

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОДБОР ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА В СЕЛЕКЦИИ САХАРНОГО СОРГО НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

О.П. Кибальник, С.В. Кибальник

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, Россия

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Для цитирования: Кибальник О.П., Кибальник С.В. Прогнозирование и подбор исходного материала в селекции сахарного сорго на основе кластеризации // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 54–61. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-54-61.

Ключевые слова: сорго, селекционные признаки, урожайность, вариабельность, кластер, евклидово расстояние.

Реферат. В селекции сельскохозяйственных культур кластеризация образцов по минимуму евклидова расстояния обуславливает объединение совокупности множества признаков (морфологических, биохимических, фенологических, хозяйственных и др.) в кластеры по мере их объективного сходства. В последнее время селекционеры широко используют этот метод для оценки исходного материала и формирования коллекций для целенаправленного ведения селекции. Целью исследований являлось проведение кластеризации рабочей коллекции образцов сахарного сорго по комплексу признаков с последующим подбором наиболее ценных генотипов для целенаправленной дальнейшей селекции гибридов с высоким выходом сахаров с единицы площади. В представленной работе в качестве объектов исследований выступали 47 генотипов сахарного сорго, которые выращивали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в период с 2021 по 2023 гг. Условия вегетации культуры можно охарактеризовать как засушливые: гидротермический коэффициент изменялся от 0,62 до 0,75. Рассматриваемая коллекция включала генотипы с вариабельностью изучаемых признаков от 6,9 до 47,4 %. На 42-м шаге итерации образцы сгруппировались в шесть кластеров, достоверно различающихся по всем признакам, за исключением высоты растений. Первый кластер состоит из восьми образцов, второй – двадцати восьми, третий – четырех, четвертый – четырех, пятый – одного, шестой – двух. Наиболее перспективными оказались 34 образца из 2, 3 и 6-го кластеров, отличающихся высокорослостью (188,9–198,8 см), продуктивностью (семян – 2,50–2,57 т/га, надземной биомассы – 20,09–31,53 т/га), высоким содержанием сахаров в соке стебля (16,4–17,0 %) и мощным листовым аппаратом (площадь наибольшего листа – 207,9–312,8 см², флагового – 65,2–156,8 см²). Вовлечение подобранных образцов в программу скрещиваний будет способствовать созданию гибридов первого поколения сорго с высоким выходом сахаров с гектара посевов.

FORECASTING AND CHOICE OF THE STARTING MATERIAL IN THE SELECTION OF SUGAR SORGHUM BASED ON CLUSTERING

O.P. Kibalnik, S.V. Kibalnik

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Keywords: sorghum, breeding characteristics, yield, variability, cluster, Euclidean distance.

Abstract. In crop breeding, clustering of samples at a minimum of the Euclidean distance causes the combination of a set of features (morphological, biochemical, phenological, economic, and others) into clusters according to their objective similarity. Recently, breeders have widely used this method to evaluate the source material and form collections for purposeful breeding. The aim of the research was to cluster the working collection of sugar sorghum samples according to a set of characteristics, followed by the selection of the most valuable genotypes for targeted further breeding of hybrids with a high yield of sugars per unit area. In the presented work, 47 genotypes of sugar sorghum were used as research objects, which were grown in the experimental field of the Federal State Budgetary Research Institution Russian Research and Design-

Technological Institute of Sorghum and Corn in the period from 2021 to 2023. The growing conditions of the crop can be characterized as arid: the hydrothermal coefficient varied from 0.62 to 0.75. The collection in question included genotypes with variability of the studied traits from 6.9 to 47.4 %. At the 42nd iteration step, the samples were grouped into 6 clusters, significantly differing in all characteristics, except for plant height. The first cluster consists of 8 varieties, the second – 28, the third – 4, the fourth – 4, the fifth – 1, the sixth – 2. The most promising were 34 samples from 2, 3 and 6 clusters, characterized by tallness (188.9-198.8 cm), productivity (seeds – 2.50-2.57 t/ha, aboveground biomass – 20.09-31.53 t/ha), high sugar content in the juice of the stem (16.4-17.0 %) and a powerful leaf apparatus (the area of the largest leaf is 207.9-312.8 cm², flag – 65.2-156.8 cm²). The involvement of selected samples in the breeding program will contribute to the creation of hybrids of the first generation of sorghum with a high yield of sugars per hectare of crops.

