

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ГОРОХА С ГЕНАМИ УСАТОГО ТИПА ЛИСТА (*af*) И НЕОСЫПАЕМОСТИ СЕМЯН (*def*)

А. Р. Ашиев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;

К. Н. Хабибуллин, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

М. В. Скулова, агроном, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703;

А. В. Чегунова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, tchegunovaanastasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1044-9130

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В условиях южной зоны Ростовской области проведена комплексная оценка 242 коллекционных образцов гороха посевного различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ВИГРР им. Н. И. Вавилова и других научных селекционных учреждений, из которых был отобран 31 образец с усатым типом листа (*af*) и неосыпающимися семенами (*def*). Исследования проводили в коллекционном питомнике в 2017–2020 гг. на полях лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур ФГБНУ «АНЦ «Донской». Метеорологические условия в годы исследований различались в период вегетации, что позволило объективно оценить коллекционные образцы по изучаемым признакам. Для выявления сходств и различий образцов проводили кластерный анализ. Математическую обработку данных и кластерный анализ производили с применением программы Excel и Statistica 10. В качестве меры сходства применяли Евклидово расстояние. На основании кластеризации образцов было построено иерархическое древо. В результате выделены источники: устойчивости к полеганию (Демос (Россия), Коралл (Украина), Л-27287 (Россия), Стоик (Россия), Степняк (Украина), Приазовский (Россия), Харвус-3 (Украина), Мультик (Россия)); количества бобов на растении (Самариус (Россия), ОР-2154 (Россия), Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Ватан (Россия)); количеству семян на растении (Л. 176/2000 (Россия), ОР-2157 (Россия), Памяти Хангильдина (Россия), Черниговский (Украина), Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Ватан (Россия)); крупности семян (Мультик (Россия)); высокой продуктивности (Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Ватан (Россия)). В результате изучения коллекционного материала гороха посевного выделены источники хозяйственно-ценных признаков для использования их в селекции на семенную продуктивность и технологичность.

Ключевые слова: горох, коллекция, морфотип, генотип, кластерный анализ.

Для цитирования: Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (*af*) и неосыпаемости семян (*def*) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2(74). С. 40–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44.



CLUSTER ANALYSIS OF COLLECTION MATERIAL OF PEAS WITH GENES OF LEAFLETLESS TYPE (*af*) AND NON-SHEDDING SEEDS (*def*)

A. R. Ashiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;

K. N. Khabibullin, junior researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

M. V. Skulova, agronomist, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703;

A. V. Chegunova, junior researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, tchegunovaanastasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1044-9130

Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

In the conditions of the south of the Rostov region, there was carried out a comprehensive estimation of 242 collection peas samples of various ecological and geographical origin selected in the world collection of the Vavilov's ARIPG and other research breeding institutions, and there have been selected 31 samples with a leafletless type (*af*) and non-shedding seeds (*def*). The study was carried out in the collection nursery in the fields of the laboratory for legumes breeding and seed production of the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy" in 2017–2020. The meteorological conditions during the years of study were different during the vegetation period, which made it possible to objectively evaluate the collection samples according to the studied traits. In order to identify the similarities and differences between the samples, there was made cluster analysis. Mathematical data processing and cluster analysis were performed using the software Excel and Statistica 10. Euclidean distance was used as a measure of similarity. On the basis of clustering there was build a hierarchy. As a result, there were identified the varieties 'Demos' (Russia), 'Korall' (Ukraine), 'IL-27287I' (Russia), 'Stoik' (Russia), 'Stepnyak' (Ukraine), 'Priazovsky' (Russia), 'Kharvus-3' (Ukraine), 'Multik' (Russia) as the sources of resistance to lodging. According to 'number of beans per plant' there

were identified the varieties 'Samarius' (Russia), 'OR-2154' (Russia), 'L-27287' (Russia), 'Aksaysky usaty' (Russia), 'Vatan' (Russia). According to 'number of seeds per plant' there were identified the varieties 'L.176/2000' (Russia), 'OR-2157' (Russia), 'Pamyati Khangildina' (Russia), 'Chernigovsky' (Ukraine), 'L-27287' (Russia), 'Aksaysky usaty' (Russia), 'Vatan' (Russia). According to 'seed size' there was identified the variety 'Multik' (Russia). According to high productivity there were identified the varieties 'L-27287' (Russia), 'Aksaysky usaty' (Russia), 'Vatan' (Russia). The study of the collection peas material has identified the sources of economically valuable traits for their use in further breeding for seed productivity and technological effectiveness.

