

Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

УДК 635.654.3: 524.01:57.087.1

Поступление/Received: 30.03.2021

Принято/Accepted: 11.05.2021



М. О. БУРЛЯЕВА*, М. В. ГУРКИНА,
Е. В. МИРОШНИЧЕНКО

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
*✉ m.burlyaeva@vir.nw.ru

Application of multivariate analysis to identify
relationships among useful agronomic
characters of cowpea and differentiation
of cultivars for vegetable and grain uses

М. О. BURLYAEVA*, M. V. GURKINA,
E. V. MIROSHNICHENKO

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
*✉ m.burlyaeva@vir.nw.ru

Актуальность. Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – теплолюбивая культура, в большинстве стран ее возделывают для получения зерновой и овощной продукции. Положительные результаты выращивания вигны в открытом грунте в южных регионах России, возможность ее культивирования на неплодородных почвах в жарких и сухих климатических условиях делают актуальным создание новых сортов, пригодных для более широкого внедрения в сельскохозяйственное производство нашей страны. При создании сортов первостепенное значение имеет знание закономерностей изменчивости взаимосвязей хозяйственно ценных признаков и их особенностей у сортов разных направлений использования (зернового и овощного). Ускорение селекционного процесса в большой степени зависит и от знания признаков, позволяющих дифференцировать исходный материал по целевому назначению.

Материалы и методы. В Астраханской области в течение трех лет изучено 315 образцов вигны разного географического происхождения из коллекции ВИР. Исследовано восемь хозяйственно ценных признаков. Изменчивость и взаимосвязи признаков у сортов зернового и овощного использования оценены с помощью многомерных статистических методов.

Результаты. Выявлены признаки, дифференцирующие зерновые и овощные сорта; к ним относятся: тип поверхности семенной кожуры, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, длина боба. Рассчитаны дискриминантные функции, по которым можно идентифицировать и классифицировать образцы по зерновому и кормовому направлениям использования. Определен признак (наличие углублений или продольных штрихов на поверхности семенной кожуры), диагностирующий овощные сорта по семенам. Установлены признаки, взаимосвязанные с высокой семенной продуктивностью. Для зерновых сортов таким признаком является масса 1000 семян, для овощных – крупносемянность и длинноплодность бобов.

Ключевые слова: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., продуктивность, фенология, изменчивость, корреляции, дискриминантный анализ, факторный анализ.

Background. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a thermophilic crop; in most countries it is grown for grain and vegetable uses. Positive results of open-field cowpea production in the southern regions of Russia and the possibility of its cultivation on infertile soils in hot and dry climate imply the need to develop new cultivars suitable for wider introduction into Russian agriculture. It is of paramount importance for cowpea breeders to know the patterns of variability in the relationships among agronomic traits and their characteristics in cultivars grown for different uses (grain and vegetable). Besides, acceleration of the breeding process to a large extent depends on the knowledge of the traits that make it possible to differentiate the source material according to its intended purpose.

Materials and methods. For three years, 315 cowpea accessions of various origin from the VIR collection were studied in Astrakhan Province, Russia. Eight useful agronomic characters were examined. The variability and relationships of these characters were assessed in cultivars grown for grain and vegetable purposes using multivariate statistical analyses.

Results and discussion. The characters that differentiate grain and vegetable cowpea accessions were identified: the type of seed coat surface, the presence of fiber in ventral and dorsal pod sutures and a sclerenchyma layer in pods valves, and pod length. Discriminant functions were calculated for identification and classification of accessions according to their grain and forage uses. The character (presence of depressions or longitudinal striae on the seed coat surface) diagnosing vegetable cowpea cultivars was pinpointed. Characters associated with high seed yield were identified. For grain cultivars such character is the weight of 1000 seeds, while for vegetable cultivars it is a large-seeded and long-fruit pod.

Key words: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., yield, phenology, variability, correlations, discriminant analysis, factor analysis.

Введение

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – культура многоцелевого использования (зернового, кормового, овощного, агротехнического и др.), распространенная в субтропических и тропических регионах Старого и Нового Света (Mahted et al., 2004). Она входит в пятерку самых важных бобовых в мире и считается лучшей после сои для использования в севооборотах с зерновыми культурами (Smýkal et al., 2014). Популярность вигны в регионах, где ее выращивают, традиционно обеспечивается высокой продуктивностью, питательностью семян и бобов, устойчивостью ко многим болезням и нетребовательностью к условиям произрастания: она хорошо переносит засуху, жару и низкое плодородие почвы, может расти даже на песчаной почве (Mahted et al., 2004; Silva et al., 2018).

Культивируемые формы вида делят на четыре группы сортов (cultivar groups): *bi-flora*, *sesquipedalis*, *textilis* и *unguiculata* (Pienaar, van Wyk, 1992). Зерновые сорта (коровий горох) относят к группам *unguiculata* и *bi-flora*, овощные (спаржевую вигну) – к *sesquipedalis*. Сорта из группы *textilis* распространены только в Нигерии, где из длинных цветоносов растений изготавливают прочные волокна. В странах Африки к югу от Сахары, в Южной и Центральной Америке, на юге Соединенных Штатов и Европы вигну предпочитают выращивать на семена, в Юго-Восточной Азии – на овощную продукцию. В основном в мире создаются сорта овощного и зернового направления использования.

В России интродукционное изучение вигны было начато в начале прошлого века: испытывали как зерновые, так и овощные сорта. В СССР основными территориями, где выращивали культуру, были республики Средней Азии, Грузия, Азербайджан, Армения, Молдавия, юг Украины и Азово-Черноморский край (Pavlova, 1937). В настоящее время вид с успехом продвигается в более северные районы. Известны успешные опыты по апробации сортов в открытом грунте на юге Дальнего Востока, в При-

каспийской низменности, Нижнем Поволжье, Дагестане, Ставропольском и Краснодарском краях (Burlyaeva et al., 2015; Zhuzhukin, Bagdalova, 2017; Efremova et al., 2019; Shuaibova et al., 2020), а также в условиях теплицы в Сибири (Fotev, Belousova, 2010). В связи с возрастающим интересом населения нашей страны к *V. unguiculata* возникает необходимость в новых сортах, приспособленных к разным эколого-географическим условиям, специализированных по направлениям использования. Особенно актуально создание сортов вигны для областей с повышенными температурами и неустойчивым увлажнением, где культура может возделываться как альтернатива фасоли, посевы которой плохо переносят такие условия и имеют более низкую продуктивность.

Образцы вигны в коллекции ВИР отличаются значительным разнообразием по происхождению, форме куста растений, типу роста, длине вегетационного периода, характеристикам бобов и семян. Это позволяет полноценно оценить изменчивость и взаимосвязи хозяйственно ценных, морфологических и фенологических признаков в различных группах сортов (cultivar groups) и разработать сорта, удовлетворяющие разные запросы потребителей сельскохозяйственной продукции, в том числе и актуальные для России сорта зернового и овощного использования.

