
CROP PRODUCTION

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.10>

Starchak V.I.^{1*}, Kibal'nik O.P.², Stepanchenko D.A.³, Efremova I.G.⁴, Semin D.S.⁵

¹ ORCID: 0000-0001-7312-4547;

² ORCID: 0000-0002-1808-8974;

³ ORCID: 0000-0002-8263-188X;

⁴ ORCID: 0000-0002-7188-9332;

⁵ ORCID: 0000-0002-6782-5256;

^{1, 2, 3, 4, 5} Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

* Corresponding author (viktorija_starchak[at]rambler.ru)

Received: 03.06.2022; Accepted: 10.06.2022; Published: 20.06.2022

THE USE OF CLUSTER ANALYSIS IN THE SELECTION OF CROP SORGHUM IN RUSSIA

Research article

Abstract

Sorghum is one of the oldest crops in world agriculture. Sorghum occupies the fifth place among grain crops by total area of crops after wheat, rice, corn and barley. This is a universal agricultural culture, and it is distinguished by a wide variety of forms: grain, sugar, herbaceous and paniculate [1, P. 61]. Grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), one of the most drought-resistant and high-yielding crops, it is cultivated in regions with a hyperarid climate in 106 countries of the world. In the Russian Federation, sorghum crops are used mainly for the production of grain fodder, monofeed, silage, hay, haylage and grass flour, and is also used in the food and processing industry. In order to optimize the experimental database, clustering of varietal samples is used in accordance with similarity of the studied features. Varietals were sown on the experimental field of RosNIISK "Rossorgo", in 2015–2018. During the analysis, it was possible to divide the samples into 11 groups according to the similarity of 25 features. Depending on the needs of the market, the source material with economically valuable traits will be involved in the selection.

Keywords: sorghum, clustering, feature, crop yield.

Старчак В.И.^{1*}, Кибальник О.П.², Степанченко Д.А.³, Ефремова И.Г.⁴, Семин Д.С.⁵

¹ ORCID: 0000-0001-7312-4547;

² ORCID: 0000-0002-1808-8974;

³ ORCID: 0000-0002-8263-188X;

⁴ ORCID: 0000-0002-7188-9332;

⁵ ORCID: 0000-0002-6782-5256;

^{1, 2, 3, 4, 5} Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (viktorija_starchak[at]rambler.ru)

Получена: 03.06.2022; Доработана: 10.06.2022; Опубликована: 20.06.2022

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА В СЕЛЕКЦИИ ЗЕРНОВОГО СОРГО В РОССИИ

Научная статья

Аннотация

Сорго является одной из древних культур в мировом земледелии. По общей площади посевов среди зерновых культур сорго занимает пятое место после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя. Это универсальная сельскохозяйственная культура и отличается большим разнообразием форм: зерновое, сахарное, травянистое и веничное [1, С. 61]. Зерновое сорго (*Sorghum bicolor* L. Moench), одна из наиболее засухоустойчивых и высокоурожайных культур, возделывается в регионах с острозасушливым климатом в 106 стран мира. В Российской Федерации сорговые культуры используются в основном для производства зернофуража, моноорма, силоса, сена, сенажа и травяной муки, а также применяется в пищевой и перерабатывающей промышленности. С целью оптимизации базы экспериментальных данных используется кластеризация сортообразцов по мере сходства исследуемых признаков. Сортообразцы высевались на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», в 2015–2018 гг.

В ходе анализа удалось сгруппировать образцы по мере сходства 25 признаков в 11 групп. В зависимости от потребности рынка в селекцию будет вовлечен исходный материал с хозяйственно-ценными признаками.

Ключевые слова: сорго, кластеризация, признак, урожайность.