Keywords: *peas, collection, morphotype, genotype, cluster analysis.*

Введение. Горох – основная зерновая бобовая культура нашей страны. Ее успешно возделывают в различных почвенно-климатических условиях (Давлетов, 2008). В современных условиях основной задачей селекции любой культуры, в том числе и гороха, является создание продуктивных сортов с высоким качеством продукции, технологичностью и устойчивостью к различным стресс-факторам (Костылев и др., 2020).

Изучение изменчивости хозяйственно-ценных признаков и свойств, выявление генетического разнообразия коллекционных генотипов по морфо-биологическим и агрономическим характеристикам позволяют выявить возможности генофонда и использовать в качестве исходного материала для селекции (Вишнякова, 2008).

Селекционная работа, направленная на повышение технологичности возделывания гороха, способствует значительному увеличению потенциала зерновой продуктивности. Биологические особенности ранее возделываемых сортов гороха, имеющих традиционную форму растения с обычным листом, часто приводили к потере урожая из-за полеглости стеблестоя и осыпемости семян (Кондыков, 2008). Данные проблемы привели к необходимости создания технологичных сортов.

Формирование современных сортов гороха интенсивного типа имело несколько этапов. Первым этапом был перевод селекции гороха на неосыпаемость семян. Связано это с геном *def* (development funiculus), обуславливающим срастание семяножки зерна со створкой боба и создание благодаря этому сортов, устойчивых к осыпанию семян. Такая форма растения была открыта латвийским ученым А. Eglitis (1959) на Приекульской опытной станции. В дальнейшем А. Я. Розенталь (1966) осуществил скрещивания данного мутанта с различными сортами.

Следующим этапом в повышении технологичности сортов гороха стало создание форм, не склонных к полеганию. Основой для этого послужило использование безлисточковости – мутации *af* (afilis), впервые обнаруженной В. К. Соловьевой (1958). Безлисточковые сорта, за счет сцепления усов между собой, позволяют получить пружинистый, практически неполегаемый стеблестой.

При создании технологичных сортов необходимо вести селекционную работу на высокую семенную продуктивность. Она включает в себя подбор родительских форм, имеющих несколько хозяйственно-ценных признаков и свойств, увеличивающих в конечном итоге семенную продуктивность.

Для того чтобы более точно сравнить между собой коллекционные образцы по ряду морфо-биологических признаков, генотипы необходимо группировать, например, с помощью кластерного анализа. Этот метод помогает объективно определить комплексное сходство, так и различие объектов, разделить их на группы или кластеры, что позволяет провести всестороннюю комплексную оценку коллекционных образцов (Шурхаева и Фадеева, 2020).

В связи с этим, целью наших исследований было выделение исходного материала с комплексом хозяйственно-ценных признаков на основе проведенного кластерного анализа для селекции на высокую семенную продуктивность и технологичность сортов гороха.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в коллекционном питомнике в 2017–2020 гг. на полях лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Предшественник – озимая пшеница. Посев проводился в третьей декаде марта сеялкой ССФК-7 с нормой высева 1,2 млн. всхожих семян на 1 га, с шириной междурядий 15 см. Делянки семирядковые. Площадь делянки – 5 м². Повторность – однократная. Учетная площадька – 0,25 м². Уборку проводили прямым комбайнированием (при достижении семянми полной спелости) селекционным комбайном «Wintersteiger Classic».

Объектами исследований являлись 242 образца гороха посевного различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ВИГРР им. Н. И. Вавилова и других научных селекционных учреждений, из которых был отобран 31 образец с усатым типом листа (*af*) и неосыпающимися семенами (*def*). Данные образцы имели происхождение из России (25 образцов) и Украины (6 образцов).

