

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОФОНДА ГОРОХА ПОСЕВНОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

К.Д. ШУРХАЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук
А.Н. ФАДЕЕВА, кандидат биологических наук

ТАТАРСКИЙ НИИСХ – ОСП ФГБНУ ФИЦ КАЗАНСКИЙ НЦ РАН

*Проведена комплексная оценка в условиях Среднего Поволжья 64 образцов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного эколого-географического происхождения из коллекции ВИР и образцы селекционных учреждений. Изученный набор зернового гороха представлен образцами селекции из России, 11 стран Восточной и Западной Европы, Северной Америки. Для выявления дифференциации образцов проводили кластерный анализ по показателям длины растений, числа продуктивных узлов, бобов, семян на растении, числа семян в бобе, массы семян на растении и массы 1000 семян. В качестве меры сходства использовали Евклидово расстояние. На основании кластеризации построено древо классификации отдельно для двух групп сортов – листочкового и усатого морфотипов. По каждому кластеру выделены источники селекционно ценных признаков. Выявлены лучшие генотипы по числу бобов, семян на растении, выполненности боба, по массе 1000 семян. Для использования в селекции на устойчивость к полеганию предложены образцы с усатым типом листа. Образец МС-1Д из коллекции генетических ресурсов ВИР, характеризующийся усатыми листьями и облегченными безлигнинными бобами, выделен в качестве источника устойчивости к растрескиванию бобов. При вовлечении в селекционный процесс подтверждены донорские свойства данной формы. МС-1Д использован в качестве родительского компонента при выведении сортов Кабан и Фрегат – первых сортов с нерастрескивающимися бобами в Государственном реестре допущенных для возделывания селекционных достижений РФ.*

Ключевые слова: горох, генетические ресурсы, коллекция, морфотип, генотип, кластерный анализ, устойчивость к полеганию, растрескиванию бобов.

Горох – основная зернобобовая культура в зоне умеренных широт. За последние годы селекционерами создано разнообразие сортов, предназначенных для многопланового использования. Гороху принадлежит более высокий удельный вес в структуре валового сбора зернобобовых культур – 77%. Его производство увеличилось в 1,5 раза по сравнению с 2016 г. и достигло 3,3 млн. т [1].

В современных условиях задачи стоящие перед селекционерами связаны с возрастающими потребностями. Возрастающие потребности населения, новые технологии переработки и другие факторы постоянно поднимают планку требований к создаваемым сортам, и требования эти останутся и на перспективу. Изучение изменчивости признаков, выявление и систематизация генетического разнообразия коллекционного материала по морфологическим, биологическим и агрономическим характеристикам позволяют выявить возможности генофонда и оптимизировать его использование в качестве исходного материала для селекции. До сих пор в практике селекции для получения сортов разного назначения и, тем более, в селекции в пределах одного направления использования в качестве исходного материала брали традиционные, хорошо зарекомендовавшие себя в том или ином регионе сорта, часто называемые универсальными. Такие сорта, безусловно, имеют право на существование. Но в наши дни все более затребованными должны стать сорта целевого назначения.

В соответствии с этим работа с коллекцией переживает новый этап. Диверсификация использования генофонда, основанная, в том числе, на свойствах, которые ранее не брали во внимание селекционеры – насущное требование времени [2].

Селекция на продуктивность является одной из самых важных и сложных задач, поскольку связана с необходимостью сочетания в одном генотипе наибольшего количества ценных признаков. Известно, что такими признаками у гороха являются число продуктивных узлов на растении, число бобов, семян на растении, число семян в бобе и масса 1000 семян [3].

Для классификации наблюдений и таксономических изучений используется кластерный анализ. Этот метод основан на определении взаимной близости расположения центров сравниваемых групп по изучаемым признакам, т.е. осуществляется оценка комплексного выражения сходства – различия объектов, деление на определенные таксономические единицы и проверка надежности предлагаемой классификации, позволяет российским и зарубежным ученым проводить объективную комплексную оценку исходного материала [4, 5, 6, 7].

Исследования, направленные на поиск источников селекционно ценных признаков, выявление закономерностей формирования элементов продуктивности в процессе создания высокотехнологичных сортов гороха, представляют актуальность для практической селекции. [8].

