

МЕТОД «ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ» В СЕЛЕКЦИИ ЗЕРНОВОГО СОРГО ДЛЯ ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

В.И. Старчак, научный сотрудник отдела селекции сорговых культур, viktorija_starchak@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7312-4547;

О.П. Кибальник, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, kibalnik79@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1808-8974;

Т.В. Ларина, старший научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, larinatv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3845-6578;

Д.С. Семин, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции сорговых культур, sds-balashov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6782-5256

ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», 410050, г. Саратов, 1-й Институтский пр-д, 4; e-mail: rossorgo@yandex.ru

В селекции сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго, применение методов многомерной статистики позволяет определить корреляционные взаимосвязи между морфометрическими признаками, элементами урожайности и биохимическими показателями зерна в модельной популяции, а также выявить нагрузку гипотетических факторов. Целью данных исследований являлось определение корреляционных взаимосвязей между морфометрическими признаками, элементами продуктивности и биохимическими показателями зерна, характеризующими нагрузку гипотетических факторов в модельной популяции сорго. Для практической селекции проанализировали 13 хозяйственно-ценных признаков у 27 сортообразцов зернового сорго, созданных в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Установлена различная степень варьирования признаков зернового сорго: сильная – площадь флагового листа, площадь наибольшего листа, выдвинутость ножки метелки, продуктивная кустистость, масса и число зерен с 1 метелки (27,3–35,2%); слабая – содержание протеина и крахмала в зерне (2,8–8,6%). В группу со средней степенью варьирования отнесены высота растений через 30 суток и при созревании, длина метелки, масса 1000 зерен, урожайность зерна (10,1–15,6%). При анализе матрицы коэффициентов корреляции рассчитаны гипотетические факторы с вкладом более 5% в накапливаемую дисперсию. Построена корреляционная плеяда, позволяющая продемонстрировать средние ($r = 0,51–0,68$) и сильные ($r = 0,76–0,94$) корреляционные связи. Рассмотрены шесть гипотетических факторов, отражающих общий вклад в накапливаемую дисперсию: Z-1 – 40,86%, Z-2 – 13,76%, Z-3 – 11,85%, Z-4 – 8,74%, Z-5 – 6,69%, Z-6 – 5,99%. Первый гипотетический фактор определяют признаки: площадь наибольшего и флагового листа (0,78–0,80), число и масса зерна с 1 метелки (0,84–0,91), урожайность зерна (0,77) и продуктивная кустистость (–0,78). Полученные результаты используются в селекционных программах по созданию сортов и гибридов зернового сорго, адаптированных к засушливым условиям Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: сорго, урожайность, изменчивость признака, корреляция, факторный анализ.

Для цитирования: Старчак В.И., Кибальник О.П., Ларина Т.В., Семин Д.С. Метод «главных компонент» в селекции зернового сорго для засушливых условий Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3(75). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-22-26.



THE METHOD OF 'MAIN COMPONENT' IN THE GRAIN SORGHUM BREEDING FOR ARID CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

V.I. Starchak, researcher of the department of sorghum breeding, viktorija_starchak@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7312-4547;

O.P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences, main researcher of the department of sorghum breeding, kibalnik79@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1808-8974,

T.V. Larina, senior researcher of the department of biochemistry and biotechnology, larinatv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3845-6578;

D.S. Semin, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the department of sorghum breeding, sds-balashov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6782-5256
Russian Research and Project-technological Institute of sorghum and maize "Rossorgo", 410050, Saratov, 1-st Institutsky, 4; e-mail: rossorgo@yandex.ru

In the breeding process of agricultural crops, including sorghum, the use of multivariate statistics methods makes it possible to determine the correlation between morphometric traits, yield elements and biochemical parameters of grain in the model population, as well as to identify the load of hypothetical factors. The purpose of the current study was to identify the correlations between morphometric traits, yield elements and biochemical parameters of grain, which characterize the load of hypothetical factors in the model grain sorghum population. For practical breeding process, there have been analyzed 13 economically valuable traits in 27 grain sorghum varieties, developed by the FSBSI Russian Research and Project-technological Institute of sorghum and maize "Rossorgo". There has been established a different variation degree of the traits of grain sorghum; a strong variation degree was established for such traits as 'flag leaf area', 'the largest leaf area', 'panicle stem', 'productive tillering capacity', 'weight and number of grains per panicle' (27.3–35.2%); a weak variation degree was established for such traits as 'protein percentage' and 'starch content' in grain (2.8–8.6%). The group with an average degree of variation includes the traits 'plant height' after