Математическую обработку данных и кластерный анализ производили с применением программы Excel и Statistica 10. В качестве меры сходства применяли Евклидово расстояние.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия в годы исследований различались в период вегетации, что позволило объективно оценить коллекционные образцы по изучаемым признакам.

Погодно-климатические условия 2017 года были благоприятными для всего периода вегетации гороха. ГТК характеризовался избыточным увлажнением, большим количеством осадков на фоне средних температур. Такие условия оказали положительное влияние на вегетацию растений гороха.

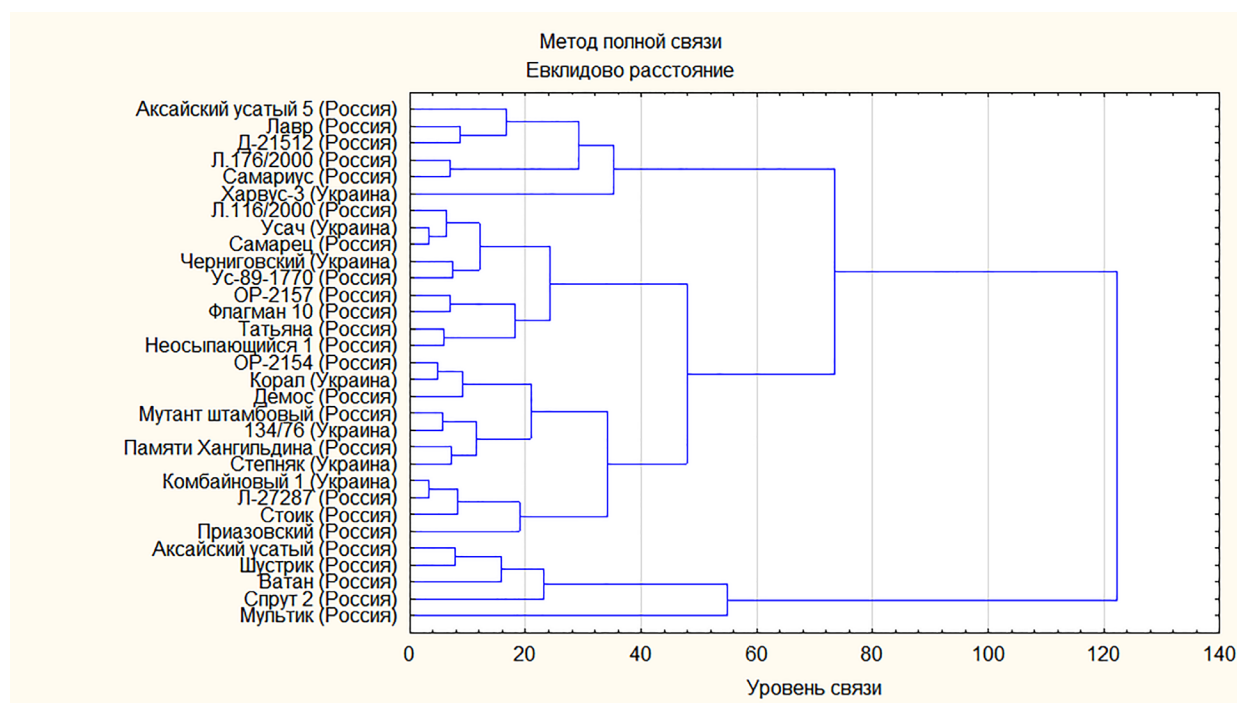
В 2018 году метеоусловия марта не позволили провести посев гороха в оптимальные календарные сроки из-за нехватки положительных температур и осадков, вследствие чего посев гороха был смещен на первую декаду апреля. Дальнейшие погодно-климатические условия характеризовались как остро засушливые, что отрицательно повлияло на вегетацию растений.