Материал и методы исследования

Объектом исследований послужили образцы гороха зернового. В коллекционном питомнике за период 2004-2006 гг. было изучено 64 образца гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного эколого-географического происхождения. Изученный набор зернового гороха представлен образцами селекции из России, 11 стран Восточной и Западной Европы, США, Канады. Объем образцов, созданных селекционными учреждениями России, состоял из 35 сортов (рис. 1). Стандартом взят широко возделываемый сорт Казанец. Изученные образцы различались по типу листа. Соотношение листочковых и усатых морфотипов отличалось незначительно и составило соответственно 46,9 и 53,1%.

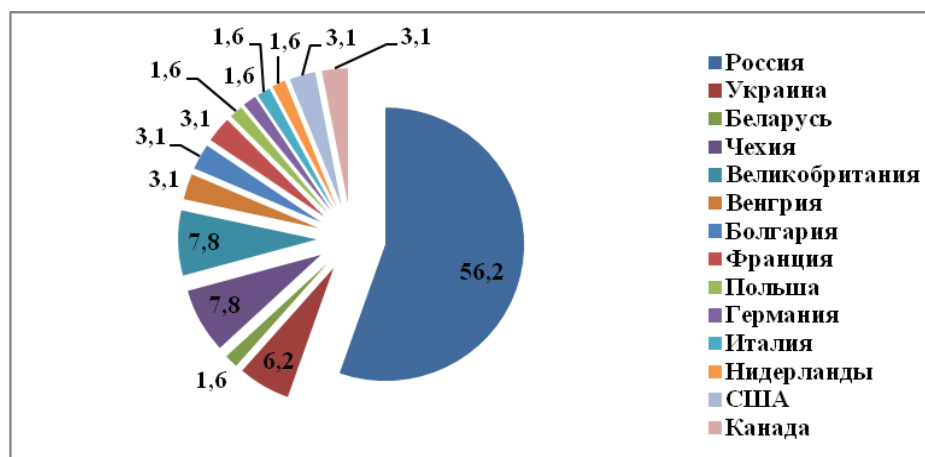


Рис. 1. Происхождение и объем коллекции, %

Изучение коллекции осуществлялось согласно методическим указаниям ВИР [9]. Посев коллекционных образцов проводили селекционной сеялкой ССФК-7А с нормой высева 1,2 млн. всхожих семян на гектар. Стандарт высевался через каждые 15 образцов. Площадь делянок 2,5 м², повторность однократная.

Кластерный анализ для дифференциации образцов проводили по 7 хозяйственно ценным признакам: длина растения, число плодущих узлов, бобов, семян на растении, число семян в бобе, масса семян, масса 1000 семян и осуществляли с использованием пакета программы AGROS 209. В качестве меры сходства использовали Евклидово расстояние. На

основании кластеризации построено древо классификации сортов для каждого морфотипа отдельно.

Результаты и обсуждение

Данные гидротермических показателей погодных условий в период вегетации стандартного сорта Казанец по годам представлены на рисунке 2. Годы проведения исследований характеризовались контрастными погодными условиями.

В период вегетации гороха в 2004 году среднесуточная температура воздуха составила 17,4°C, что на 0,6°C ниже среднеголетних значений. Количество выпавших осадков достигло 183 мм. Всходы гороха развивались в условиях дефицита влаги, выпало всего 2 мм осадков. По фазам от появления всходов до цветения растений и от полного цветения до созревания семян среднесуточная температура превышала среднеголетние значения соответственно на 3,2 и 1,8°C. Количество осадков за данный период были выше нормы на 16,7-66,7%. В период цветения гороха среднесуточная температура воздуха сохранялась на уровне нормы. Сумма осадков превышала среднеголетние значения на 12,0%. Гидротермические показатели свидетельствовали о хорошей влаго-и теплообеспеченности в целом за вегетационный период гороха. Осадки большей частью выпадали в виде ливневых дождей