Прогнозирование новых гибридных комбинаций сахарного сорго с заданными параметрами, например высоким выходом сахаров с единицы площади, основано на поиске и выделении компонентов скрещиваний, характеризующихся необходимыми значениями признаков. Подбор родительских форм проводится по комплексу морфометрических, биохимических, физиологических признаков и продуктивности, анализ которых – достаточно трудоемкий процесс. В этой связи применение методов многомерной статистики в обработке экспериментальных данных является необходимым.

Одним из методов, позволяющих обработать большой массив признаков объектов исследований и группировать их по мере сходства в кластеры, считается кластерный анализ [1–2]. Так, в каждый кластер включаются схожие генотипы по большинству признаков, при этом образцы разных кластеров должны достоверно различаться [3]. Мерой различия между кластерами является евклидово расстояние.

Предлагаемый подход к оценке и подбору исходного материала для будущих комбинаций значительно обусловит успех в селекции гибридов сахарного сорго за счет увеличения информативности экспериментальных данных, а также подбора генотипов из различных объединенных групп [4–5]. Известно, что выбор родительских форм должен основываться на более широком межкластерном расстоянии и более высоких средних показателях урожайности и других хозяйственноценных признаках [6]. Перспективность применения кластерного анализа в селекции сельскохозяйственных культур отражена в работах многих исследователей. У сорговых эффективность использования иерархической структуры исходного материала выявлена по подбору: для гибридизации

ЦМС-линий на основе разных типов цитоплазм, обладающих повышенной засухоустойчивостью [7], высокопродуктивных сортообразцов суданской травы [8], сортообразцов сахарного сорго с наибольшим выходом биоэтанола [9].

Цель исследований: проведение кластеризации рабочей коллекции образцов сахарного сорго по комплексу признаков с последующим подбором наиболее ценных генотипов для целенаправленной дальнейшей селекции гибридов с высоким выходом сахаров с единицы площади.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований: 47 образцов сахарного сорго. Рабочая коллекция состоит из 18 коллекционных сортообразцов, 9 сортов и гибридов, 20 селекционных линий (табл. 1).

В роли стандарта выступил сорт Волжское 51, допущенный к использованию в Нижневолжском регионе РФ.

Селекционные признаки образцов коллекции, возделываемых на опытном поле института, оценивали в течение 2021–2023 гг. Площадь делянки закладывалась в зависимости от питомника: селекционный и коллекционный – 7,7 м², предварительное сортоизучение – 15,4 м², конкурсное сортоизучение – 30,8 м². Густота стояния растений корректировалась вручную до 100 тыс. шт./га. Повторность трехкратная.

Оценку показателей признаков (высота растений, длина, ширина и выдвинутость ножки соцветия, параметры наибольшего и флагового листа, урожайность, содержание сахаров) проводили согласно общепринятой методике [10]. Площадь листа определяли путем умножения длины и ширины листа на поправочный коэффициент (0,746) [11].

Состав рабочей коллекции образцов сахарного сорго
Composition of the working collection of samples of sugar sorghum