Метеоусловия 2019 года характеризовались теплой, влажной погодой в марте и мае, с небольшим недобором осадков в апреле. Посев был проведен в оптимальные сроки. Конец весны и лето были сухими и жаркими, что способствовало раннему созреванию и формированию низкой массы семян с растения гороха и не позволило получить высокий урожай.

Метеоусловия 2020 года характеризовались сухой погодой в марте, значительным не-

добором осадков в апреле и влажным маем. Ранневесенние запасы влаги в почве и повышенные температуры в марте позволили получить дружные всходы гороха. Налив и созревание семян гороха проходили в условиях дефицита осадков и при температуре воздуха на уровне среднемноголетних данных в июне, что привело к снижению массы 1000 семян и, как следствие, к потере урожайности.

Кластерный анализ проводили по 5 хозяйственно-ценным признакам: высота растения, количество бобов на растении, количество семян на растении, масса семян с растения и масса 1000 семян. В результате кластерного анализа 31 образца гороха посевного было составлено иерархическое дерево (см. рисунок) с распределением образцов коллекции в 5 кластерах. Образцы Харвус-3 (Украина) и Мультик (Россия) не были включены ни в один кластер (табл. 1).



Кластеризация образцов коллекции гороха
Clustering of the samples of pea collection

1. Кластеризация коллекционных образцов гороха (2017–2020 гг.) 1. Clustering of the collection peas samples (2017–2020)

№ кластера	Названия образцов
1	Аксацкий усатый 5 (Россия), Л.176/2000 (Россия), Самариус (Россия), Лавр (Россия), Д-21512 (Россия)
2	Л.116/2000 (Россия), ОР-2157 (Россия), Ус-89-1770 (Россия), Татьяна (Россия), Усач неосыпающийся (Украина), Самарец (Россия), Флагман 10 (Россия), ОР-2154 (Россия), Памяти Хангильдина (Россия)
3	Черниговский (Украина), Мутант штамбовый (Россия), Комбайновый 1 (Украина), 134/76 (Украина)
4	Демос (Россия), Корал (Украина), Л-27287 (Россия), Стоик (Россия), Степняк (Украина), Приазовский (Россия), Аксацкий усатый (Россия)
5	Неосыпающийся 1 (Украина), Ватан (Россия), Шустрик (Россия), Спрут 2 (Россия)
Отдельные генотипы	
	Харвус-3 (Украина), Мультик (Россия)

Анализ статистических данных показал, что наименее вариабельным в кластерах был

признак «масса 1000 семян», коэффициент вариации которого в каждом кластере имел зна-

чения от 4,2 до 8,3%, при общем коэффициенте вариации 12,5%. Это свидетельствует о том,

что показатель «масса 1000 семян» был основным при кластеризации (табл. 2).

2. Средние значения показателей морфо-биологических признаков в кластерах образцов гороха (2017–2020 гг.)

2. Mean values of the indicators of morpho-biological traits in pea clusters (2017–2020)

№ кластера	Высота растений, см	Количество бобов, шт./раст.	Количество семян, шт./раст.	Масса семян, г/раст.	Масса 1000 семян, г
1	63,7+2,4%	4,3+18,2%	19,2+15,8%	3,83+8,7%	165,7+7,1%
2	66,1+15,1%	4,1+10,9%	17,3+14,7%	3,43+16,3%	196,6+4,7%
3	61,4+9,3%	4,1+9,5%	18,0+15,6%	3,70+13,9%	205,4+4,2%
4	51,8+13,1%	3,9+18,5%	16,8+18,6%	3,50+22,1%	209,6+6,0%
5	62,0+15,2%	4,1+22,5%	18,5+14,1%	4,28+19,7%	223,9+8,3%
Отдельные генотипы					
Харвус-3 (Украина)	31,1	3,6	19,1	2,56	162,6
Мультик (Россия)	36,0	3,5	14,0	3,97	269,5
Среднее	59,3	4,0	17,7	3,61	200,4
Cv, %	18,9	15,1	15,6	8,1	12,5

Наименьшая общая вариация наблюдалась у признака «масса семян с одного растения» ($C_v = 8,1\%$) с вариацией по кластерам от 8,7 до 22,1%. Остальные признаки имели общую вариабельность 15,1% (количество бобов на растении), 15,6% (количество семян с растения) и 18,9% (высота растений) с вариацией внутри кластеров 9,5–22,5%, 14,1–18,6% и 2,4–15,2% соответственно.