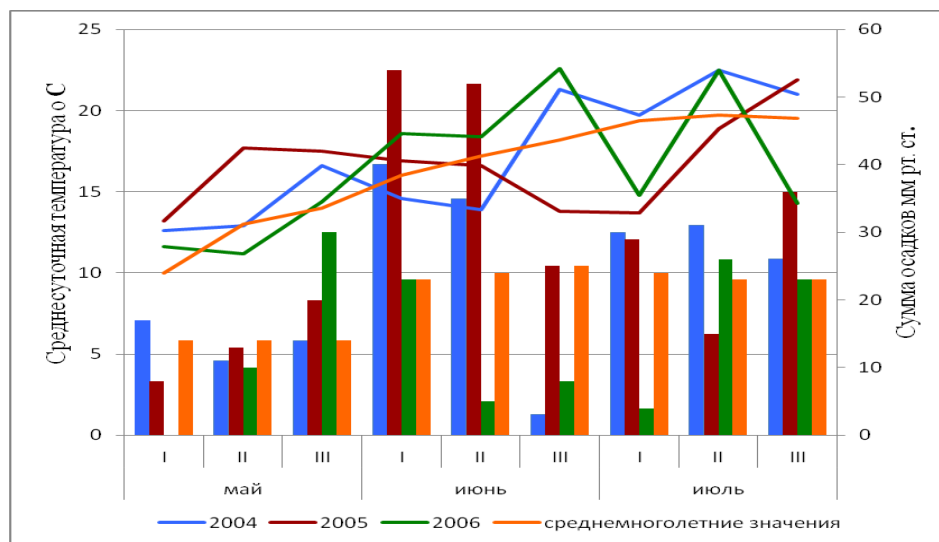


Рис. 2. Гидротермические показатели погодных условий в период вегетации гороха по годам исследований

Вегетационный период 2005 года характеризовался обильными осадками и умеренным теплом. В период вегетации гороха выпало 244 мм, среднесуточная температура воздуха составила 15,5°C при норме 18,0°C. Развитие проростков гороха и появление всходов сопровождалось повышенной температурой воздуха (на 4,3°C выше нормы) и выпало осадков 96 мм. Теплая и влажная погода в период нарастания вегетативной массы способствовала ускорению бутонизации растений. В фазе цветения наблюдалось выпадение большого количества осадков 72 мм, понижение температуры воздуха на 4,8°C ниже нормы. Этап формирования бобов и налив семян в III декаде июля сопровождался прохладной среднесуточной температурой (на 3,9°C ниже нормы) и осадками выше среднеголетних значений (12,5%). Сложившиеся условия способствовали увеличению длительности фазы от цветения до созревания и в целом вегетационного периода гороха.

В целом вегетационный период гороха в 2006 г. проходил при засушливых условиях со среднесуточной температурой воздуха 19,5°C (на 1,5°C выше нормы) и суммой осадков 93 мм. Для развития всходов складывались относительно благоприятные условия гороха при значениях среднесуточной температуры 15,6°C и суммы осадков 64 мм близкими к норме. В последующие периоды развития растений сохранялась повышенная температура воздуха с превышением среднеголетних значений на 1,9-3,2°C, ощущался значительный дефицит

влаги. Особенно напряженные условия складывались в фазе цветения гороха (декаде июня) и выпало всего 2 мм осадков. Формированию бобов и семян также сопутствовали засушливые условия со среднесуточной температурой воздуха 22,5°С при норме 19,7°С и суммой осадков 17 мм при среднемноголетнем значении 73 мм. Продолжительность вегетационного периода гороха, по сравнению со среднемноголетними значениями сократилась на 7 дней.

Образцы коллекции с усатым типом листа распределились на пять кластеров (табл. 1, рис. 3). Первому кластеру соответствовали четыре короткостебельных, низкопродуктивных сорта, которые уступали остальным по всем показателям. Длина растения в среднем по кластеру составляла 48,1 см. Представленные образцы выделились по крупности семян, значения массы 1000 семян составляли 238,0 г (табл. 2). Для группы сортов характерна низкая изменчивость по годам числа семян в бобе (CV=3,1-8,2%).