30 days of growing and at ripening period, 'panicle length', '1000-grain weight', and 'grain yield' (10.1–15.6%). When analyzing the matrix of correlation coefficients, there were calculated the hypothetical factors with a contribution of more than 5% to the accumulated variance. There has been built a correlation pleiad, which made it possible to demonstrate mean ($r = 0.51\text{--}0.68$) and strong ($r = 0.76\text{--}0.94$) correlations. There have been considered six hypothetical factors reflecting the total contribution to the accumulated variance, Z-1 – 40.86%, Z-2 – 13.76%, Z-3 – 11.85%, Z-4 – 8.74%, Z-5 – 6.69%, Z-6 – 5.99%. The first hypothetical factor is determined by such traits as 'the largest leaf area' and 'flag leaf area' (0.78–0.80), 'weight and number of grains per panicle' (0.84–0.91), 'grain productivity' (0.77) and 'productive tillering capacity' (– 0.78). The results obtained are used in breeding programs to develop grain sorghum varieties and hybrids adapted to the arid conditions of the Lower Volga region.

Keywords: sorghum, productivity, trait variability, correlation, factor analysis.

Введение. В настоящее время все чаще происходят глобальные изменения климата, приводящие к более частым проявлениям почвенных и воздушных засух (Chadalavada et al., 2021). Это вызывает необходимость расширения посевных площадей засухоустойчивых и жаростойких культур, к которым относится зерновое сорго (Алабушев и др., 2003; Кибальник, 2017; He et al., 2020). При выведении новых сортов важно ориентироваться на увеличение их стрессоустойчивости к конкретным условиям региона возделывания. Поэтому для повышения эффективности селекции необходимо учитывать корреляционные взаимосвязи между определяющими селекционными признаками (Старчук и Жук, 2019; Старчук и др., 2020). В настоящее время в практической селекции используются методы многомерного статистического анализа, к которым относятся: факторный и кластерный анализы, метод главных компонент и многие другие (Матвеева и др., 2010; Куколева и др., 2016; Гаршин и др., 2013). В данной работе для анализа модельной популяции мы применяли наиболее распространенный метод главных компонент. Цель исследования заключалась в определении корреляционных взаимосвязей морфометрических признаков, элементов продуктивности и биохимических показателей зерна, характеризующих нагрузку гипотетических факторов в модельной популяции сорго.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись 27 сортов и линий селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»: Перспективный 1, Меркурий, Огонек, Кремное, Зенит, Старт, Азарт, Топаз, РСК Оникс, Восторг, Гранат, Камелик, Ассистент, РСК Партизан, Волжское 4, Волжское 44, Волжское 615, Пищевое 35, Пищевое 614, Сармат, Аванс,

Факел, Гелеофор, Л.Инфинити, Богдан, Л 251, Магистр, которые высевали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2017–2018 гг.

Технология возделывания включала следующие агротехнологические мероприятия. Предшественником являлся чистый пар. Весной проводили боронование и 2 культивации. Широкоярядный посев с междурядьем 70 см проводили селекционной кассетной сеялкой СК-6-10. Норма высева – 100 тыс. всхожих семян/га. Уход за посевами включал две междурядные обработки культиватором. Площадь деланки составила 7,7 м². Повторность – трехкратная. Размещение деланок рендомизированное. Учеты и оценку хозяйственно-ценных признаков проводили согласно общепринятым методикам (1989).

В период исследований погодные условия характеризовались как засушливые, о чем свидетельствует гидротермический коэффициент: в 2017 г. – 0,91, 2018 г. – 0,69.

Биохимический состав зерна оценивали в лаборатории биохимии и биотехнологии ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» по следующим методикам: протеин – по Кьельдалю (ГОСТ 10846-91), крахмал – по ГОСТ 10845-98.

Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программы «AGROS 2.09» факторным анализом методом главных компонент.

Результаты и их обсуждение. На основании анализа общей характеристики изменчивости параметров модельной популяции зернового сорго установили, что к сильноварирующим признакам ($V > 20,0\%$) следует отнести: площадь флагового листа, площадь наибольшего листа, выдвинутость ножки метелки, продуктивную кустистость, массу зерна с 1 метелки, число зерен с 1 метелки (табл.1).

1. Общая характеристика изменчивости параметров модельной популяции зернового сорго (2017–2018 гг.)