Первому кластеру соответствовали среднерослые образцы с высотой растения от 61,4 см до 65,8 см, средняя по кластеру – 63,7 см. По массе 1000 семян образцы в данном кластере характеризовались средней крупностью (165,7 г + 7,1%) и продуктивностью семян 3,83 г ($C_v = 8,7\%$). По продуктивности выделился образец Л.176/2000 (Россия) – 4,09 г, за счет наибольшего количества семян на растении в кластере (22,4 шт.). По количеству бобов на растении выделился сорт Самариус (Россия) – 5,6 шт./раст.

Второй кластер объединил многочисленную группу сортов по отношению к другим кластерам. Сорта характеризовались как среднепродуктивные (3,43 г/раст. + 16,3%), со средней крупностью семян (196,6 г + 4,7%). В пределах кластера образцы Памяти Хангильдина (Россия) и ОР-2157 (Россия) имели преимущество по количеству семян с растения 20,5 и 20,4 шт./раст. соответственно.

Группа сортов третьего кластера характеризовалась средней семенной продуктивностью (3,70 г/раст. + 13,9% г). Образец Черниговский (Украина) выделился по количеству семян на растении (21,6 шт.) и по массе семян с растения (4,34 г). Все образцы данного кластера были среднерослыми (61,4 см + 9,3%).

К четвертому кластеру относились сорта со средними значениями высоты растения (51,8 см + 13,1%). 6 сортов из этой группы можно отнести к источникам короткостебельности. Высота растений данных образцов варьировала от 46,1 см (Стоик, Россия) до 56,7 см (Степняк, Украина). Образец Л-27287 (Россия) показал превышение в сравнении со средни-

ми значениями в данном кластере по таким показателям, как количество бобов на растении (5,0 шт./раст.), количество семян на растении (21,7 шт./раст.) и масса семян с растения (4,51 г).

У образцов пятого кластера среди остальных групп наблюдались наибольшие значения массы семян с растения (4,28 г/раст. + 19,7%) и массы 1000 семян (223,9 г + 8,3%) с максимальным проявлением у сорта Ватан (Россия) количества бобов (5,3 шт./раст.), семян с растения (21,4 шт./раст.) и массы семян с растения (5,12 г). Кластер характеризовался слабым варьированием массы 1000 семян ($C_v = 8,3\%$).

Как отдельные генотипы выделились низкорослые сорта Харвус-3 (Украина) – 31,1 см и Мультик (Россия) – 36 см, которые несколько отличались по другим морфо-биологическим признакам. У сорта Харвус-3 была отмечена низкая продуктивность (2,56 г), средняя крупность (162,6 г), среднее количество бобов на растении (3,6 шт./раст.). Сорт Мультик характеризовался как продуктивный (3,97 г) с высокой массой 1000 семян (269,5 г).

Выводы. В связи с задачами селекции для использования в селекционном процессе усатых и неосыпающихся сортов предложены источники ценных признаков:

- устойчивости к полеганию (короткостебельные) – Демос (Россия), Коралл (Украина), Л-27287 (Россия), Стоик (Россия), Степняк (Украина), Приазовский (Россия), Харвус-3 (Украина), Мультик (Россия);

- количеству бобов на растении – Самариус (Россия), ОР-2154 (Россия), Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Ватан (Россия);

- количеству семян на растении – Л. 176/2000 (Россия), ОР-2157 (Россия), Памяти Хангильдина (Россия), Черниговский (Украина), Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Ватан (Россия);

- крупности семян – Мультик (Россия);
- высокой продуктивности – Л-27287 (Россия), Аксайский усатый (Россия), Спрут 2 (Россия), Ватан (Россия).