1. Введение

Практическая селекция сорговых культур предусматривает ускоренное получение и внедрение в промышленное производство новых высококачественных, продуктивных сортов и гибридов для адаптивного растениеводства. Известно, что сорго обладает эффектом гетерозиса по многим хозяйственным признакам, в том числе и урожайности [9, С. 155]. Поэтому повысить валовый сбор зерна или биомассы возможно за счет внедрения в производство гетерозисных гибридов. С целью подбора компонентов скрещиваний с улучшенными признаками и свойствами возможно использование методов многомерной статистики (анализ главных компонент, факторный, кластерный, дискриминантный и др.). Так, кластерный анализ по минимуму евклидовых расстояний позволяет сгруппировать образцы по матрице данных и обеспечить определенную систематизацию показателей, что является важным фактором при большом количестве сортообразцов и рассматриваемых селекционно-ценных показателей [10, С. 92]. При этом, изучение изменчивости признаков, систематизация разнообразия используемого материала позволяет выявить сходство и различия сортообразцов рабочей коллекции и оптимизировать ее для включения в дальнейший селекционный процесс [1, С. 61]. В настоящее время кластерный анализ нашел широкое применение в селекции многих сельскохозяйственных культур, позволяющий проводить объективную оценку исходного материала, способствующий выявлению источников необходимых признаков и закономерностей в процессе создания новых гибридов или сортов, а также представляющий актуальность в практической селекции на гетерозис [8, С. 155], [1, С. 41], [11, С. 18].

Целью исследований являлось выделение сортообразцов зернового сорго на основе кластеризации по 25 селекционно-ценным признакам (морфометрические, биохимические и элементы структуры урожайности) для последующего включения в гибридизацию.

2. Материалы и методы

Лабораторные и полевые опыты проводились в подразделениях ФГБНУ РосНИИСК «Россорго в 2015–2018 гг. В качестве исходного материала изучались 32 сортообразца зернового сорго. Посев осуществлялся на опытном поле института по черному пару кассетной сеялкой СКС-6-10, во второй-третьей декаде мая. Повторность – трехкратная. Общая площадь делянки – 7,7 м². Густота стояния растений составляет 100 тыс. растений/га. Агротехника выращивания – зональная. Оценка хозяйственно-ценных и биохимических признаков проводилась по общепринятым методикам [2, С. 2], [3, С. 3], [4, С. 7], [5, С. 5].

Результаты исследований подвергались статистической обработке с помощью программы Agros версии 2.09 дисперсионным и кластерным анализами.

Гидротермический коэффициент в годы исследования составил: в 2015 г. – 0,41, в 2016 г. – 0,64; в 2017 г. – 0,91, а в 2018 г. – 0,69.

3. Результаты

Исходная матрица экспериментальных данных включает 25×32 параметров. Кластеризация сортообразцов зернового сорго по минимуму евклидовых расстояний позволила спроектировать дендрограмму на 22 шаге итерации, состоящая из 11 кластеров (см. рисунок 1):

1. Пищевое 35, Гелеофор, Волжское 615, Линия Инфинити, Меркурий, Кремовое, Факел, Зенит, Пищевое 614, Старт, Восторг, Гранат, Огонек, Азарт, Сармат, Аванс, РСК Партизан;
2. РСК Оникс, Волжское 4, Ассистент, Топаз;
3. Волжское 44, Богдан;
4. М-60887;
5. В-03-3003;
6. Кафрское белое 127;
7. Камелик, Магистр;
8. К-266;
9. РСК Партизан;
10. 06–2198;
11. Перспективный 1.

Статистическая обработка хозяйственно-ценных параметров сортообразцов зернового сорго позволила выявить достоверные различия между кластерами (таблица 1–2). Нулевая гипотеза не отвергается, то есть значимых различий не выявлено при анализе значений следующих признаков: толщина верхнего междоузлия, масса 1000 зерен, количество жира, клетчатки, крахмала в зерне.

Первый кластер выделился по 6 различиям параметров листа в сравнении с другими группами. Сортообразцы характеризуются средними показателями длины (42,1 см), ширины (4,6 см) и площади (148,6 см²) наибольшего листа.

Во второй кластер входят растения среднерослые с более узким наибольшим листом и средней толщиной нижнего междоузлия и 76,87% крахмала в зерне.