В идеале зерновые сорта должны иметь кустовую форму растения, детерминантный тип роста, дружное созревание семян, быть средне- или скороспелыми, продуктивными (рис. 1, а). Овощные сорта должны характеризоваться мясистыми длинными бобами, не содержащими в створках пергаментного слоя и волокна. По типу роста могут быть двух типов. К первому типу относятся сорта, которые выращиваются, чтобы получить продукцию длительного хранения. Они имеют незаконченный тип роста и вьющиеся побеги (рис. 1, б). Второй тип имеет кустовую форму, более длинные цветоносы, удерживающие бобы над поверхностью растений (рис. 1, в).

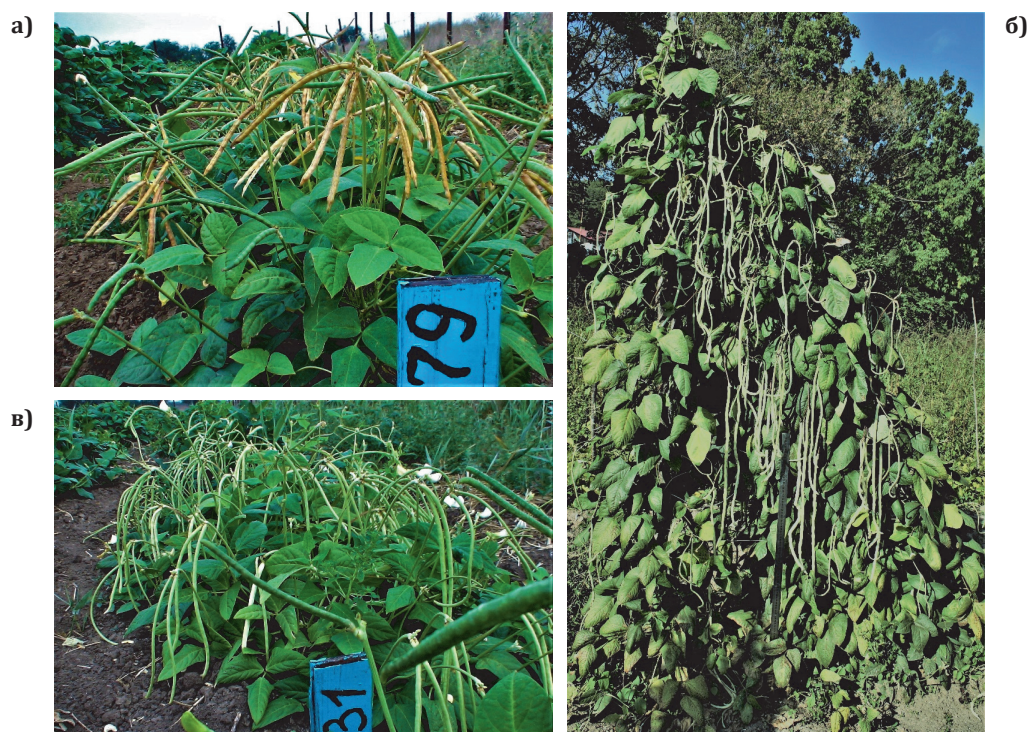


Рис. 1. Образцы *Vigna unguiculata* (L.) Walp. разных направлений использования: а – зерновые, б и в – овощные
Fig. 1. Accessions of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. for different uses: а – grain, б and в – vegetable

Основная цель в селекции вигны, как и любой другой культуры, – высокая урожайность. Знание связей элементов продуктивности с другими хозяйственно ценными признаками полезны при разработке урожайных сортов. Изучение корреляций и поиск признаков-индикаторов, по которым можно вести отбор образцов с необходимыми характеристиками, упрощает селекционный процесс. При исследовании количественных признаков овощных и зерновых образцов вигны нами было замечено, что сорта разных направлений использования характеризуются некоторыми различиями не только по параметрам морфологических и хозяйственно ценных характеристик, но и по взаимосвязям между ними.

В связи с вышесказанным целью нашего исследования стало:

– изучение изменчивости фенологических, морфологических и хозяйственно ценных признаков, позволяющих дифференцировать исходный материал для селекции зерновых и овощных сортов;

– анализ изменчивости структуры корреляций изученных признаков и выделение признаков-индикаторов, упрощающих отбор и селекцию высокопродуктивных образцов для разных направлений использования.

Материалы и методы

Изучение проводили в Астраханской области на Астраханской опытной станции – филиале ВИР (46°07' с. ш., 41°01' в. д.). Климат Астраханской области сухой, резко континентальный. Почвы опытного поля аллювиально-луговые, тяжелосуглинистые, слабозасоленные (хлоридно-сульфатный тип засоления). Сумма активных температур воздуха (выше 15°C) в течение вегетационного периода колебалась от 3288,4 до 3491,3°C. Годовая сумма осадков составляла 94,0–223,0 мм (RINMI–WDC..., 2014). Посев производили во влажный прогретый слой почвы, когда среднесуточная температура воздуха достигала 14–16°C. Способ посева – широкорядный. Семена высевали вручную, ширина между рядами – 140 см, расстояние между семенами в ряду – 10 см. Глубина заделки семян – 3–5 см. Образцы культивировали в условиях орошения: за вегетационный период производилось шесть поливов дождевальными машинами, в среднем 250–300 м³/га. Для опыта было отобрано 315 образцов разного географического происхождения, из них 151 овощного и 164 зернового направления использования.

Исследования образцов осуществляли в условиях открытого грунта в соответствии с методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур (Vishnyakova et al., 2018) и Международным классификатором видов *Vigna Savi* (Burlyaeva et al., 2016). Оценивали в течение 2008–2010 гг. следующие морфологические, фенологические и хозяйственно ценные признаки: «продолжительность вегетационного периода», «длина растения», «высота травостоя», «продуктивность семян с растения», «масса 1000 семян», «длина боба», «степень развития волокна и пергаментного слоя в створках незрелого боба», «тип поверхности семян» (степень и форма углублений на семенной кожуре).

Статистический анализ данных проводили по средним для каждого образца. Факторный анализ (principal factor analysis, PFA), дискриминантный анализ, корреляционный анализ (ранговые коэффициенты корреляции – Spearman Rank Order Correlations) выполняли с использованием пакета программ Statistica 7. Достоверность влияния принадлежности генотипа к определен-

ному направлению использования на характер изменчивости морфологических и хозяйственно ценных признаков устанавливали используя однофакторный дисперсионный анализ. Долю влияния фактора (η^2 – intraclass correlation, выраженный в %) по Фишеру вычисляли по формуле:

$$\eta^2 = \frac{SS_{factor}}{SS_{total}} \times 100\%,$$

где: η^2 , % – доля влияния фактора, SS_{factor} – факторная сумма квадратов отклонений, SS_{total} – общая сумма квадратов отклонений (Schmidt, 1984; Ivanter, Korosov, 2003).

Влияние направления использования на изученные признаки было также оценено с помощью критерия Краскела – Уоллиса (Kruskal–Wallis), аналога однофакторного дисперсионного анализа в непараметрической статистике (Kruskal–Wallis H).

Группы признаков, наиболее связанных между собой, определяли анализируя системы корреляций при построении корреляционных колец (Terentyev, 1959; Schmidt, 1984).