Количество	Название
Коллекционные сорто-образцы (всего 18)	к-38 Янтарь красный (США); к-48 Янтарь Dakota (США); к-50; к-164 Cane Black Amber (США); к-166 Cane Texas Seed Ribbon (США); к-232 Early orange (США); к-256C Heads Orange (США); к-393 (Сев. Кавказ); к-600 Янтарь ранний (США); к-1371 Saccaline Sorghum (Ц. Америка); к-1413 Bombay Foololer (О-в Цейлон); к-1502 Budh Perio 53 (Индия); к-1608 Sumac Sorghum (США); к-1801 Black Amber (Австралия); к-1910 Red x sorgo (США); к-2127 Ново-Кубанское 262 (Россия); к-2472 Сорго местное (Болгария); к-3859 Оранжевое т. Сумак (Венгрия)
Сорта и гибриды (всего 9)	Камышинское 8 (Россия); Ларец (Россия); Кинельское 4 (Россия); Зерноградское 13 (Россия); Изольда (Россия); Момент (Россия); Севиля (Россия); Капитал (Россия); Волжское 51 (Россия)
Селекционные линии (всего 20)	Л-3 (Россия); Л-4 (Россия); Л-12 (Россия); Л-21 (Россия); Л-23 (Россия); Л-24 (Россия); Л-25/1 (Россия); Л-31 (Россия); Л-33 (Россия); Л-98/14 (Россия); О-30/18 (Россия); Л-67/13 (Россия); Л-5 (Россия); Л-75 (Россия); Л-16 (Россия); Л-104/14 (Россия); Л-6 (Россия); Л-10 (Россия); Л-52/13 (Россия); Л-44/13 (Россия)

Гидротермический режим в периоды вегетации сорго характеризовался следующими показателями гидротермического коэффициента: 2021 г. – 0,62; 2022 г. – 0,75; 2023 г. – 0,69.

Совокупность экспериментальных данных обрабатывали методом кластерного анализа по минимуму евклидоваго расстояния в программе «Агрос 2.09».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование морфологических признаков является наиболее распространенным подходом, используемым для оценки взаимосвязей между генотипами [6]. При создании гибридов сорго с высоким выходом сахаров с едини-

цы площади наибольшее внимание уделено признаку «содержание сахаров в соке главного стебля». Для селекции этого направления важно использовать хорошо изученные и правильно подобранные образцы. В этой связи рабочая коллекция формировалась по итогам трехлетних результатов исследований. В нее преимущественно включены образцы с высоким содержанием сахаров в соке главного стебля, при этом с различной селекционной ценностью. Поэтому и изменчивость данного признака слабая, всего 6,9 %. Следует отметить, что невысокое накопление сахаров установлено у стандарта сорта Волжское 51 (11,1 %), линии Л-5 (13,3 %), Л-75 (13,8 %); остальные образцы характеризовались содержанием водорастворимых сахаров в пределах 15,0–18,9 % (табл. 2).

Таблица 2

Вариабельность селекционных признаков образцов рабочей коллекции, среднее за 2021–2022 г.
Variability of breeding characteristics of working collection samples, average for 2021–2023.

Признак	Амплитуда изменчивости признака		Размах вариации R	Коэф. вариации V, %
	min	max		
1	2	3	4	5
Высота растений, см	148,0	218,0	135,0	8,1
Площадь наибольшего листа, см ²	134,3	322,3	188,0	22,4

1	2	3	4	5
Площадь флагового листа, см ²	60,3	147,2	86,9	21,8
Выдвинутость ножки соцветия, см	0,6	32,6	32,0	47,4
Длина соцветия, см	16,0	32,4	16,4	12,0
Ширина соцветия, см	4,2	15,8	11,6	32,5
Содержание сахаров в соке стебля, %	11,1	18,9	7,8	6,9
Урожайность биомассы, т/га	11,79	34,68	22,89	23,6
Урожайность зерна, т/га	1,05	4,32	3,27	28,2

Несмотря на значительную амплитуду значений высоты растений (от 148,0 до 218,0 см) и размах вариации (135,0 см) изменчивость признака слабая ($V = 8,1 \%$). По длине соцветия коэффициент вариации составил 12,0 %. По параметрам листьев ($V = 21,8-22,4 \%$), ширине соцветия ($V = 32,5 \%$), выдвинутости ножки соцветия ($V = 47,4 \%$), урожайности ($V = 23,6-28,2 \%$) образцы коллекции характеризовались сильной изменчивостью, что свидетельствует о разнообразии представленных в коллекции генотипов.

Для классификации исходного материала по совокупности рассматриваемых признаков 47 образцов сахарного сорго подвергли кластеризации. Графическое изображение иерархической структуры представленного исходного материала отражено на рисунке.