Второй кластер объединил многочисленную группу сортов и составлял 44,1%. Сорта характеризовались как среднепродуктивные (2,87 г), со средней крупностью семян (223,7 г). В пределах кластера определены семь сортов устойчивых полеганию, с длиной стебля в пределах 48,1-58,3 см. Сортообразец Вассага, имел преимущество по выполненности боба с числом семян в бобе 4,4.

Группа сортов третьего кластера характеризовались средней продуктивностью (2,69 г), хорошей выполненностью боба (3,9). В данном кластере объединились сорта с более мелкими семенами (175,6 г). Из них три формы Ус-96, Самарец, Беркут относились к группе среднестебельных (73,4-93,5 см).

Среди изученных генотипов выделена линия МС-1Д с тонкими створками боба, устойчивая к раскрытию бобов, с максимальным значением выполненности боба (4,3 шт.), числа семян на растении (17,4) и мелкими семенами (142,7 г) в среднем по годам. Тонкие беспергаментные створки бобов этой формы при созревании плотно прилегают к семенам. При механическом воздействии бобы этой формы не раскрываются.

К четвертому кластеру относились сорта со средними значениями длины стебля (64,2 см), массе (2,57 г/раст.), крупности семян (198,4) и низкими значениями числа семян в бобе (3,0). В среднем по кластеру образцы сформировали большее число продуктивных узлов (3,1) по сравнению с первыми тремя.

Пятому кластеру соответствовали два высокопродуктивных сорта Казанец и Таловец 70. Казанец (стандартный сорт) оказался лучшим по числу бобов, семян на растении, массе семян с максимальным значением признаков среди всех сортов с видоизмененным типом листа (5,1; 8,3; 3,97). Оба сорта характеризовались слабым варьированием числа семян в бобе (CV=7,1; 9,1%).

Как отдельный генотип выделился высокорослый сорт Гусар, характеризующийся мелкими семенами, низкой продуктивностью, но с высокими значениями числа бобов и семян на растении.

Таблица 1

Кластеризация образцов с усатым типом листа

1	Демон, Б-11003, Solara, Флагман-9, Батрак
2	Орлус, Флагман 10, Орк, Норд, Т-6, Classik, Алла, Sandra, Katmandon, Вассага, к-1693, Renata, Esedra, Menhin, Buloma
3	МС-1Д, Демос, Badminton, Ус-96, Самарец, Беркут, Sn-94-78-2-4-9
4	Шустрик, Спрут 2, Усач раннеспелый, Sum
5	Казанец, Таловец 70
Отдельные генотипы	Гусар

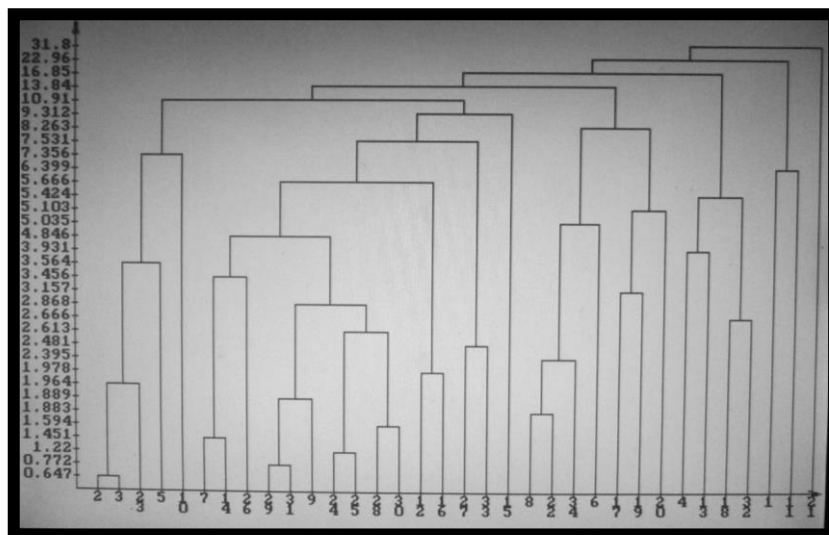


Рис. 3. Кластеры образцов коллекции по элементам продуктивности усатого морфотипа

Таблица 2

Средние значения биометрических показателей кластеров группы сортов усатого морфотипа