Для оценки сходства систем связей по структуре вычисляли коэффициент корреляции между z-преобразованными матрицами (Rostova, 2002). Для приближения распределения коэффициентов корреляции (r) к нормальному вводили z-преобразование Р. Фишера:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$$

Каждую из сравниваемых матриц перестраивали в вектор. Из полученных векторов формировали новую базу данных, в которой каждая матрица рассматривалась как признак, а отдельные коэффициенты этой матрицы – как значения признака. Сравнение матриц по структуре связей проводили с помощью метода главных компонент. Первую главную компоненту рассматривали как фактор сходства матриц, соответствующую ей долю дисперсии использовали как показатель степени сходства сравниваемых матриц. Вторую главную компоненту интерпретировали как показатель различий в структуре матриц. Процент дисперсии более 90% считали показателем значительного сходства матриц, менее 75–80% – невысокого (Rostova, 2002). Детальное изучение изменчивости структуры взаимосвязей между признаками у образцов зернового и овощного использования проводили сравнивая корреляционные кольца.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментов было отмечено, что образцы зернового направления использования отличаются от овощных по длине вегетационного периода, размерам и морфологическому строению бобов и семян, форме куста растения (табл. 1, рис. 2). Зерновые сорта характеризовались различной формой растения (чаще наблюдалась кустовая), короткими бобами, широким диапазоном изменчивости продуктивности семян и массы 1000 семян. Пергаментный слой и волокна в створках боба имели среднее и сильное развитие, поверхность семян была гладкой, реже мелкосетчатой. Овощные сорта выделялись более длинными бобами, содержащими небольшое количество волокна и тонкий пергаментный слой; у ряда образцов склеренхима в створках практически отсутствовала. Семена имели неровную поверхность, величина и число углублений на семенной кожуре достаточно сильно варьировали. Продуктивность семян и масса

Таблица 1. Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования

Table 1. Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses

Направление использования	Mean ± Std. Err.	Min	Max	Mean ± Std. Err.	Min	Max
Признак	Длина вегетационного периода, сут.			Продуктивность семян с растения, г		
Зерновое	93,0 ± 0,8	69,0	120,0	53,9 ± 3,0	4,0	232,0
Овощное	88,8 ± 1,3	69,0	117,7	40,7 ± 2,8	9,0	170,0
Все направления	91,7 ± 0,7	69,0	120,0	49,9 ± 2,3	4,0	232,0
Признак	Высота растения (травостоя), см			Длина растения, см		
Зерновое	60,3 ± 1,3	20,0	120,0	138,8 ± 2,8	30,0	250,0
Овощное	32,2 ± 1,2	15,0	84,0	126,3 ± 4,7	40,0	285,0
Все направления	51,7 ± 1,2	15,0	120,0	135,0 ± 2,5	30,0	285,0
Признак	Масса 1000 семян, г			Длина боба, см		
Зерновое	138,5 ± 2,8	50,0	300,0	17,2 ± 0,24	8,0	21,0
Овощное	145,7 ± 2,6	80,0	210,0	38,9 ± 1,5	20,0	80,6
Все направления	140,7 ± 2,1	50,0	300,0	23,8 ± 0,75	8,0	80,6

Примечание: **Mean** – среднее значение; **Std.Err.** – стандартная ошибка от среднего; **Min** – минимальное значение; **Max** – максимальное значение

Note: **Mean** – mean value; **Std.Err.** – error of the mean; **Min** – minimum value; **Max** – maximum value

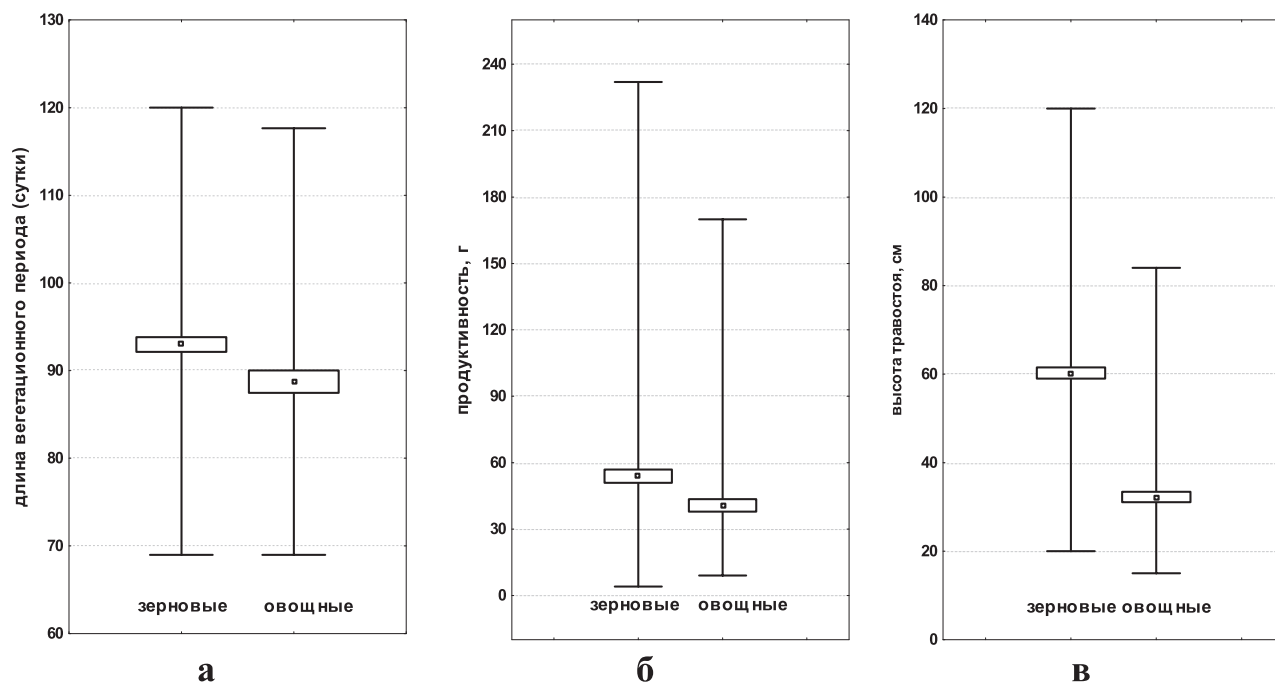


Рис. 2. Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования:

а – длина вегетационного периода, сут.; б – продуктивность, г; в – высота травостоя, см; Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум, SE – стандартная ошибка среднего

Fig. 2. Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses:

а – days from sprouting to maturation; б – seed yield per plant (g); в – grass stand height (cm); Min – minimum, Max – maximum, SE – standard error of the mean