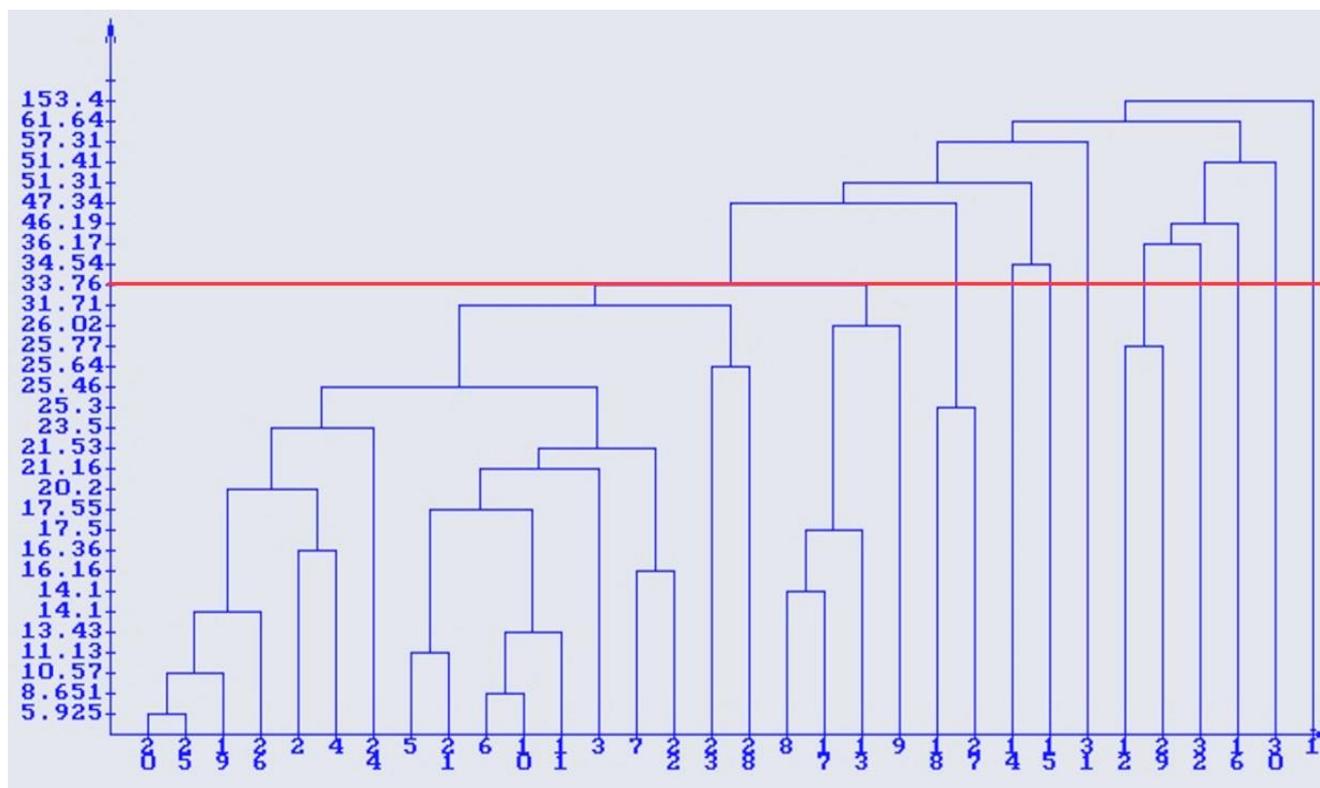


Рис. 1 – Кластеризация сортообразцов зернового сорго:

1 – Перспективный 1; 2 – Меркурий; 3 – Огонек; 4 – Кремовое; 5 – Зенит; 6 – Старт; 7 – Азарт; 8 – РСК Оникс; 9 – Топаз; 10 – Восторг; 11 – Гранат; 12 – Камелик; 13 – Ассистент; 14 – М-60887; 15 – В-03-3003; 16 – РСК Партизан; 17 – Волжское 4; 18 – Волжское 44; 19 – Волжское 615; 20 – Пищевое 35; 21 – Пищевое 614; 22 – Сармат; 23 – Аванс; 24 – Факел; 25 – Гелеофор; 26 – Л.Инфинити; 27 – Богдан; 28 – Л 251; 29 – Магистр; 30 – 06-2198; 31 – Кафрское белое 127; 32 – К-266

Растения третьего кластера отличаются средними показателями высоты растений, площади наибольшего листа – 105,5 см², широким соцветием, 5,60 т/га урожайностью и 4,05% содержанием жира в зерне.

Сортообразцы четвертого кластера выделились различиями по 6 признакам. Характеризуются высокорослостью (177,3 см), более длинными листьями (34,8 см– 56,6 см), площадью наибольшего листа (216,5см²), метелкой (27,0 см) и 12,20% содержанием протеина в зерне.