Кластер	Длина растений, см	Число на растении, шт.			Число семян в бобе	Масса 1000 семян, г	Масса семян, г/раст.
		продуктивных узлов	бобов	семян			
1	48,1	2,1	3,0	10,2	3,1	238,0	2,32
2	57,6	2,3	3,5	12,7	3,5	223,7	2,87
3	67,7	2,4	3,8	15,0	3,9	175,6	2,69
4	64,2	3,1	4,4	12,8	3,0	198,4	2,57
5	64,7	2,8	4,7	17,4	3,6	207,8	3,65
Отдельный генотип							
Гусар	111,0	2,8	4,9	16,9	3,4	144,7	2,65

Коллекционные образцы с обычным типом листа по результатам кластерного анализа были подразделены на семь групп кластеров (табл. 3, рис. 3).

К первому кластеру относились образцы со средними значениями по всем изученным признакам. Среди образцов кластера выделено четыре источника короткостебельности: Флагман, Janus, Смарагд, Мелинда с длиной стебля в пределах 55,3-59,4 см. Генотипы второго кластера являлись более длинностебельными (92,5 см). Формирование элементов продуктивности было выражено в средней степени (табл. 4). В условиях засухи проявился сорт Торрег формировавший в среднем на растение 4,1 бобов, 21,7 семян, массой семян на растении 2,97 г.

У двух образцов третьего кластера при минимальном значении числа бобов и семян на растении большой вклад в формировании продуктивности оказал признак число семян в бобе (4,5). Выделился короткостебельный сорт Кудесник максимально высокими значениями числа семян в бобе (4,7) в среднем по годам и низкой вариабельностью признака (CV=5,1%).

Сортообразцы четвертого кластера имели мелкие семена и характеризовались относительно хорошей выполненностью боба, значения которого составляли 4,2 семян в бобе. По массе семян представленная группа уступала сортам других кластеров.

В пятый кластер вошли шесть высокопродуктивных сортов с максимальным проявлением селекционно значимых признаков: числа продуктивных узлов, семян на растении, семян в бобе. Сорта 20/98 и Труженик по массе семян на растении превышали стандартный сорт Казанец на 8,1, 4,8% и отличались высокой выполненностью боба с

числом семян 4,6 и 4,2, соответственно. У образца Sn-93-39-1-6-2 существенная роль в увеличении массы семян принадлежала числу продуктивных узлов (3,2), бобов (5,1) и семян на растении (20,8). Для анализируемой группы сортов характерна высокая вариабельность элементов продуктивности по годам. Слабо выраженной степенью изменчивости числа семян в бобе ($CV=2,7-8,8\%$) при высоком его значении выделились сорта Вятич, Свяжец, 20/98. Генотипы 20/98, Дударь, Труженик, Sn-93-39-1-6-2 показали высокий потенциал некоторых элементов продуктивности (число бобов, семян, на растении, масса семян на растении) в благоприятные годы и с хорошей влагообеспеченностью. Сортообразцы Свяжец и Вятич реализовали высокую продуктивность при засушливых условиях.

У группы сортов шестого кластера наблюдалось максимальное число бобов на растении с максимальным проявлением у сорта Возрождение, значение которого составляло 5,0 бобов на растении. Причем формированию максимального числа бобов (7,5) способствовали благоприятные условия 2004 года. Среди изученных форм выделился генотип Progetta, реализовавший высокий потенциал в засушливых условиях. Образец являлся лучшим по показателям: число продуктивных узлов (2,8), бобов (4,2), семян (16,0), массой семян на растении (2,49 г/раст.) и характеризовался стабильными значениями признаков.

Два сорта седьмого кластера Орловчанин 2 и Лу-213-94 обладали ограниченным типом роста стебля, у которых отмечено максимальное число бобов на растении и соответственно они имели ограниченное число фертильных узлов. Причем сорт Орловчанин 2 характеризовался крупными семенами с массой выше 250 г.

К отдельному генотипу относился высокорослый сорт иностранной селекции Sorodag, который характеризовался мелкими семенами и максимальным числом фертильных узлов, бобов и семян на растении.