Так, на 42-м шаге итерации (евклидово расстояние равно 16,302) образовались кластеры со следующим количеством образцов:

1) Л-52/13, Изольда, Зерноградское 13, Л-3, Л-44/13, Л-5, Л-75, Волжское 51 (всего 8);

2) к-48, к-166, Л-10, Л-16, Л-104/14, Момент, Севилья, к-164, Кинельское 4, Л-98/14, Л-33, О-30/18, Л-21, к-50, Л-67/13, Л-23, Л-6, Капитал, Л-12, Л-25/1, к-1801, к-1910, к-1502, Л-4, Камышинское 8, к-600, Л-24, Л-31 (всего 28);

3) к-38, к-393, к-2127, к-2472 (всего 4);

4) к-1371, к-3859, к-1608, к-256С (всего 4);

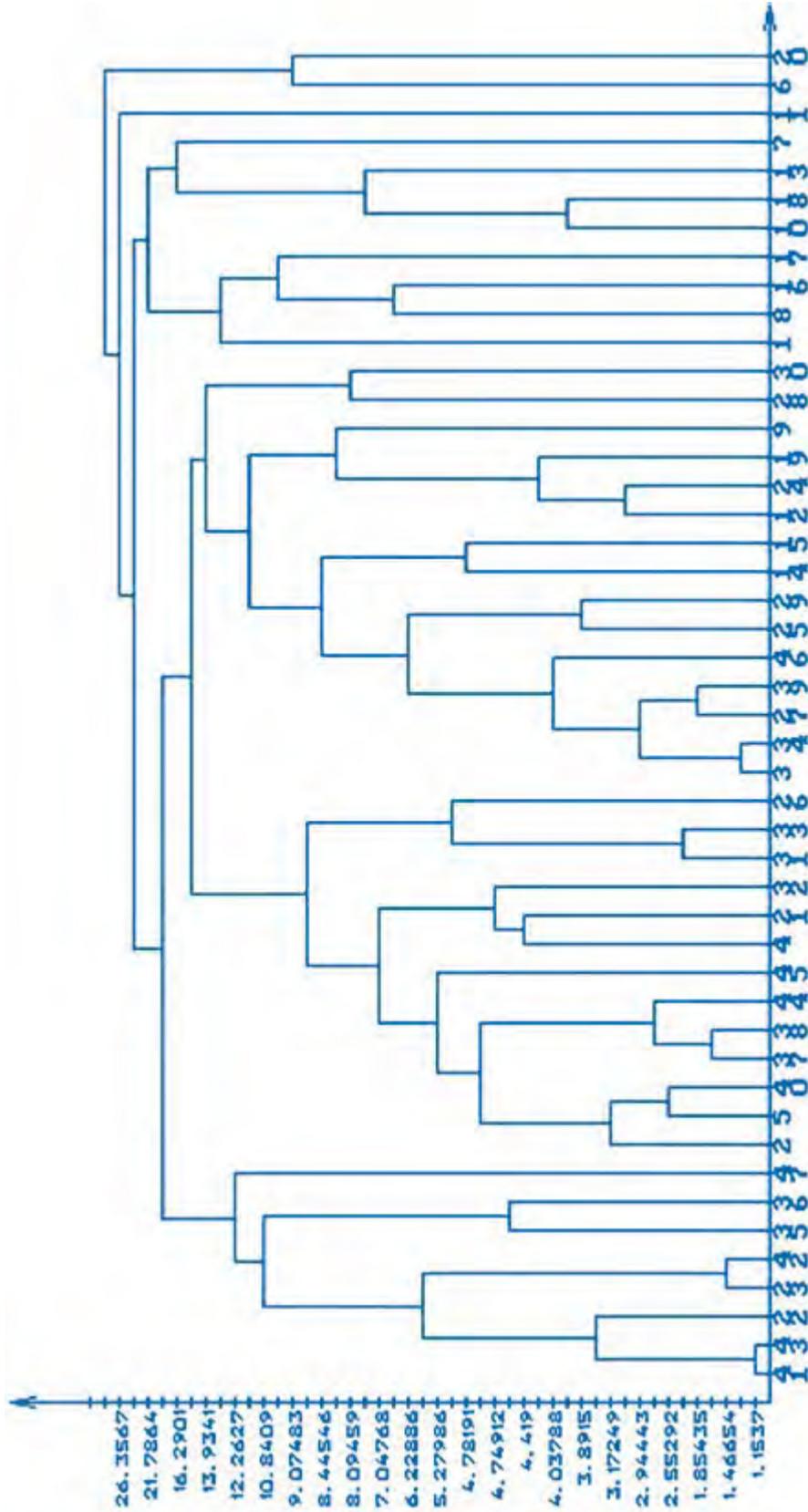
5) к-1413 (всего 1);

