-

довательских учреждений РФ для получения высокогетерозисных сорго-суданковых гибридов [14];

– аллоплазматические ЦМС-линии на основе А3, А4, 9Е типов стерильных цитоплазм участвуют в скрещиваниях *зерновое* × *зерновое* с целью улучшения хозяйственно-ценных признаков у гибридов F_1 ; а также повышения содержания водорастворимых сахаров в соке главного стебля и сбора сахаров с единицы площади при гибридизации *зерновое* × *сахарное* [15].

ВЫВОДЫ

1. С помощью кластерного анализа по минимуму евклидовых расстояний выделено шесть групп ЦМС-линий, полученных на основе источников стерильности – А1, А2, А3, А4, А5, А6, 9Е и М-35–1А. Корректность их распределения по группам подтверждена дисперсионным однофакторным анализом, кроме признака «выдвинутость ножки метелки». Отмечено варьирование изученных агрономических признаков у стерильных линий от 11,0 до 34,1%.

2. Кластеризация ЦМС-линий выявила наиболее раннеспелые (А2 КВВ 181, А2 Судзери светлый, А2 АГС), слабокустящиеся (А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10), низкорослые (А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А4 Карлик 4в, А5 Карлик 4в, А6 Карлик 4в, М35–1А Пищевое 614, 9Е Пищевое 614, А2 Тамара) и продуктивные (А3 Фетерита 14, А1 Ефремовское 2) формы.

3. Выделенные по комплексу селекционных признаков ЦМС-линии сорго активно используются в практической селекции в качестве компонентов новых гибридов F_1 и сорто-синтетиков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Directions of breeding of grain sorghum in the Lowel Volga region of Russia* / O. Kibalnik, D. Semin, V. Gorbunov [et. al.] // *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. – 2017. – Vol. 1. – P. 226–229.

2. Эльконин Л. А., Кожемякин В. В., Фадеева И. Ю. Новые источники мужской стерильности у сорго и их использование в селекции // Зональные особенности научного обеспечения сельскохозяйственного производства: материалы II регион. науч.-практ. конф. – Саратов, 2010. – С. 141–150.
3. Эльконин Л. А., Кожемякин В. В., Цветова М. И. Спорофитный тип восстановления фертильности в ЦМС-индуцирующей цитоплазме сорго типа А3 и его модификация условиями влагообеспеченности растений // Вавилов. журнал генетики и селекции. – 2019. – № 23 (4). – С. 412–421.
4. Fertility restoration of the sorghum A3 male-sterile cytoplasm through a sporophytic mechanism derived from sudangrass / H. V. Tang, J. F. Pedersen, C. D. Chase, D. R. Pring // Crop Sci. – 2007. – Vol. 47. – P. 943–950.
5. Pedersen J. F. Marx D. B., Funnell D. L. Use of A3 cytoplasm to reduce risk of gene flow through sorghum pollen // Crop. Sci. – 2003. – Vol. 43. – P. 1506–1509.
6. Hariprasanna K., Patil J. V. Sorghum: Origin, Classification, Biology and Improvement // Sorghum Molecular Breeding / R. Madhusudhana, P. Rajendrakumar, J. Patil (eds.). – New Delhi: Springer, 2015. – P. 21.
7. Reddy P. S., Patil J. V. Genetic enhancement of Rabi Sorghum – adapting the Indian Durra. – Academic Press. Elsevier Publ., 2015. – P. 37–43.
8. Kumar A. A., Reddy B. V. S., Kaul S. L. Alternative cytoplasmic male sterility systems in sorghum and their utilization // Sorghum Improvement in the New Millennium / B. V. S. Reddy, S. Ramesh, A. A. Kumar, C. L. L. Gowda (eds.). – Patancheru, ICRISAT Publ., 2008. – P. 134.
9. Pring D. R., Tang H. V., Schertz K. F. Cytoplasmic male sterility and organelle DNAs of sorghum // Molecular biology of plant mitochondria / C. S. Levis, I. K. Vasil (eds.). – Boston, Mass, Kluwer Academic Publ., 1995. – P. 461–495.
10. Reddy B. V. S., Ramesh S., Ortiz R. Genetic and Cytoplasmic-Nuclear Male sterility in Sorghum // Plant Breed. Reviews / J. Janik. Hoboken (ed.). – New Jersey: Wiley & Sons, Inc., 2005. – Vol. 25. – P. 139–169.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1989. – Вып. 2. – 197 с.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 2011. – 352 с.
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.
14. Комбинационная способность сортообразцов суданской травы в Нижнем Поволжье / С. С. Куколева, В. И. Жужукин, О. П. Кибальник [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12, Ч. 2. – С. 283–289.
15. Genetic Function of Cytoplasm in Plants with Special Emphasis on Sorghum/ Elkonin L., Kibalnik O., Zavalishina A., Gerashchenkov G. // Chloroplasts and Cytoplasm. Structure and Function / C. DeJesus, L. Trask (eds.). – New York: Nova Sci. Publ., 2018. – P. 97–155.