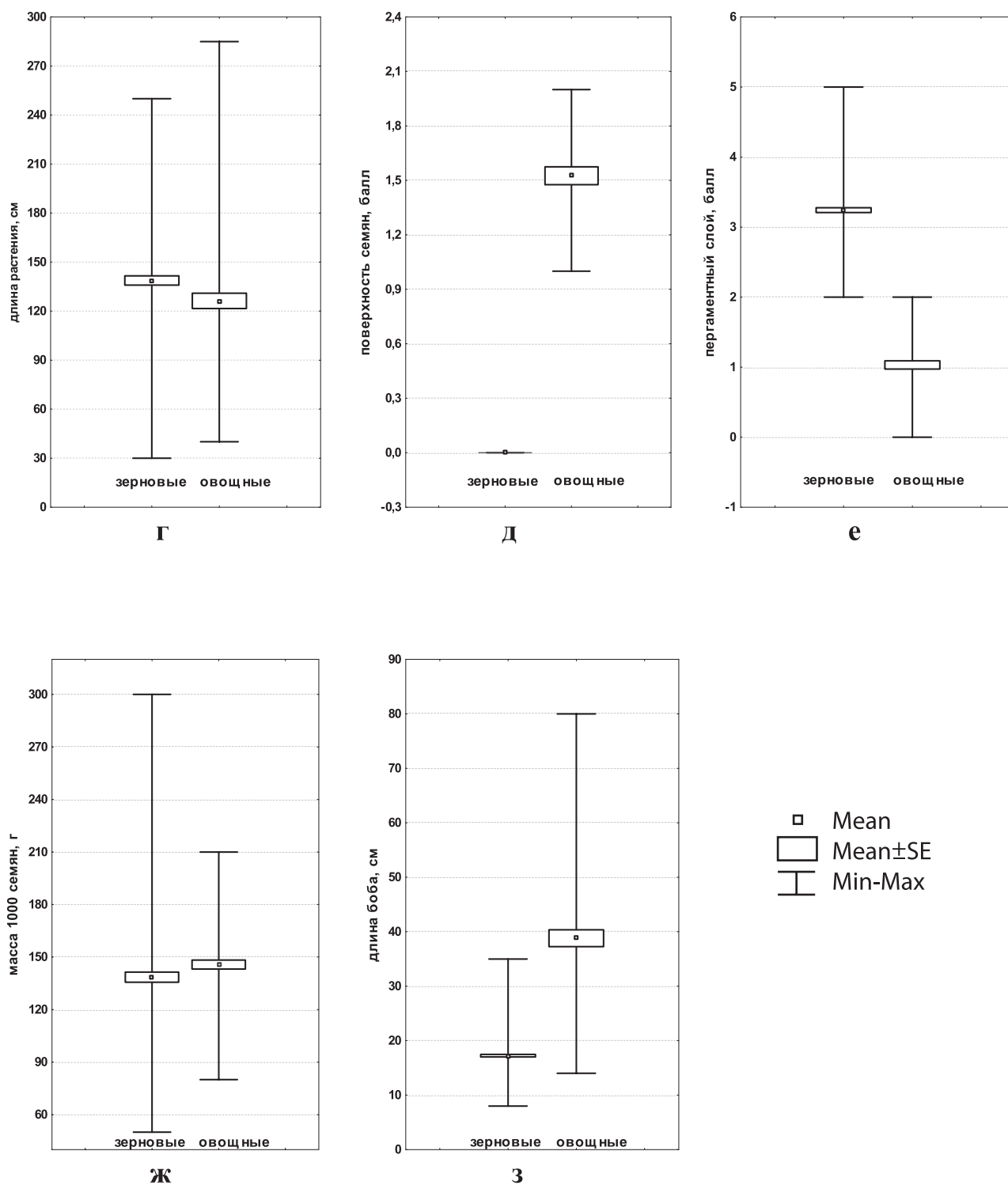


Рис. 2. Изменчивость морфологических, фенологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны зернового и овощного направления использования:

г – длина растения, см; д – тип поверхности семян, балл; е – степень развития волокна и пергаментного слоя в створках боба, балл; ж – масса 1000 семян, г; з – длина боба, см;
 Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум, SE – стандартная ошибка среднего

Fig. 2. Variability of morphological, phenological and agronomic characters in cowpea accessions for grain and vegetable uses:

г – plant length (cm); д – the type of seed coat surface (score); е – the degree of fiber and sclerenchyma layer development in pod valves (score); ж – 1000 seed weight (g); з – pod length (cm);
 Min – minimum, Max – maximum, SE – standard error of the mean

1000 семян отличались относительно невысокой изменчивостью. Среди овощных сортов чаще встречались вьющиеся растения с незаконченным типом роста главного стебля.

Для проверки статистической значимости ассоциаций между изменчивостью количественных морфологических и хозяйственно ценных признаков и принадлежностью образцов к определенному направлению использования (овощному или зерновому) был проведен однофакторный дисперсионный анализ (табл. 2).

Анализ показал, что статистически значимые различия между образцами овощного и зернового использования наблюдаются по длине вегетационного периода, продуктивности семян с растения, высоте травостоя, длине растения и боба, типу поверхности семян и степени развития пергаментного слоя и волокна в створках бобов в стадии технической спелости. Наибольшая доля влияния отмечалась у длины боба ($\eta^2 = 87,3\%$), типа поверхности семян ($\eta^2 = 87,3\%$) и степени развития перга-

Таблица 2. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению взаимосвязи между характером изменчивости морфологических и хозяйственно ценных признаков и направлением использования образцов

Table 2. Results of the one-way analysis of variance identifying the relationship between the nature of variability in morphological and agronomic characters and the use of accessions

Фактор	df	SS	MS	F	p	η^2	SS	MS	F	p	η^2	
Признак		Длина вегетационного периода					Продуктивность семян с растения					
Направление использования	1	1191,1	1191,1	7,6	0,006	2,3	11629,5	11629,5	7,2	0,008	2,2	
Остаточная изменчивость	313	49243,4	157,3			87,7	506825,4	1619,3			88,8	
Общая изменчивость	314	50434,5					518455,0					
Признак		Высота растения (травостоя)					Длина растения					
Направление использования	1	52403,8	52403,8	186,4	0,000	37,3	10332,8	10332,8	5,5	0,019	1,7	
Остаточная изменчивость	313	87998,7	281,1			72,7	585328,9	1870,1			98,3	
Общая изменчивость	314	140402,4					595661,7					
Признак		Масса 1000 семян					Длина боба					
Направление использования	1	3436,6	3436,6	2,4	0,120	0,7	177,0	177,0	2155,3	0,000	87,3	
Остаточная изменчивость	313	447571,2	1429,9			99,3	25,7	0,1			12,7	
Общая изменчивость	314	451007,8					202,7					
Признак		Степень развития пергаментного слоя и волокна					Тип поверхности семян					
Направление использования	1	177,0	177,0	2155,27	0,000	87,3	155,4	155,4	2192,9	0,00	87,5	
Остаточная изменчивость	313	25,7	0,1			12,7	22,2	0,1			12,5	
Общая изменчивость	314	202,7					177,6					

Примечание: **SS** – сумма квадратов; **MS** – среднеквадратичное отклонение; **F** – значение критерия Фишера; **p** – уровень значимости; **df** – число степеней свободы; **η^2** – доля влияния, %

Note: **SS** – sum of squares; **MS** – mean squares; **F** – Fisher criterion value; **p** – significance level; **df** – degrees of freedom; **η^2** , % – effect size, percentage

ментного слоя и волокна ($\eta^2 = 87,3\%$). По массе 1000 семян образцы достоверно не различались.