1. General characteristics of the trait variability of the model grain sorghum population (2017–2018)

№ п/п	Параметр	$\bar{x}$	S^2	$S_{\bar{x}}$	V, %
1	Высота растений через 30 суток, см	44,2	28,9	5,4	12,2
2	Высота растений при созревании, см	123,6	156,0	12,5	10,1
3	Площадь флагового листа, см ²	83,8	524,9	22,9	27,3
4	Площадь наибольшего листа, см ²	160,9	2780,8	52,7	32,8
5	Выдвинутость ножки метелки, см	17,6	33,7	5,8	32,9
6	Продуктивная кустистость, шт.	1,7	0,2	0,5	29,4
7	Длина метелки, см	21,2	11,1	3,3	15,6
8	Масса зерна с 1 метелки, г	23,1	60,2	7,8	33,8
9	Число зерен с 1 метелки, шт.	791,6	77867,2	279,0	35,2

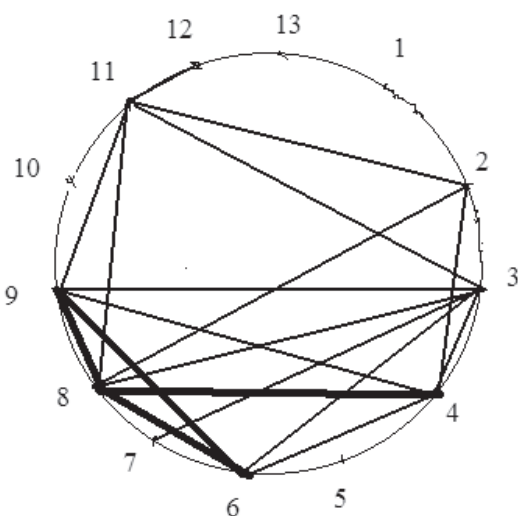
№ п/п	Параметр	$\bar{x}$	S^2	S_x	V, %
10	Масса 1000 зерен, г	30,3	10,6	3,3	10,9
11	Урожайность зерна, т/га	5,2	0,4	0,7	13,5
12	Содержание протеина в зерне, %	11,6	1,0	1,0	8,6
13	Содержание крахмала в зерне, %	74,4	4,3	2,1	2,8

Примечание: $\bar{x}$ – среднее значение, S_x – ошибка средних; S^2 – дисперсия; V, % – коэффициент варьирования.

Признаки «высота растений» через 30 суток, «высота растений при созревании», «длина метелки», «масса 1000 зерен» и «урожайность зерна» являются средневарьирующими ($20,0\% > V > 10,0\%$). К признакам со слабым варьированием показателей ($V < 10,0\%$) можно отнести биохимические компоненты зерна, такие как содержание протеина и крахмала.

Корреляционный анализ данных эмпирических признаков позволил рассчитать 78 коэффициентов. Критическое значение коэффициента корреляции на 5%-м уровне составляет 0,23. Наибольший интерес представляют средние ($-0,51$ – $0,68$) и сильные ($0,76$ – $0,94$) корреляционные связи (см. рисунок). В опыте выявлена тесная корреляционная связь ($r \geq 0,7$) между признаками: масса зерна с 1 метелки и площадь наибольшего листа ($r = 0,76$); масса зерна с 1 метелки и продуктивная кустистость

($r = -0,78$). Число зерен с 1 метелки находится в тесной корреляционной связи с продуктивной кустистостью ($r = -0,75$) и массой зерна с 1 метелки ($r = 0,94$). Средняя корреляционная связь выявлена между признаками: высота при созревании и масса зерна с 1 метелки ($r = 0,57$), площадь наибольшего листа ($r = 0,54$), урожайность зерна ($r = 0,53$); площадь флагового листа и наибольшего ($r = 0,59$), продуктивная кустистость ($r = -0,57$), длина метелки ($r = 0,68$), масса зерна с 1 метелки ($r = 0,65$), число зерен с метелки ($r = 0,59$), урожайность зерна ($r = 0,59$); площадь наибольшего листа и продуктивная кустистость ($r = -0,55$), число зерен с 1 метелки ($r = 0,63$); масса зерна с 1 метелки и урожайность ($r = 0,62$); число зерен с 1 метелки и урожайность зерна ($r = 0,56$); урожайность зерна и содержание в нем протеина ($r = -0,51$).



- ($r \geq 0,7$) сильная корреляционная связь
- ($0,5 \leq r \leq 0,7$) средняя корреляционная связь

Примечание: 1. Высота растений через 30 суток; 2. Высота растений при созревании; 3. Площадь флагового листа; 4. Площадь наибольшего листа; 5. Выдвинутость ножки метелки; 6. Продуктивная кустистость; 7. Длина метелки; 8. Масса зерна с 1 метелки; 9. Число зерен с 1 метелки; 10. Масса 1000 зерен; 11. Урожайность зерна; 12. Содержание протеина в зерне; 13. Содержание крахмала в зерне.