В пятый кластер входят растения, отличающиеся интенсивностью начального роста, высокорослостью, относительно малыми параметрами наибольшего листа (длина, ширина, площадь), средней толщиной нижнего междоузлия и большой выдвинутостью ножки метелки.

Таблица 1 – Дисперсионный анализ средних значений по морфологическим признакам сортообразцов зернового сорго, сгруппированных по кластерам, в 2015–2018 гг.

Кластер	Высота растений, см		Флаговый лист, см			Наибольший лист, см			Толщина междоузлия, см		Выдвинут ость ножки, см	Кустистость	
	через 30 суток	при созревании	длина	ширина	площадь	длина	ширина	площадь	верхнего	нижнего		общая	продуктивная
1	49,6ab	118,9abc	24,9abc	3,6bcde	68,9cd	42,1b	4,6b	148,6b	0,6	1,4bcd	18,4bcde	1,61b	1,72a
2	48,5ab	130,7bcd	28,4cde	3,7bcde	80,8cde	47,9bc	4,6b	166,9bc	0,6	1,2b	20,9de	1,53ab	1,56a
3	47,3ab	131,4cd	33,6ef	4,2cde	105,5de	55,2cdefg	5,4bcd	224,9d	0,7	1,5bcdef	13,4abcd	1,39ab	1,54a
4	53,8b	177,3g	34,8f	3,5bc	91,9de	56,6efg	5,1bcd	216,5cd	0,6	1,3bc	20,6cde	1,16ab	1,19a
5	69,9d	197,0h	24,5abc	3,5bc	65,2bc	44,9b	4,6b	157,6b	0,6	1,2b	24,5e	1,07a	1,19a
6	47,1ab	157,0ef	24,8abc	4,4ef	82,3cde	56,4defg	6,9fg	300,4fg	0,7	2,0g	13,1abcd	1,15ab	1,42a
7	50,7ab	108,5a	27,9cde	4,4def	92,5de	44,9b	5,8d	194,0bcd	0,8	1,7defg	8,5ab	1,33ab	1,33a
8	42,7a	137,8d	32,9def	5,0f	122,0f	57,5fg	6,7efg	291,7efg	0,8	1,9fg	9,6ab	1,31ab	1,22a
9	51,5ab	159,5f	25,9bc	4,0cde	79,3cd	59,2g	7,6g	338,0g	0,7	1,7cdefg	16,8bcde	1,22ab	1,25a
10	50,7ab	114,3a	19,0a	3,0ab	44,6ab	44,9b	5,7cd	193,3bcd	0,9	1,8efg	2,9a	1,10a	1,03a
11	65,9cd	105,1a	18,9a	2,6a	36,9a	31,6a	3,3a	79,5a	0,4	0,8a	10,3abcd	2,89c	4,16b
F _{факт.}	3,36*	21,60*	4,79*	4,56*	6,45*	7,34*	9,77*	13,27*	2,32	4,67*	2,81*	5,90*	7,57*
НСР _{0,05}	9,35	14,79	5,68	0,69	22,45	7,92	0,93	50,25	–	0,38	9,51	0,44	0,64

Таблица 2 – Дисперсионный анализ средних значений по генеративным признакам и биохимическим показателям сортообразцов зернового сорго, сгруппированных по кластерам, в 2015–2018 гг.