Сравнение изученных признаков у зерновых и овощных образцов с помощью рангового критерия Краскела – Уоллиса показало достоверное влияние направления использования на изменчивость показателей всех характеристик: на длину боба $H(1, N = 315) = 200,33$, $p = 0,00$, на степень развития пергаментного слоя и волокна $H(1, N = 315) = 237,13$, $p = 0,00$, на тип поверхности семян $H(1, N = 315) = 303,22$, $p = 0,00$, массу 1000 семян $H(1, N = 315) = 4,7$, $p = 0,03$, высоту растения (травостоя) $H(1, N = 315) = 136,18$, $p = 0,00$, длину растения $H(1, N = 315) = 6,15$, $p = 0,01$, продуктивность семян с растения $H(1, N = 315) = 3,93$, $p = 0,04$ и длину вегетационного периода $H(1, N = 315) = 8,36$, $p = 0,00$.

Для выявления закономерностей изменчивости и структуры связей признаков у сортов овощного и зернового использования был проведен факторный анализ (по методу главных факторов). Анализ выявил три фактора, отражающих основную часть дисперсии признаков. Доля их дисперсии равнялась 70,3% (табл. 3). В первый фактор, доля дисперсии (FD1 = 38,0%), входили: длина боба, тип поверхности семян и, в отрицательной корреляции с ними, высота травостоя, и степень развития пергаментного слоя и волокна в створках. Фактор можно интерпретировать как фактор способности растений формировать длинные бобы и механическую ткань в различных органах растений. Образцы с бобами, не содержащими волокна и пергаментного слоя, характеризуются большей склонностью к полеганию. Второй фактор (FD2 = 17,1%) – фактор длительности периода вегетации и длины растения – отвечает за тип роста стебля. Позднеспелые образцы у вигны имеют более длинные стебли, чем скороспелые. Третий фактор (FD3 = 15,2%) – фактор продуктивности и массы 1000 семян – показывает, что чем крупнее семена, тем выше продуктивность растения. Этот фактор свидетельствует о том, что продуктивность вигны зависит от величины семян.

Рассматривая расположение образцов в факторном пространстве, можно увидеть, что зерновые и овощные образцы заняли противоположные области на графике, четко дифференцировались по первому фактору (рис. 3), то есть по признакам: длина боба и степень развития

пергаментного слоя и волокна в створках, тип поверхности семян и высота травостоя. В зоне, характеризующейся высоким травостоем, короткими бобами с хорошо развитой склеренхимой в створках, гладкой и мелкосетчатой поверхностью семян, находятся зерновые образцы, напротив – овощные, с длинными бобами, тонким пергаментным слоем, с неровной поверхностью семенной кожуры и небольшой высотой травостоя. По второму фактору (длины растения и продолжительности периода вегетации) нет четкого разделения между образцами разных направлений использования (см. рис. 3, а). Аналогичная картина наблюдается и по третьему фактору (продуктивности и массы 1000 семян) (см. рис. 3, б).

Таким образом, факторный анализ выявил, что основными признаками, отличающими овощные образцы от зерновых, являются длина боба, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках, тип поверхности семян и высота травостоя. Большинство овощных сортов отличаются от зерновых склонностью к полеганию, длинными бобами, отсутствием или небольшим содержанием волокна и пергаментного слоя в створках бобов, семенной кожурой с заметными углублениями на поверхности (в виде продольных штрихов).

Факторный анализ сузил число признаков, разграничивающих образцы по направлению использования. Не выявил различий по признакам: продуктивность семян с растения, длина растения и продолжительность вегетационного периода. По-видимому, это произошло из-за некоторой трансгрессии между этими признаками у овощных и зерновых образцов.

Наилучшим методом, когда визуально объекты трудно различить и распределения признаков перекрываются, является дискриминантный анализ. Он позволяет дифференцировать объекты (совокупности, группы, таксоны и др.) при некоторой трансгрессии признаков. На основе признаков объектов математически рассчитывается искусственный и единственный признак, учитывающий все незначительные морфологические отличия в целом по всем признакам (Ivanter, Korosov, 2003). Данный анализ проводит группировку данных и вычисляет значения дискриминантной функции, которая отличается минимально возможной трансгрессией распределения в исследуемых совокупностях (группах). Использо-

Таблица 3. Факторная структура морфологических и хозяйственно ценных признаков у образцов вигны разных направлений использования

Table 3. Factor loadings of morphological and agronomic characters in cowpea accessions for different uses

Признак	Код	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Длина вегетационного периода	V	0,11	0,80	0,01
Продуктивность семян с растения	Y	0,20	-0,04	0,80
Высота растения (травостоя)	H	0,72	0,15	-0,25
Длина растения	L _p	0,06	0,80	0,09
Масса 1000 семян	M _s	-0,20	0,16	0,70
Длина боба	L _b	-0,87	0,04	-0,04
Степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба	P	0,91	0,05	0,08
Тип поверхности семян	S	-0,89	-0,15	-0,06
Доля дисперсии, %		38,0	17,1	15,2

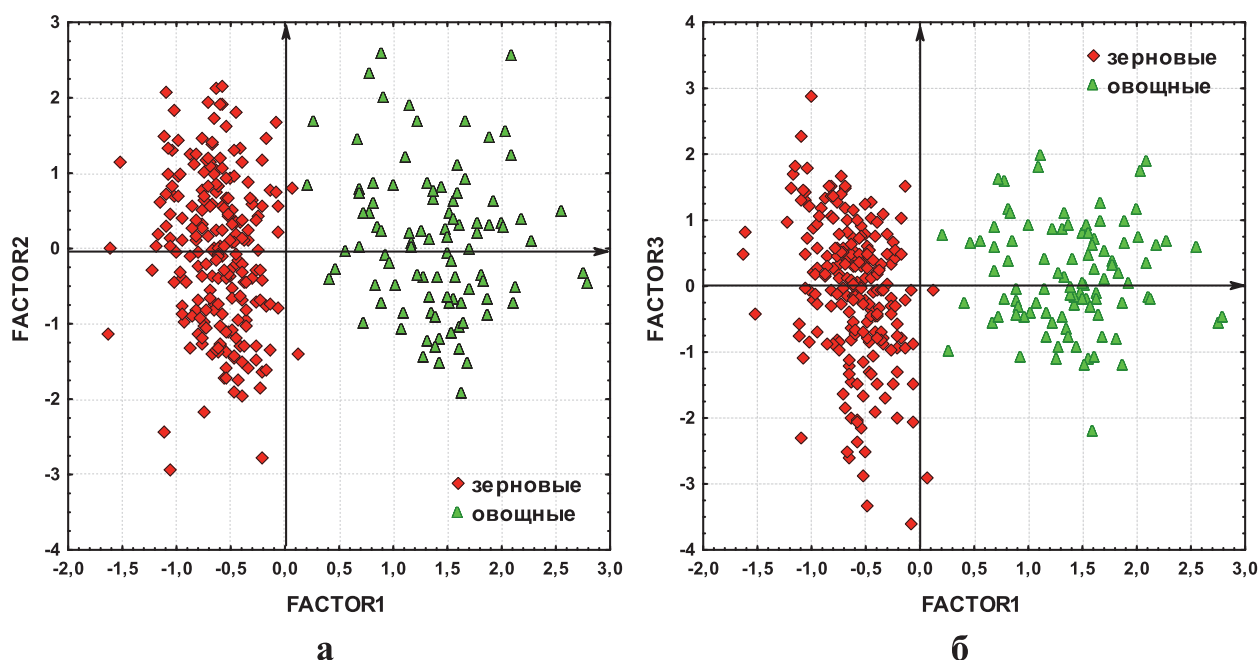


Рис. 3. Распределение образцов вигны овощного и зернового направления в пространстве факторов: а – Фактор 1–2, б – Фактор 1–3

Fig. 3. Scatterplot of cowpea accessions for vegetable and grain uses in the factorial space: а – Factor 1–2, б – Factor 1–3

ние полученной дискриминантной функции позволяет отнести отдельно взятое наблюдение к одной из этих совокупностей.