Выделившиеся коллекционные образцы гороха будут вовлечены и использованы в селекционный процесс как источники хозяйственно-ценных признаков в селекции на продуктивность и технологичность.

Библиографические ссылки

1. Вишнякова М. А. Генофонд зернобобовых культур и адаптивная селекция как факторы биологизации и экологизации растениеводства // Сельскохозяйственная биология. 2008. № 3. С. 3–23.
2. Давлетов Ф. А. Селекция неосыпающихся сортов гороха в условиях Южного Урала. Уфа: Гилем, 2008. 236 с.
3. Ковтунова Н. А., Шишова Е. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Сухенко Н. Н. Урожайность образцов суданской травы различного эколого-географического происхождения // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1(55). С. 56–61.
4. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Биоразнообразие сорго // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 49–52.
5. Кондыков И. В. О стабилизации уровня семенной продуктивности гороха // Сб. научных трудов: Повышение устойчивости производства сельскохозяйственных культур в современных условиях. Орел, 2008. С. 309–315.
6. Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В. Селекционная работа по маловодотребовательному рису в ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020 № 1(67). С. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-54-58.
7. Розенталь А. Я. Новая форма гороха // Бобовые и зернобобовые культуры. Селекция, семеноводство и агротехника: сборник статей. М.: Колос, 1966. С. 73–76.
8. Соловьева В. К. Новые формы лущильного овощного гороха // Агробиология. 1958. № 5. С. 124–126.
9. Шурхаева К. Д., Фадеева А. Н. Изучение генофонда гороха посевного с применением кластерного анализа // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 1(33). С. 16–23. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11149.
10. Eglitis A. Paksaugu selekcija un seklkopiba // Par augstam razam. Riga, 1959. S. 61–68.

References

1. Vishnyakova M. A. Genofond zernobobovykh kul'tur i adaptivnaya selekciya kak faktory biologizacii i ekologizacii rastenievodstva [The gene pool of legumes and adaptive breeding as factors of biologization and ecologization of plant production] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2008. № 3. S. 3–23.
2. Davletov F. A. Selekcija neosypayushchihsya sortov goroha v usloviyah YUzhnogo Urala [Breeding of non-shattering pea varieties in the conditions of the South Urals]. Ufa: Gilem, 2008. 236 s.
3. Kovtunova N. A., Shishova E. A., Romanyukin A. E., Kovtunov V. V., Suhenko N. N. Urozhajnost' obrazcov sudanskoj travy razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya [Productivity of Sudanese grass samples of various ecological and geographical origin] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 1(55). S. 56–61.
4. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Bioraznoobrazie sorgo [Biodiversity of sorghum] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 5(59). S. 49–52.
5. Kondykov I. V. O stabilizacii urovnya semennoj produktivnosti goroha [About stabilization of the seed productivity level of peas] // Sb. nauchnykh trudov: Povyshenie ustojchivosti proizvodstva sel'skohozyajstvennykh kul'tur v sovremennykh usloviyah. Orel, 2008. S. 309–315.
6. Kostylev P. I., Krasnova E. V., Aksenov A. V. Selekcionnaya rabota po malovodotrebovatel'nomu risu v FGBNU «ANC «Donskoj» [Breeding work on low-water demanding rice in the FSBSI «ANC «Donskoy»] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020 № 1(67). S. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-54-58.
7. Rozental' A. Ya. Novaya forma goroha [New form of peas] // Bobovye i zernobobovye kul'tury. Selekcija, semenovodstvo i agrotekhnika: sbornik statej. M.: Kolos, 1966. S. 73–76.
8. Solov'eva V. K. Novye formy luschil'nogo ovoshchnogo goroha [New forms of shelling vegetable peas] // Agrobiologiya. 1958. № 5. S. 124–126.
9. Shurhaeva K. D., Fadeeva A. N. Izuchenie genofonda goroha posevnogo s primeneniem klaster'nogo analiza [Study of the pea gene pool using cluster analysis] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 1(33). S. 16–23. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11149.

Поступила: 10.12.20; принята к публикации: 23.12.20.

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. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.