Кластер	Метелка, см		Число семян с 1 метелки, шт	Масса, г		Урожайность зерна, т/га	Содержание в зерне, %					
	длина	ширина		1000 зерен	зерна с 1 метелки		протеин	жир	зола	клетчатка	БЭВ	крахмал
1	21,1b	10,7b	608,0b	30,77	18,2b	4,63cde	11,68bcd	3,99	1,67ab	2,31	80,37ab	74,28
2	23,0bcd	9,9ab	752,8bc	29,36	22,3bcd	5,13defg	10,74ab	3,69	1,50ab	2,11	82,06b	76,87
3	26,9cd	15,4c	806,5bc	26,90	24,6bcd	5,60g	11,51bcd	4,05	1,44a	1,91	80,85ab	75,14
4	27,0d	5,6a	752,0bc	26,77	19,8b	3,55ab	12,20cde	3,90	1,69abcd	1,75	80,45ab	72,27
5	20,7b	9,4ab	838,0bcd	27,89	22,9bcd	4,11abc	10,58ab	3,85	1,75bcd	2,22	81,60ab	72,33
6	23,1bcd	6,1ab	893,0bcd	29,62	26,6bcd	4,06abc	12,45de	4,46	1,62ab	2,42	79,03ab	76,21
7	19,6b	9,8ab	1166,5de	25,11	28,4bcde	5,36efg	10,57ab	3,87	1,58ab	1,78	87,12c	74,59
8	18,5b	6,6ab	1046,0cde	34,90	34,2de	5,55g	10,85ab	3,35	1,58ab	2,10	81,12ab	72,36
9	22,9bcd	8,0ab	1314,0e	30,34	39,3e	5,54fg	10,48ab	4,61	1,93d	1,58	81,40ab	73,04
10	20,9b	7,2ab	1105,0cde	31,10	33,9cde	4,21bc	10,25a	3,80	1,61ab	2,40	81,94b	73,75
11	11,9a	5,2a	225,0a	26,89	5,9a	3,42a	13,25e	5,02	1,92cd	2,64	77,48a	73,62
F _{факт.}	3,66*	3,36*	6,11*	0,83	4,24*	6,84*	4,26*	2,23	5,59*	2,20	2,92*	1,98
НСР _{0,05}	4,81	4,17	313,11	–	10,61	0,71	1,08	–	0,23	–	3,74	–

Образец шестого кластера характеризуется различиями по высоте растений при созревании (157,0 см), наибольшей шириной (6,9 см) и площадью листа (300,4 см²), содержанием в зерне протеина (12,45%) и жира (4,46%).

Седьмой кластер выделяется количеством различий по признакам: высота при созревании, ширина наибольшего листа, урожайность и содержание БЭВ в зерне. Растения этого кластера характеризуются низкорослостью, широким наибольшим листом и 87,12% БЭВ в зерне.

В восьмой кластер входят продуктивные (5,55 т/га зерна) растения средней высоты, с широкими листьями и наибольшей их площадью (флагового – 122,0 см², наибольшего – 291,7 см²).

В девятый кластер составляет группа растений, отличающихся 159,5 см высотой при созревании, большими значениями ширины и площади наибольшего листа, 5,54 т/га урожайностью и содержанием 4,61% жира в зерне.

Наибольшее количество различий (158) наблюдалось у одиннадцатого кластера. Перспективный 1 – это сильнокустящийся, но низкопродуктивный (3,42 т/га) сорт с маленькими листьями, тонким стеблем, короткой метелкой, малым числом семян с метелки и низкой массой зерна с 1 метелки. Преимуществом данного образца является высокое содержание протеина и жира 13,25% и 5,02%, соответственно.

5. Заключение

Кластеризация по минимуму евклидовых расстояний позволила сгруппировать сортообразцы по мере сходства 25 изученных признаков в 11 групп. Большинство сортов, созданных в ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», включены в 1 кластер. В отдельные кластеры вошли сорта Волжское 4, Камелик, Перспективный 1, значительно отличающиеся от других селекционных достижений, выведенных в институте, по фенотипу. Таким образом, в гибридизацию будут вовлечены доноры хозяйственно-ценных признаков в зависимости от задач селекции.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Ашиев А.Р. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (af) и неосыпаемости семян (def) / А.Р. Ашиев, К.Н. Хабибуллин, М.В. Скулова и др. // Зерновое хозяйство России. – 2021. – №2(74). – С. 40–44.
2. ГОСТ 10842–89. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян (с Изменением N 1). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – С. 10.
3. ГОСТ 10845–98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. – М: Межгосударственный стандарт, 1998. – С. 9.
4. ГОСТ 10846–91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – М.: Издательство стандартов, 1992. – С. 10.
5. ГОСТ 13496.15–97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира. – М: Издательство стандартов, 1998. – С. 11.
6. ГОСТ 13496.2–91. Корма. Комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки. – М.: Издательство стандартов, 1992. – С. 9.
7. ГОСТ 26226–95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. – М.: Издательство стандартов, 1996. – С. 8.
8. Петрова Л.В. Кластерный анализ сортообразцов овса посевного (*Avena Sativa L.*) по элементам структуры урожая в условиях Центральной Якутии / Л.В. Петрова, А.З. Платонова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2019. – №1. – С.56–78.
9. Харитонов Е.М. 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.
10. Чанышев Д.И. Кластеризация коллекционных образцов тритикале для использования в селекции / Д.И. Чанышев, А.Ф. Алейников, И.Г. Гребенникова и др. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – №6. – С.90–95.
11. Шурхаева К.Д. Изучение генофонда гороха посевного с применением кластерного анализа / К.Д. Шурхаева, А.Н. Фадеева // Зерновые и крупяные культуры. – 2020. – №1(33). – С.16–23.