6) к-232, Ларец (всего 2).

Достоверные различия кластеров по селекционным признакам представлены в табл. 3 и подтверждены результатами дисперсионного анализа (табл. 4). Растения сортов и линий первого кластера с высокой урожайностью семян (3,84 т/га), длинным соцветием (23,2 см) и невысоким содержанием сахаров в соке стебля (14,4 %). Площадь фотосинтезирующей поверхности листьев средняя.

Самый многочисленный – это второй кластер, который объединил высокосахаристые (16,6 %) растения с некрупным наибольшим листом (площадь составила 207,9 см²), более выдвинутой ножкой (21,3 см) и шириной соцветия (11,1 см) по сравнению с представителями других кластеров, средней урожайностью семян и биомассы – 2,54 и 20,09 т/га соответственно.

Образцы третьего кластера отличаются высотой при созревании (192,4 см), продуктивностью зеленой массы (29,55 т/га) и семян (2,50 т/га), крупным наибольшим листом (площадь 271,5 см²), слабо выдвинутой ножкой соцветия (6,7 см) и более сжатой метелкой (ширина 5,8 см). При этом содержание водорастворимых сахаров в соке стебля высокое (17,0 %).



Дендрограмма кластеризации образцов рабочей коллекции сахарного сорго на основе исследований в среднем за 2021–2023 гг.
Dendrogram of clustering of samples of the working collection of sugar sorghum based on studies on average for 2021–2023.

Примечание. 1 – к-38; 2 – к-48; 3 – к-50; 4 – к-164; 5 – к-166; 6 – к-232; 7 – к-256С; 8 – к-393; 9 – к-600; 10 – к-1371; 11 – к-1413; 12 – к-1502; 13 – к-1608; 14 – к-1801; 15 – к-1910; 16 – к-2127; 17 – к-2472; 18 – к-3859; 19 – Камышинское 8; 20 – Ларец; 21 – Кинельское 4; 22 – Зерноградское 13; 23 – Л-3; 24 – Л-4; 25 – Л-12; 26 – Л-12; 27 – Л-21; 28 – Л-23; 29 – Л-24; 30 – Л-25/1; 31 – Л-33; 32 – Л-98/14; 33 – О-30/18; 34 – Л-67/13; 35 – Л-5; 36 – Л-75; 37 – Л-16; 38 – Л-104/14; 39 – Л-6; 40 – Л-10; 41 – Л-52/13; 42 – Л-44/13; 43 – Изольда; 44 – Момент; 45 – Севилья; 46 – Каптал; 47 – Волжское 51.

Таблица 3

Показатели признаков образцов, включенных в кластеры, среднее за 2021–2023 гг.
Indicators of the characteristics of the samples included in the clusters, the average for 2021–2023

Кластер	Высота растения, см	Площадь наибольшего листа, см ²	Площадь флагового листа, см ²	Выдвинутость ножки соцветия, см	Длина соцветия, см	Ширина соцветия, см	Содержание сахаров в соке стебля, %	Урожайность биомассы, т/га	Урожайность семян, т/га
1	183,8	215,3 ab	94,7 bc	16,7 bc	23,2 d	9,4 bc	14,4 a	23,86 b	3,84 d
2	188,9	207,9 a	101,3 bc	21,3 c	22,5 cd	11,1 c	16,6 bc	20,09 bc	2,54 c
3	192,4	271,5 bc	65,2 a	6,7 a	20,6 bc	5,8 a	17,0 bc	29,55 cd	2,50 bc
4	168,9	236,3 ab	86,5 ab	9,8 ab	17,0 a	5,1 a	17,8 c	17,20 a	1,70 a
5	186,5	248,0 ab	111,1 c	9,3 ab	32,4 e	6,5 ab	16,0 b	17,43 a	1,47 a
6	198,8	312,8 c	156,8 d	6,0 a	19,5 b	7,5 ab	16,4 b	31,53 d	2,57 c

Примечание. Данные, представленные в диаграмме и обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана при $p \leq 0,05$.