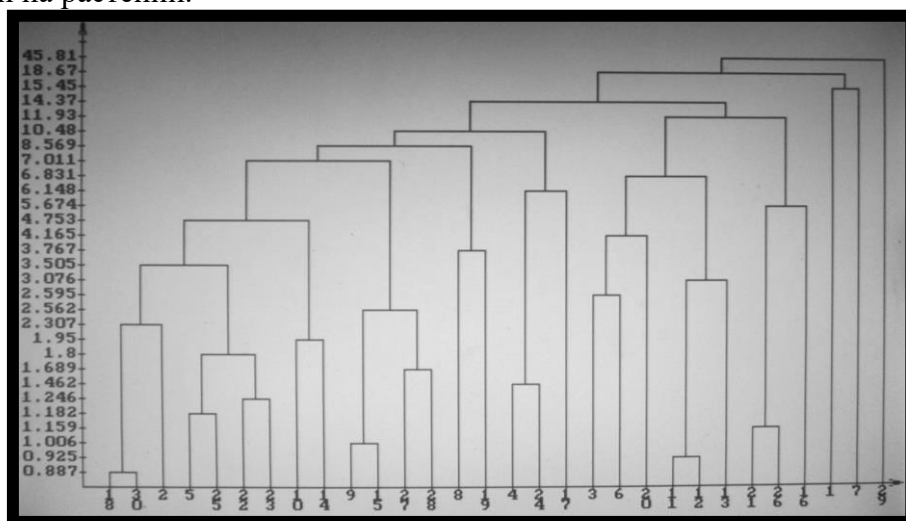


Рис. 4. Кластеры образцов коллекции по элементам продуктивности с обычным типом листа

Таблица 3

Кластеризация образцов с обычным типом листа

1	Флагман, Гаврош, Фитотрон 1, 257/80, Janus, Смарагд, Мелинда, Оливин, Зарянка
2	2/98, Содружество, Titan, Торпер
3	Львовский 16, Кудесник
4	Л-328, Vendevil, Мара
5	Дударь, Вятич, Sn-93-39-16-2, Труженик, 20/98, Свяжец
6	Возрождение, Progetta, Erbi
7	Орловчанин 2, Лу-213-94
Отдельные генотипы	Sorodag

Средние значения биометрических показателей кластеров группы сортов с обычным типом листа

Кластер	Длина растений, см	Число на растении, шт.			Число семян в бобе	Масса 1000 семян, г	Масса семян г/раст.
		продуктивных узлов	бобов	семян			
1	67,0	2,3	3,6	13,1	3,5	210,5	2,85
2	92,5	2,4	3,7	15,3	4,1	211,1	3,22
3	69,6	2,1	2,8	12,7	4,5	227,1	3,49
4	59,7	2,6	4,0	16,5	4,2	165,9	2,82
5	76,4	2,7	4,5	18,5	4,1	214,2	3,98
6	72,1	3,1	4,7	14,8	3,1	215,8	3,23
7	61,3	1,8	4,5	12,4	2,7	230,0	2,93
Отдельный генотип							
Sorodag	114,7	4,3	5,4	20,7	3,9	125,1	2,45

Из выделенных образцов в селекционный процесс широко был вовлечен округлосемянный образец МС-1Д (к-8853, ВИР) с безлигниновыми створками бобов, обеспечивающими устойчивость к раскрыванию. Было установлено, что наследование нового морфологического признака носит рецессивный характер. Из гибридного материала, созданного с использованием в качестве родительского компонента МС-1Д, были выведены первые сорта с нераскрывающимися бобами сорта Кабан (патент № 7609 от 05.12.2014 г.), Фрегат (патент № 8551 от 12.07.2016 г.) (рис. 5), включенные в Государственный реестр РФ, допущенных для возделывания селекционных достижений [10].