Поэтому для уточнения числа признаков, наиболее значимых при распределении образцов по группам (выделенным по типу использования в сельском хозяйстве) и их классификации, мы осуществили дискриминантный анализ. Проводили пошаговый дискриминантный анализ с последовательным включением признаков.

Достоверные различия образцов по группам были получены по признакам: «степень развития пергаментного слоя и волокна», «высота растения» (травостоя), «длина боба» и «тип поверхности семян». Вклад в дискриминантную функцию длины растения, массы 1000 семян, длины вегетационного периода и семенной продуктивности был ниже порога включения, поэтому эти признаки были исключены из исследования.

При анализе признаков, имеющих наибольшее значение для классификации образцов, последним вошедшим

признаком была высота травостоя $F(1,310) = 14,32$ $p < 0,0002$. Значение лямбды Уилкса – 0,073. Приближенное значение F-статистики, связанное с лямбдой Уилкса, – $F(4,310) = 985,87$ $p < 0,0000$.

В результате этого анализа нами были рассчитаны функции классификации, по которым можно вычислить классификационные значения для вновь поступивших в исследование (в коллекцию) образцов (табл. 4). По ним даже по одному году исследования, имея данные по четырем признакам, можно классифицировать образцы по овощному или зерновому типу использования.

Функции классификации:

зерновые сорта = $0,36 S + 14,09 P + 0,50 L_b + 0,24 H - 34,69$;

овощные сорта = $23,42 S + 6,58 P + 0,73 L_b + 0,14 H - 38,86$,

где: S – тип поверхности семян, P – степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, H – высота травостоя, L_b – длина боба.

Таблица 4. Функции классификации для групп, выделенных по направлению использования образцов
Table 4. Classification functions for groups identified according to the use of accessions

Признак	Код	Классификационное значение	
		Зерновые сорта	Овощные сорта
Тип поверхности семян	S	0,36	23,42
Степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба	P	14,09	6,58
Длина боба	L _b	0,50	0,73
Высота растения (травостоя)	H	0,24	0,14
Константа		-34,69	-38,86

Новый образец будет относиться к тому направлению, для которого классификационное значение будет максимально.

Суммируя данные, полученные в результате однофакторного дисперсионного, факторного и дискриминантного анализов, можно сказать, что самыми важными признаками, дифференцирующими сорта по типам использования (овощному и зерновому), являются признаки: тип поверхности семян, степень развития волокна и пергаментного слоя створках боба, длина боба и высота растения (травостоя).

Корреляционный анализ, проведенный одновременно для всех образцов и отдельно для сортов овощного и зернового направления использования, выявил значительные различия во взаимосвязях между изученными признаками.

Сравнение трех z-преобразованных корреляционных матриц (рассчитанных для овощных, зерновых и всех образцов) показало, что по структуре корреляций они сходны на 43,0%, различны – на 38,0%. Эти данные говорят о существенной разнице структуры связей между признаками у образцов из разных групп.

Для детального анализа систем взаимосвязей между признаками были построены корреляционные кольца (Terentyev, 1959; Schmidt, 1984), которые представлены на рисунке 4. Все показатели r были статистически значимы при $p < 0,01$.

В матрице, рассчитанной для всех образцов, отражающей корреляции, характерные для вида в целом, графически представленной на рисунке 4, выделяются три корреляционные плеяды (наиболее сильно взаимосвязанные группы признаков). В первую плеяду входят длина боба, тип поверхности семян, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба и высота травостоя ($0,7 < r < 0,9$), во вторую – корреля-

ция между длиной растения и продолжительностью вегетационного периода ($r = 0,6$), в третью – масса 1000 семян и продуктивность ($r = 0,4$). Довольно близка к ней по структуре взаимосвязей признаков матрица корреляций у овощных образцов, в ней сохраняются три корреляционные плеяды, но в первой исчезают связи между типом поверхности семян и другими признаками. Зато во второй появляются корреляции между семенной продуктивностью, длиной растения и длиной боба. У зерновых сортов также присутствуют корреляции, аналогичные для вида (связи между признаками второй и третьей плеяды), однако полностью отсутствуют ассоциации, характерные для первой плеяды.

Существенные различия по структуре корреляций наблюдаются и в связях продуктивности семян с растения с другими признаками: так, у овощных сортов она коррелирует с длиной главного стебля ($r = 0,5$), массой тысячи семян ($r = 0,4$) и длиной боба ($r = 0,4$), а у зерновых – только с крупносемянностью ($r = 0,4$).

В то же время, в отличие от овощных сортов, у зерновых существует взаимосвязь между длиной вегетационного периода и длиной боба ($r = 0,4$). Кроме того, у овощных сортов имеется отрицательная корреляция между крупносемянностью и длиной боба ($r = -0,5$), а у зерновых – положительная ($r = 0,3$).

По уровню связей между признаками рассматриваемые матрицы довольно близки. Небольшая разница наблюдается только по силе корреляции между длиной вегетационного периода и длиной растения: у зерновых сортов она немного слабее ($r = 0,5$), чем у овощных ($r = 0,6$).

Таким образом, несмотря на сходство структуры и силы корреляций признаков, влияющих на продуктивность семян с растения у овощных и зерновых образцов,