References in English

1. Ashiev A.R. Klasternyj analiz kollekcionnogo materiala goroha s genami usatogo tipa lista (af) i neosypaemosti semyan (def) [Cluster analysis of the collection material of peas with the genes of awned leaf type (af) and seed failure (def)] / A.R. Ashiev, K.N. Khabibullin, M.V. Skulova et al. // Zernovoe hozyajstvo Rossii [Grain farming of Russia]. – 2021. – №2(74). – P. 40–44. [in Russian]
2. GOST 10842–89. Zerno zernovyh i bobovyh kul'tur i semena maslichnyh kul'tur. Metod opredeleniya massy 1000 zeren ili 1000 semyan [Grain of crops and legumes and oilseeds. Method for determining the mass of 1000 grains or 1000 seeds] (with Revision N 1). – Moscow: IPK Standard Publishing House, 2001. – p. 10. [in Russian]
3. GOST 10845–98. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya krahmala [Grain and its processed products. Method of starch determination]. – Moscow: Interstate Standard, 1998. – P. 9. [in Russian]
4. GOST 10846–91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka [Method of protein determination]. – М.: Standard Publishing House, 1992. – P. 10. [in Russian]

5. GOST 13496.15–97. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya sodержaniya syrogo zhira [Fodder, compound fodder, fodder raw materials. Methods for determining the content of crude fat]. – M: Standard Publishing House, 1998. – P. 11. [in Russian]
6. GOST 13496.2–91. Korma. Kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metod opredeleniya syroj kletchatki [Fodder, compound fodder, fodder raw materials. Methods for determining the content of raw fiber]. – M.: Standard Publishing House, 1992. – p. 9. [in Russian]
7. GOST 26226–95. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya syroj zoly [Fodder, compound fodder, fodder raw materials. Methods for determining the content of crude ash]. – M.: Standard Publishing House, 1996. – p. 8. [in Russian]
8. Petrova L.V. Klasternyj analiz sortoobrazcov ovsy posevnogo (*Avena Sativa* L.) po elementam struktury urozhaya v usloviyah Central'noj Yakutii [Cluster analysis of varietal samples of sowing oats (*Avena Sativa* L.) by elements of the crop structure in the conditions of Central Yakutia] / L.V. Petrova, A.Z. Platonova // *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii* [News of Timiryazevsk Agricultural Academy]. – 2019. – №1. – pp. 56–78. [in Russian]
9. Kharitonov E.M. Primenenie mnogomernyh metodov dlya razdeleniya sortov risa po reakcii na izmenenie uslovij sredy [Application of multidimensional methods for the separation of rice varieties by reaction to changes in environmental conditions] / E.M. Kharitonov, Yu.K. Goncharova, Ochkas N.A. et al. // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. – 2017. – Vol. 52. – № 1. – pp. 152–160. [in Russian]
10. Chanyshv D.I. Klasterizaciya kollekcijnyh obrazcov tritikale dlya ispol'zovaniya v selekcii [Clustering of collection samples of triticale for use in breeding] / D.I. Chanyshv, A.F. Aleynikov, I.G. Grebennikova et al. // *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science]. – 2016. – №6. – pp. 90–95.
11. Shurkhaeva K.D. Izuchenie genofonda goroha posevnogo s primeneniem klasternogo analiza [The study of the gene pool of seed peas using cluster analysis] / K.D. Shurkhaeva, A.N. Fadeeva // *Zernovye i krupyanye kul'tury* [Grain and cereal crops]. – 2020. – №1(33). – pp.16–23. [in Russian]