Таблица 4

Результаты дисперсионного анализа по селекционным признакам
The results of the analysis of variance on breeding grounds

Признак	df	SS	ms	Среднее значение признака	Стандартная ошибка	F ₀₅	HCP ₀₅
Высота растений, см	46	10645,65	213,42	187,0	6,15	1,77	–
Площадь наибольшего листа, см ²	46	114103,25	1961,58	222,3	18,65	3,43*	52,98
Площадь флагового листа, см ²	46	26276,08	340,48	98,4	7,77	7,23*	22,07
Выдвинутость ножки соцветия, см	46	3128,45	40,94	17,39	2,69	7,08*	7,65
Длина соцветия, см	46	419,48	4,19	22,07	0,86	11,78*	2,45
Ширина соцветия, см	46	465,03	5,90	9,59	1,02	7,55*	2,90
Содержание сахаров в соке стебля, %	46	85,38	1,03	16,3	0,42	8,36*	1,21
Урожайность биомассы, т/га	46	1207,02	13,60	21,71	1,55	9,54*	4,41
Урожайность зерна, т/га	46	26,05	0,22	2,66	0,20	14,55*	0,57

В четвертый кластер сгруппированы сортообразцы, синтезирующее наибольшее количество сахаров (17,8 %), Однако значения остальных селекционных признаков низкие.

Растения пятого кластера выделились формированием длинных соцветий (32,4 см) и крупных флаговых листьев (площадь составила 111,1 см²). При этом сортообразец к-1413 оказался малопродуктивным: урожайность зеленой биомассы – 17,43 т/га, семян – 1,70 т/га.

В последний кластер включены два образца, характеризующиеся высокими показателями высоты при созревании (198,8 см) и урожайности

биомассы (31,53 т/га), площади наибольшего и флагового листьев – 312,8 и 156,8 см².

ВЫВОДЫ

1. Установлена различная вариабельность рассматриваемых девяти признаков у 47 образцов: слабая по высоте растений и содержанию водорастворимых сахаров в соке стебля ($V = 6,9–8,1$ %); средняя – длине соцветия ($V = 12,0$ %); сильная – параметрам флагового и наибольшего листьев, ширине соцветия, выдвинутости ножки соцветия, урожайности семян и биомассы ($V = 21,8–47,4$ %).

2. С помощью кластерного анализа выделены образцы 2, 3 и 6-го кластеров (пятнадцать селекционных линий Л-4, Л-6, Л-10, Л-12, Л-16, Л-21, Л-23, Л-24, Л-25/1, Л-31, Л-33, Л-67/13, Л-98/14, Л-104/14, О-30/18; шесть сортов и гибридов – Момент, Севилья, Кинельское 4, Ларец, Капитал, Камышинское 8; тринадцать коллекционных сортообразцов – к-38, к-48, к-50, к-164,