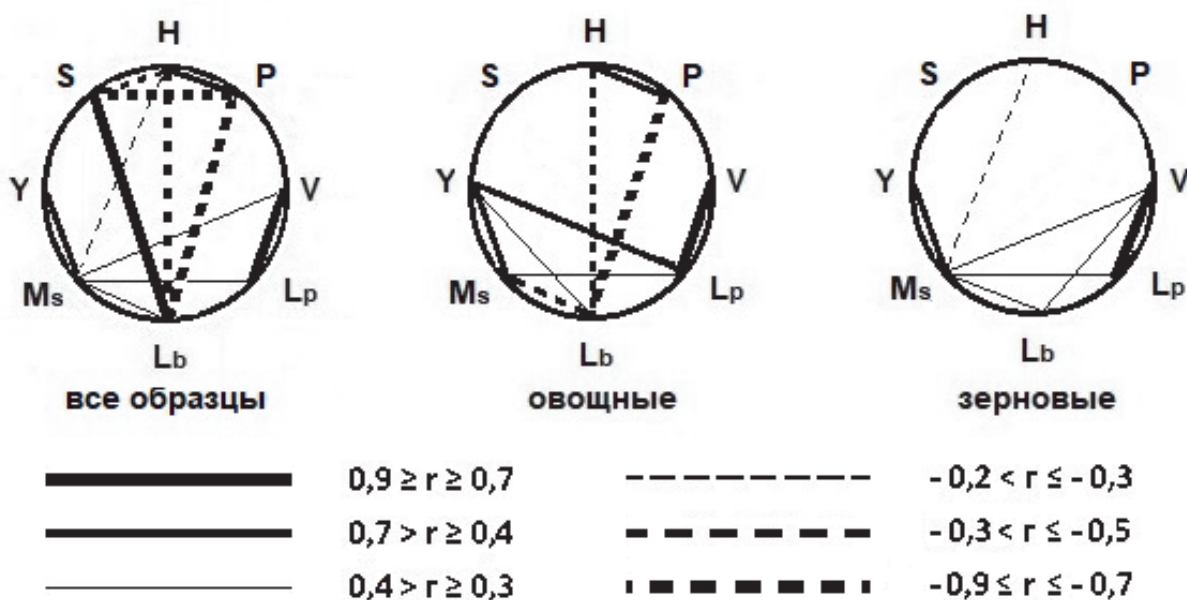


Рис. 4. Изменчивость структуры корреляций у овощных и зерновых образцов вигны:
 Н – высота травостоя; V – длина вегетационного периода; L_p – длина растения; L_b – длина боба;
 M_s – масса 1000 семян; Y – продуктивность семян с растения; S – тип поверхности семян;
 P – степень развития волокна и пергаментного слоя в створках боба

Fig. 4. Variability of the structure of correlations in vegetable and grain cowpea accessions:
 Н – grass stand height; V – duration of the growing season; L_p – plant height; L_b – pod length; M_s – 1000 seed weight;
 Y – seed productivity per plant; S – seed coat surface type; P – presence of fibers and sclerenchyma layer cells in pod valves

существуют и важные отличия. Так, продуктивность у зерновых сортов в большей степени связана с массой 1000 семян, а у овощных она зависит также и от длины растения и длины бобов.

В большинстве статей, изучающих корреляции семенной продуктивности вигны с другими признаками, авторы указывают на ее сильную зависимость от числа бобов на растении (Sharma et al., 2017; Asadova, 2019; Gurkina, 2019; Kalambe et al., 2019; Nkhoma et al., 2020). По другим признакам, связанным с продуктивностью, представлены разноречивые данные.

Если рассмотреть работы, в которых проводилось изучение корреляций по изученным нами признакам, можно увидеть диаметрально противоположные результаты. Так, при исследовании 30 образцов в Азербайджане наблюдалась сильная корреляция между массой семян с растения и массой 1000 семян ($r = 0,92$) (Asadova, 2019). Аналогичная взаимосвязь продуктивности с массой 100 семян отмечается во многих работах индийских ученых (Sharma et al., 2017; Kalambe et al., 2019, и др.). В Астраханской области при анализе 33 сортов эта ассоциация не была выявлена ($r = -0,03$) (Gurkina, 2019). Несоответствия результатов, полученных разными исследователями, можно объяснить тем, что в Азербайджане и Индии анализ проводился на зерновых сортах, для которых масса 1000 семян – один из важных элементов продуктивности; в Астраханской области – на овощных, причем, судя по слабой связи продуктивности с формой куста и длиной растения ($r = 0,29$), только на образцах с полу- и детерминантным типом роста, то есть на образцах, выравненных по большинству морфологических признаков. В нашем исследовании 315 образцов, представляющих значительное разнообразие культуры по типу куста, длине растения и другим морфологическим характеристикам, взаимосвязь продуктивности и массы 1000 семян имела средний уровень как у овощных, так и у зерновых сортов ($r = 0,40$).

Разноречивые данные представлены в статьях и по исследованию силы связей между семенной продуктивностью и длиной боба. Во многих из них отмечается значимая генотипическая корреляция между этими признаками (Sapara, Javia, 2014; Meena et al., 2015; Nkhoma et al., 2020). Несмотря на средний уровень этой связи, большинство авторов описывают эту ассоциацию как стабильную и важную для селекции высокоурожайных сортов. Нами подобная взаимосвязь была обнаружена только у овощных сортов. К сожалению, из публикаций трудно понять из какой группы сортов, *unguiculata* или *sesquipedalis*, изучались образцы, поэтому невозможно с полной уверенностью сказать, что наши результаты аналогичны.

Обобщая собственные данные и результаты других исследователей, можно заключить, что структура и сила взаимосвязей элементов семенной продуктивности вигны достаточно лабильна, зависит от климатических и экологических условий, от объема выборки, от принадлежности образца к определенной группе сортов (cultivar group).

Структура и сила корреляций между исследованными нами признаками у овощных и зерновых образцов неодинакова и имеет свои особенности, которые нужно учитывать в селекции сортов, специализированных по направлению использования. В жарком засушливом климате Астраханской области признаком – индикатором высокой семенной продуктивности у зерновых сортов является масса 1000 семян, у овощных, независимо от длины растения, – длина боба и масса 1000 семян.

Заключение

На основе полевой оценки образцов и статистического анализа изученных признаков выявлена достоверность различий между зерновыми и овощными сортами по следующим характеристикам: тип поверхности семян, степень развития пергаментного слоя и волокна в створках боба, длина боба и высота травостоя. Признаком, идентифицирующим овощные сорта по семенам, являются углубления (продольные штрихи) на поверхности семенной кожуры.

Для групп сортов *unguiculata* и *sesquipedalis* рассчитаны дискриминантные функции, по которым можно идентифицировать и классифицировать сорта по направлениям использования. По данным функциям можно определить принадлежность образца, когда это трудно сделать глазомерно, так как параметры изучаемых признаков нередко имеют пограничные значения и частично перекрываются, что значительно облегчит исследователям, селекционерам и кураторам коллекций работу с генетическими ресурсами *Vigna unguiculata*.

Установленные различия в структуре взаимосвязей семенной продуктивности с другими хозяйственно ценными признаками у зерновых и овощных сортов позволят более эффективно использовать генофонд вигны и подбирать исходный материал для улучшения культуры. В условиях аридного климата для селекции высокоурожайных зерновых сортов следует отдавать предпочтение образцам с высокой массой 1000 семян, а при создании овощных – крупносемянным и длинноплодным.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0002 «Научное обеспечение эффективного использования мирового генофонда зернобобовых культур и их диких родичей коллекции ВИР».

This study was implemented within the framework of the State Task in accordance with the topical plan of VIR for Project No. 0662-2019-0002 "Scientific support for effective utilization of the global genetic diversity of grain legume crops and their wild relatives from the VIR collection".

References / Литература

- Asadova A.I. The breeding value of *Vigna* (*Vigna Savi*) initial material in Azerbaijan. *Grain Economy of Russia*. 2019;3(63):59-63. [in Russian] (Асадова А.И. Селекционная ценность исходного материала вигны (*Vigna Savi*) в Азербайджане. *Зерновое хозяйство России*. 2019;3(63):59-63). DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-59-63
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A. Studies of long-podded cowpea from VIR collection and the prospects of its cultivation in Russia. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;(1):45-48. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А. Изучение спаржевой вигны из коллекции ВИР и перспективы ее возделывания в России. *Земледелие*. 2015;(1):45-48).
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Kiseleva N.A. International descriptors for species of the genus *Vigna Savi*. (Mezhdunarodny klassifikator vidov roda *Vigna Savi*). St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Киселева Н.А.