Связь коэффициентов корреляции между признаками
Correlation of coefficients among traits

Общий вклад в накапливаемую дисперсию 6-ти гипотетических факторов составляет 87,9%, на долю первых трех приходится 66,5% (табл. 2). Вклад в 1-й гипотетический фактор в большей мере определяют следующие признаки ($r > |0,7|$): положительный – площадь флагового и наибольшего листа, число и масса зерна с 1 метелки, урожайность зерна; отрицательный – продуктивная кустистость.

Второй гипотетический фактор (13,76%) в значительной мере определяется вкладом высоты растений через 30 суток, выдвинутостью ножки метелки, а также суммарным эффектом других признаков.

На долю третьего гипотетического фактора приходится 11,85% в накапливаемой дисперсии, который включает суммарный средний эффект признаков «длина метелки» и «содержание крахмала» в зерне.

Вклад четвертого фактора (8,74%) определяется признаками: «масса 1000 зерен» и выдвинутость ножки метелки.

В пятый фактор (6,69%) наибольший вклад вносят признаки «высота при созревании», «содержание протеина» в зерне. Эффект признака «продуктивная кустистость», а также суммарный вклад других признаков определяют значение шестого гипотетического фактора (5,99%).

2. Факторные нагрузки модельной популяции сорго (2017–2018 гг.)

2. Factor loads of the model grain sorghum population (2017–2018)

№	Признак	Фактор					
		Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Z-5	Z-6
1	Высота растений через 30 суток	-0,50	0,64	-0,22	-0,25	0,16	0,11
2	Высота растений при созревании	0,63	-0,36	0,18	0,01	0,45	0,36
3	Площадь флагового листа	0,80	0,11	0,17	-0,22	-0,38	0,08
4	Площадь наибольшего листа	0,78	-0,28	-0,34	-0,26	0,01	0,20
5	Выдвинутость ножки метелки	-0,16	-0,61	0,39	0,57	-0,08	-0,06
6	Продуктивная кустистость	-0,78	0,03	0,21	-0,11	0,18	0,48
7	Длина метелки	0,59	0,16	0,56	-0,04	-0,24	0,33
8	Масса зерна с 1 метелки	0,91	-0,01	-0,32	0,04	-0,03	-0,04
9	Число зерен с 1 метелки	0,84	0,19	-0,37	0,23	-0,10	0,01
10	Масса 1000 зерен	0,03	0,61	0,12	-0,67	0,17	-0,33
11	Урожайность зерна	0,77	0,10	0,18	-0,03	0,31	0,03
12	Содержание протеина в зерне	-0,51	-0,41	-0,17	-0,27	-0,51	0,26
13	Содержание крахмала в зерне	0,25	0,40	0,70	-0,20	-0,08	-0,25
Дисперсия		5,31	1,79	1,54	1,13	0,87	0,78
Дисперсия, %		40,86	13,76	11,85	8,74	6,69	5,99
Накопленная дисперсия, %		40,86	54,62	66,47	75,20	81,89	87,88

Примечание: Z-1–Z-6 – гипотетический фактор.

Выводы. В модельной популяции зернового сорго установлено различное по величине варьирование хозяйственно-ценных признаков и наиболее существенные корреляционные связи. Факторный анализ матрицы коэф-