REFERENCES

1. Kibalnik O., Semin D., Gorbunov V., Zhuzhukin V., Efremova I., Kukoleva S., Starchak V., Arhipov A., Kameneva O. Directions of breeding of grain sorghum in the Lowel Volga region of Russia, *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 2017, Vol. 1., pp. 226–229.

2. Elkonin L. A., Kozhemyakin V. V., Fadeeva I. Yu. *Zonal'nye osobennosti nauchnogo obespecheniya sel'skohozyaistvennogo proizvodstva* (Zonal features of scientific support of agricultural production), Proceeding of the II regional scientific and practical conference, Saratov, 2010, pp. (In Russ.)
3. Elkonin L. A., Kozhemyakin V. V., Tsvetova M. I. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2019, No 23 (4), pp. 412–421. (In Russ.)
4. Tang H. V., Pedersen J. F., Chase C. D., Pring D. R. Fertility restoration of the sorghum A3 male-sterile cytoplasm through a sporophytic mechanism derived from sudangrass, *Crop Sci.*, 2007, Vol. 47, pp. 943–950.
5. Pedersen J. F., Marx D. B., Funnell D. L. Use of A3 cytoplasm to reduce risk of gene flow through sorghum pollen, *Crop. Sci.*, 2003, Vol. 43, pp. 1506–1509.
6. Hariprasanna K., Patil J. V. Sorghum Molecular Breeding, *New Delhi, Springer*, 2015, pp. 21.
7. Reddy P. S., Patil J. V. Genetic enhancement of Rabi Sorghum – adapting the Indian Durra, *Academic Press. Elsevier Publ.*, 2015, pp. 37–43.
8. Kumar A. A., Reddy B. V. S., Kaul S. L. Sorghum Improvement in the New Millennium, *Patacheru, ICRISAT Publ.*, 2008, pp. 134.
9. Pring D. R., Tang H. V., Schertz K. F. Molecular biology of plant mitochondria, *Boston, Mass, Kluwer Academic Publ.*, 1995, pp. 461–495.
10. Reddy B. V. S., Ramesh S., Ortiz R. Genetic and Cytoplasmic-Nuclear Male sterility in Sorghum, *Plant Breed. Reviews*, 2005, Vol. 25, pp. 139–169.
11. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur* (Methods of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1989, Issue 2, 197 p. (In Russ.)
12. 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. (In Russ.)
13. Kibalnik O. P. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2017, No 21 (6), pp. 651–656 (In Russ.)
14. Kukoleva S. S., Zhuzhukin V. I., Kibalnik O. P., Simin D. S., Starchak V. I. *Uspechi sovremennogo estestvoznaniya*, 2018 No 12, Issue 2, pp. 283–289. (In Russ.)
15. Elkonin L., Kibalnik O., Zavalishina A., Gerashchenkov G. Chloroplasts and Cytoplasm, Structure and Function, *New York. Nova Sci. Publ.*, 2018, pp. 97–155.