Рис. 5. Бобы гороха с безлигниновыми створками

Заключение

В связи с задачами селекции для использования в селекционном процессе и создания сортов предложены источники ценных признаков:

- устойчивости к полеганию с усатым типом листа – Демон, Шустрик, Батрак, Орлус, (ФНЦ ЗБК), Б-11003 (Кировская обл.), МС-1Д (ВИР), Демос (СибНИИСХ), Флагман10 (Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова), Badminton, Vaccara, Renata, к-1693 (Англия), Solara (Нидерланды), Katmandon (Франция), Sandra (Чехия), Esedra (Италия);
- высокой продуктивности – 20/98, Труженик, Sn-93-39-1-6-2, Вятич, Свяжец (листочковые), Казанец, Таловец 70 (усатые);

- выполненности бобов – 20/98, Л-328, Свияжец, Кудесник, Titan, Sorodag (листочковые) МС-1Д, Вассага (усатые);
- МС-1Д – источник устойчивости к растрескиванию бобов. Использование данного признака в селекции позволило создать перспективные сорта нового направления.

Литература

1. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации. // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2018. – № 2. – С. 4-9. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008
2. Вишнякова М.А. Генофонд зернобобовых культур и адаптивная селекция как факторы биологизации и экологизации растениеводства. // Сельскохозяйственная биология, – 2008. – № 3. – С. 3-23.
3. Лысенко А.А., Коробова Н.А. Оценка коллекционных образцов по элементам продуктивности. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, – 2019. – vol. 7-1. – С. 107-112. DOI:10.24411/2500-1000-2019-11381
4. Беляева Р.В., Агаркова С.Н. Использование факторного анализа в селекционно-генетических исследованиях гороха. // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2018. – № 3. – С. 11-16. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11025
5. Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г., Бондаренко Е.В. Применение математических методов анализа в селекции гороха овощного. // Овощи России, – 2018. – № 2 – С. 38-42. DOI:10.18619/2072-9146-2018-2-38-42
6. M.A.Esposito, I.Gatti, V.P.Craverio, F.S.Lopez Anido, E.L.Cointry.// Combining abilities and heterotic groups in *Pisum sativum* L. – Australian journal of crop science. – 2013. – 7 (11). – P. 1634-1641.
7. T.T. Tolessa Genetic variation, heritability, and advances from selection in elite breeding materials of field Pea (*Pisum sativum* L.) genotypes.//Research & technology: open access journal research article, 2017. – vol. 8. – issue 4. – P. 1-11. DOI: 10.190880/Artoaj. 2017.08.555744
8. Шурхаева К.Д. Оценка генофонда гороха и перспективы его селекционного использования в условиях Среднего Поволжья: автореф. дисс. канд. с.х. наук. – Казань, – 2011. – 22 с.
9. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Л. – ВИР. – 1975. – 59 с.
10. Фадеева А.Н., Фадеев Е.А., Шурхаева К.Д., Абросимова Т.Н. Результаты и перспективы селекции гороха на устойчивость к раскрыванию бобов // Достижения науки и техники АПК, 2015. – Т. 29. – № 5. – С. 20-22.

STUDY OF THE FIELD PEA GENE POOL WITH APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS

K.D. Shurkhaeva, A.N. Fadeeva
TATAR NIISH – OSP FRC KazSC RAS

Abstract: *A comprehensive assessment in Middle Volga region of 64 *Pisum sativum* L. varieties of various ecological and geographical origins from VIR collection and sample breeding institutions was conducted. The studied pea varieties are represented by breeding samples from Russia, 11 countries of Eastern and Western Europe and North America. Cluster analysis was performed to indicators of plant length, number of productive nodes, pods, seeds on a plant, number seeds in pod, mass of seeds on plant and mass of 1000 seeds. As a measure of similarity Euclidean distance was used. Based on clustering, a classification tree separately for two groups of varieties – leaflet and leafless morphotype was constructed. For each cluster sources of breeding valuable traits was identified. The best genotypes by the number of pods, seeds on the plants, seeds on pods and 1000 seeds mass were identified. For selection using for plant lodging resistance are proposed a leafless genotypes. Leafless MS-1D from VIR genetic resources, characterized by lightweight lignin-free pods, as a source of resistance to pod dehiscence was identified. In selection process the donor properties of this form are confirmed. It was used as the parent component in breeding Kaban and Fregat pea varieties – the first varieties with indehiscence pods in the state register Russian Federation.*

Keywords: pea, genetic resources, collection, morphotype, genotype, cluster analysis, resistance to plant lodging, pod dehiscence