к-166, к-232, к-393, к-600, к-1801, к-1910, к-1502, к-2127, к-2472), обладающие совокупностью селекционных признаков. Данные образцы (всего 34) рекомендуются для включения в гибридизацию с целью создания гибридов сахарного сорго, характеризующихся высоким выходом сахаров с единицы площади.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перевязка Д.С., Перевязка Н.И., Супрунов А.И.* Кластерный анализ нового исходного материала для создания раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы // *Рисоводство*. – 2021. – № 4 (53). – С. 30–35. – DOI: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35.
2. *Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П.* Изучение генофонда рабочей коллекции яровой мягкой пшеницы по урожайности и структурным элементам урожая с использованием кластерного анализа // *Известия Оренбургского аграрного университета*. – 2021. – № 6 (92). – С. 24–30.
3. *Плешаков А.А., Цаценко Л.В., Савиченко Д.Л.* Кластеризация коллекционных сортообразцов озимой пшеницы по элементам продуктивности колоса // *Научный журнал КубГАУ*. – 2021. – № 168 (04). – С. 195–207. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-014.
4. *Применение* многомерных методов для разделения сортов риса по реакции на изменение условий среды / Е.М. Харитонов, Ю.К. Гончарова, Н.А. Очкас [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. – 2017. – Т. 52, № 1. – С. 152–160.
5. *Применение* кластерного анализа для определения селекционной ценности нута (*Cicer arietinum L.*) / С.П. Кузьмина, Н.Г. Казыдуб, С.В. Булынец [и др.] // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 2 (46). – С. 13–21. – DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_13.
6. *Sinha S., Kumaravadivel N.* Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits // *Scientifica (Cairo)*. – 2016. – Vol. 2016. – e. 3075023. – DOI: 10.1155/2016/3075023.
7. *Кибальник О.П., Ларина Т.В., Каменева О.Б.* Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 187–193. – DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193.
8. *КукOLEVA С.С.* Использование кластерного анализа в селекции суданской травы // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2021. – № 12–1 (114). – С. 129–133. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.020.
9. *Umakanth A.V., Nikhil B.S.K., Tonapi V.A.* Genetic diversity studies in sorghum [*Sorghum bicolor (L.) Moench*], a candidate crop for biofuel production // *Forage Research*. – 2019. – Vol. 45(1). – P. 28–32.
10. *Методика* государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. – М.: Агропромиздат, 1989. – 194 с.
11. *Чирков Ю.И.* Определение площади листьев расчетным методом. – М., 1961. – С. 5–6.

REFERENCES

1. *Perevyazka D.S., Perevyazka N.I., Suprunov A.I., Risovodstvo*, 2021, No. 4 (53), pp. 30–35, DOI: 10.33775/1664-2464-2021-53-4-30-35. (In Russ.)
2. *Grechishkina O.S., Khutamberdina R.D., Mordvintsev M.P., Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 6 (92), pp. 24–30. (In Russ.)
3. *Pleshakov A.A., Tsatsenko L.V., Savchenko D.L., Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2021, No. 168 (04), pp. 195–207. – DOI: 10.21515/1990-4665-168-014. (In Russ.)
4. *Kharitonov E.M., Goncharova Y.K., Ochkas N.A. [et al.], Sel'skhozhyaystvennaya biologiya*, 2017, Vol. 52, No. 1, pp. 152–160. (In Russ.)
5. *Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Bulyntsev S.V. [и др.], Vestnik Omskogo GAU*, 2022, No. 2 (46), pp. 13–21, DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_13. (In Russ.)
6. *Sinha S., Kumaravadivel N., Understanding Genetic Diversity of Sorghum Using Quantitative Traits, Scientifica (Cairo)*, 2016, Vol. 2016, e. 3075023, DOI: 10.1155/2016/3075023.
7. *Kibalnik O.P., Larina T.V., Kameneva O.B., Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2023, T. 24, No. 2, pp. 187–193, DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193. (In Russ.)
8. *Kukoleva S.S., Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2021, No. 12–1 (114), pp. 129–133, DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.020. (In Russ.)

9. Umakanth A.V., Nikhil B.S.K., Tonapi V.A., Genetic diversity studies in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], a candidate crop for biofuel production, *Forage Research*, 2019, Vol. 45 (1), pp. 28–32.
10. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Issue 2, Moscow: Agropromizdat, 1989, 194 p.
11. Chirkov Yu.I., *Opreделение ploschadi list'ev raschetnym metodom* (Determination of the leaf area by the calculation method), Moscow, 1961. pp. 5–6.

Информация об авторах:

О.П. Кибальник, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник
С.В. Кибальник, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

O.P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher
S.V. Kibalnik, Junior Research assistant

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.