- Международный классификатор видов рода *Vigna* Savi. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).
- Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Perchuk I.N., Miroshnichenko E.V. New varieties of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) and prospects of their cultivation in southern Russia. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;(5):33-37. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Перчук И.Н., Мирошниченко Е.В. Новые сорта вигны (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) овощного использования, перспективные для возделывания в южных регионах России. *Овощи России*. 2019;(5):33-37). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-33-37
- Efremova M.E., Dutov V.N., Lobankova O.Yu. Features of cultivation of cowpea (*Vigna*) in the zone of unstable humidification. *Novosti nauki v APK = Science News in the Agro-Industrial Complex*. 2019;3(12):436-439. [in Russian] (Ефремова М.Е., Дутов В.Н. Лобанкова О.Ю. Особенности выращивания вигны (*Vigna*) в условиях зоны неустойчивого увлажнения. *Новости науки в АПК*. 2019;3(12):436-439). DOI: 10.25930/2218-855X/110.3.12.2019
- Fotev Yu.V., Belousova V.P. Variability of traits in cowpea accessions in Siberia (Izmenchivost' priznakov sortoobraztsov vigny v Sibiri). *Vegetable Crops of Russia*. 2010;3(9):32-36. [in Russian] (Фотев Ю.В., Белусова В.П. Изменчивость признаков сортообразцов вигны в Сибири. *Овощи России*. 2010;3(9):32-36).
- Gurkina M.V. Variability and correlations of economically valuable traits in cowpea from the VIR collection in the environments of Astrakhan Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):59-65. [in Russian] (Гуркина М.В. Изменчивость и связи хозяйственно ценных признаков спаржевой вигны из коллекции ВИР в условиях Астраханской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):59-65). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-59-65
- Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennyuyu biologiyu). Petrozavodsk; 2003. [in Russian] (Ивантер Е.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск; 2003).
- Kalambe A.S., Wankhade M.P., Deshmukh J.D., Chavan B.R., Shinde A.V. Correlation studies in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019;8(3):321-323. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i6k.10857
- Maxted N., Mabuza-Dlamini P., Moss H., Padulosi S., Jarvis A., Guarino L. An ecogeographic survey: African *Vigna*. Rome: IBPGR; 2004.
- Meena H.K., Ram Krishna K., Singh B. Character associations between seed yield and its components traits in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2015;49(6):567-570. DOI: 10.18805/ijare.v49i6.6688
- Nkhoma N., Shimelis H., Laing M.D., Shayanowako A., Mathew I. Assessing the genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm collections using phenotypic traits and SNP markers. *BMC Genetics*. 2020;21(1):110. DOI: 10.1186/s12863-020-00914-7
- Pavlova A.M. Cowpea (*Vigna*). In: *Flora of cultivated plants. Vol. 4. Grain legumes*. Moscow; Leningrad; 1937. p.623-646. [in Russian] (Павлова А.М. Вигна. В кн.: *Культурная флора СССР. Зерновые бобовые. Т. 4*. Москва; Ленинград; 1937. С.623-646).
- Pienaar B.J., van Wyk A.E. The *Vigna unguiculata* complex (Fabaceae) in southern Africa. *South African Journal of Botany*. 1992;58(6):414-429. DOI: 10.1016/S0254-6299(16)30788-8
- RIHMI-WDC. Technology of Aisori: Site of technology (FGBU "VNIIGMI-MTsD". Tekhnologii Aisori: sayt tekhnologii). 2014. [in Russian] (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Технологии Аисори: сайт технологии. 2014). URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> [дата обращения: 25.04.2018].
- Rostova N.S. Correlations: structure and variability. In: *Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. Ser. 1. Vol. 94*. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2002. [in Russian] (Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. В кн.: *Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 1. Т. 94*. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2002).
- Sapara G.K., Javia R.M. Correlation and path analysis in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *International Journal of Plant Sciences*. 2014;9(1):138-141.
- Schmidt V.M. Mathematical methods in botany (Matematicheskiye metody v botanike). Leningrad: Leningrad State University; 1984. [in Russian] (Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Ленинград: Ленинградский государственный университет; 1984).
- Sharma P.P., Baranda B., Haritwal S., Sharma M. Character association for seed yield and its components in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(9):967-975. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.609.117
- Shuaibova N.Sh., Khabibov A.D., Omarova P.A. Comparative analysis of the variable structure of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. morphological features in the conditions of lowland Dagestan. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2020;57(1):128-137. [in Russian] (Шуайбова Н.Ш., Хабибов А.Д., Омарова П.А. Сравнительный анализ структуры изменчивости морфологических признаков сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в условиях равнинного Дагестана *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2020;57(1):128-137).
- Silva A.C., Santos D., Junior D.L.T., Silva P.B., Santos R.C., Siviero A. Cowpea: a strategic legume species for food security and health. In: J.C. Jimenez-Lopez, A. Clemente (eds). *Legume Seed Nutraceutical Research*. London: IntechOpen; 2018. p.47-65. DOI: 10.5772/intechopen.79006
- Smýkal P., Coyne C.J., Ambrose M.J., Maxted N., Schaefer H, Blair M.W. et al. Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015;34(1-3):43-104. DOI: 10.1080/07352689.2014.897904
- Terentyev P.V. Method of correlation Pleiades (Metod korrelyatsionnykh pleyad). *Vestnik Leningradskogo universiteta. Seriya "Biologiya" = Bulletin of Leningrad University. Series "Biology"*. 1959;2(9):35-42. [in Russian] (Терентьев П.В. Метод корреляционных плеяд. *Вестник Ленинградского университета. Серия «Биология»*. 1959;2(9):137-141).
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.A., Burlyayeva M.O., Semenova E.V., Aleksandrova T.G., Yan'kov I.I., Egorova G.P., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying. Guidelines. 2nd ed. M.A. Vishnyakova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.А., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Булын-

цев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания. 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5

Zhuzhukin V.I., Bagdalova A.Z. Vigna – a valuable food crop for the Lower Volga region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2017;(11):30-35. [in Russian] (Жужукин В.И., Багдалова А.З. Вигна – ценная продовольственная культура для нижнего Поволжья. *Успехи современного естествознания*. 2017;(11):30-35).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Бурляева М.О., Гуркина М.В., Мирошниченко Е.В. Применение многомерного анализа для выявления взаимосвязей хозяйственно ценных признаков вигны и дифференциации сортов по овощному и зерновому направлениям использования. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):36-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Miroshnichenko E.V. Application of multivariate analysis to identify relationships among useful agronomic characters of cowpea and differentiation of cultivars for vegetable and grain uses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):36-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-36-47

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-36-47>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Burlyayeva M.O. <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Gurkina M.V. <https://orcid.org/0000-0001-6169-6089>

Miroshnichenko E.V. <https://orcid.org/0000-0002-3171-4968>