фициентов корреляции по методу главных компонент позволил выявить признаки первых 6-ти гипотетических факторов, вносящих наибольший вклад (87,88%) в накапливаемую дисперсию.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А.В., Анипенко Л.Н., Гурский Н.Г., Коломпец Н.Я., Костылев П.И., Мангуш П.А., Алабушева О.И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов-на-Дону: Книга, 2003. 368 с.
2. Гаршин А.Ю., Жужукин В.И., Семин Д.С. Факторный анализ в модельной популяции сахарного сорго // Кукуруза и сорго. 2013. № 3. С. 3–6.
3. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва, 1989. 194 с.
4. Кибальник О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. 21(6). С.651–656. DOI 10.18699/VJ17.282.
5. Куколева С.С., Семин Д.С., Кибальник О.П., Старчак В.И. Скрининг сортообразцов суданской травы в условиях Саратовской области // Зерновое хозяйство России. 2016. № 4(46). С. 8–11.
6. Матвеева Г.В., Новикова Л.Ю., Корнеев В.Б. Статистический анализ элементов продуктивности гибридов кукурузы // Кукуруза и сорго. 2010. № 4. С. 25–29.
7. Старчак В.И., Жужукин В.И., Жук Е.А., Бычкова В.В. Изучение исходного материала сортообразцов зернового сорго // Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 38–42. DOI 10.28983/asj.y2020i6pp38-42.
8. Старчак В.И., Жук Е.А. Оценка селекционно-ценных признаков зернового сорго методом главных компонент факторного анализа // 125 лет прикладной ботаники в России: Мат. Межд. науч.-практ. Конф. Санкт-Петербург: Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 2019. С. 261. DOI 10.30901/978-5-907145-39-9.
9. He S., Tang C., Li Wang M., Li S., Diallo B., Xu Y., Zhou F., Sun L., Shi W., Xie G.H. Combining ability of cytoplasmic male sterility on yield and agronomic traits of sorghum for grain and biomass dual-purpose use // Industrial Crops & Products. 2020. V. 157. 112894. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112894.
10. Chadalavada K., Kumari B.D.R., Kumar T.S. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality // Planta. 2021. V. 253. 113 DOI: 10.1007/s00425-021-03631-2.

References

1. Alabushev A.V., Anipenko L.N., Gurskij N.G., Kolompec N.YA., Kostylev P.I., Mangush P.A., Alabusheva O.I. Sorgho (selekcija, semenovodstvo, tekhnologiya, ekonomika) [Sorghum (breeding, seed production, technology, economics)]. Rostov-na-Donu: Kniga, 2003. 368 s.
2. Garshin A.YU., Zhuzhukin V.I., Semin D.S. Faktornyj analiz v model'noj populyacii sahar'nogo sorgho [Factor analysis in a model population of sweet sorghum] // Kukuruza i sorgho. 2013. № 3. S. 3–6.
3. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Moskva, 1989. 194 s.
4. Kibal'nik O.P. Kombinacionnaya sposobnost' CMS-linij zernovogo sorgho na osnove A1, A2, A3, A4, 9E i M-35-1A tipov citoplazmaticheskoj muzhskoj steril'nosti [Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2017. 21(6). S. 651–656. DOI 10.18699/VJ17.282.

5. Kukoleva S.S., Semin D.S., Kibal'nik O.P., Starchak V.I. Skrining sortoobrazcov sudanskoj travy v usloviyah Saratovskoj oblasti [Screening of Sudan grass varieties in the conditions of the Saratov region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2016. № 4(46). S. 8–11.
6. Matveeva G.V., Novikova L.YU., Korneev V.B. Statisticheskij analiz elementov produktivnosti gibridov kukuruzy [Statistical analysis of elements of maize hybrids productivity] // Kukuruza i sorgo. 2010. № 4. S. 25–29.
7. Starchak V.I., ZHuzhukin V.I., ZHuk E.A., Bychkova V.V. Izuchenie iskhodnogo materiala sortoobrazcov zernovogo sorgo [The study of the initial material of grain sorghum varieties] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2020. № 6. S. 38–42. DOI 10.28983/asj.y2020i6pp38-42.
8. Starchak V.I., ZHuk E.A. Ocenka selekcionno-cennyh priznakov zernovogo sorgo metodom glavnyh komponent faktornogo analiza [Evaluation of breeding valuable traits of grain sorghum by the method of principal components of factor analysis] // 125 let prikladnoj botaniki v Rossii: Mat. Mezhd. Nauch.-prakt. Konf. Sankt-Peterburg: Vserossijskij institut geneticheskikh resursov rastenij im. N.I. Vavilova, 2019. S. 261. DOI 10.30901/978-5-907145-39-9.
9. He S., Tang C., Li Wang M., Li S., Diallo B., Xu Y., Zhou F., Sun L., Shi W., Xie G.H. Combining ability of cytoplasmic male sterility on yield and agronomic traits of sorghum for grain and biomass dual-purpose use // Industrial Crops&Products. 2020. V. 157. 112894. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112894.
10. Chadalavada K., Kumari B.D.R., Kumar T.S. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality// Planta. 2021. V. 253. 113 DOI: 10.1007/s00425-021-03631-2.

Поступила: 14.12.20; принята к публикации: 15.02.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Старчак В.И. – концептуализация исследования, интерпретация данных, подготовка рукописи; Кибальник О.П., Семин Д.С. – анализ данных; Ларина Т.В. – выполнение лабораторного опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.