

АГРОНОМИЯ

- 4.1.1 Общее земледелие и растениеводство
4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология

Научная статья
УДК 57.087.1:635.655
doi: 10.28983/asj.y2024i12pp85-91

Кластерный и факторный анализ морфофизиологических признаков сортообразцов сои

**Дмитрий Андреевич Тобольнов, Наталья Викторовна Степанова,
Константин Евгеньевич Денисов, Федор Петрович Четвериков**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,
г. Саратов, Россия
e-mail: tobolnow4545@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты селекционной работы по сое, ориентированной на детальное изучение взаимосвязей морфометрических признаков с целью оптимизации периода создания конкурентоспособных, высокоадаптивных сортов, новых по генетической структуре. В изучение было включено 43 сортообразца сои селекции российских научных учреждений. По средним показателям признаков сортообразцов составлена матрица данных для проведения корреляционного анализа. Изучаемый материал на основании кластерного анализа сгруппирован на 13 кластеров, что подтверждено статистической обработкой. Полученные коэффициенты корреляции сгруппированы в шесть гипотетических факторов, вклад которых в накапливаемую дисперсию составил более 5 %. Представлена общая оценка изменчивости признаков изучаемой модельной популяции, отмечено слабое варьирование по показателям содержания в семенах протеина (3,43 %), жира (6,89 %), золы (7,01 %), клетчатки (4,26 %) и БЭВ (5,26 %). Средним варьированием характеризовались показатели высоты растений (16,91 %) и массы 1000 семян (14,55 %). К сильно варьирующим отнесены высота прикрепления нижнего боба (30,80 %), число продуктивных узлов (50,10 %), число бобов с растения (43,59 %), число семян (39,18 %) и урожайность (39,10 %). При критическом значении коэффициента корреляции на 5 %-ном 0,304 установлена корреляция числа продуктивных узлов с числом бобов ($r = 0,85$), числом семян ($r = 0,52$), урожайностью ($r = 0,52$); числа бобов на растении с числом семян ($r = 0,47$), урожайностью ($r = 0,47$) и содержанием БЭВ в семенах ($r = 0,35$). Факторные нагрузки модельной популяции сои (Z1-Z4) составила 74,8 %, причем на первый фактор приходится 3,56 %.

Ключевые слова: соя; качество семян; урожайность; изменчивость; признак; кластерный и факторный анализ

Для цитирования: Тобольнов Д. А., Степанова Н. В., Денисов К. Е., Четвериков Ф. П. Кластерный и факторный анализ морфофизиологических признаков сортообразцов сои // Аграрный научный журнал. 2024. № 12. С. 85–91. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i12pp85-91>.

AGRONOMY

Original article

Cluster and factor analysis of morphophysiological characteristics of soybean varieties

Dmitry A. Tobolnov, Natalia V. Stepanova, Konstantin E. Denisov, Fedor P. Chetverikov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail: tobolnow4545@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of soybean breeding work focused on a detailed study of the interrelationships of morphometric characteristics in order to optimize the period of creation of competitive, highly adaptive varieties, new in genetic structure. 43 varieties of soybeans selected by Russian scientific institutions were included in the study. According to the average indicators of the varietal characteristics, a data matrix has been compiled for correlation analysis. The studied material is grouped into 13 clusters based on cluster analysis, which is confirmed by statistical processing. The obtained correlation coefficients are grouped into six hypothetical factors, the contribution of which to the accumulated variance was more than 5 %. A general assessment of the variability of the characteris-



tics of the studied model population is presented, a slight variation in the content of protein (3.43 %), fat (6.89 %), ash (7.01 %), fiber (4.26 %) and BEV (5.26 %) in seeds is noted. The average variation was characterized by plant height (16.91 %) and weight of 1000 seeds (14.55 %). The height of attachment of the lower bean (30.80 %), the number of productive nodes (50.10 %), the number of beans from the plant (43.59 %), the number of seeds (39.18 %) and yield (39.10 %) are highly variable. At a critical correlation coefficient value of 5 % 0.304, the correlation of the number of productive nodes with the number of beans ($r = 0.85$), the number of seeds ($r = 0.52$), yield ($r = 0.52$); the number of beans per plant with the number of seeds ($r = 0.47$), yield ($r = 0.47$) and the content of BEV in seeds ($r = 0.35$). The factor loadings of the soybean model population (Z1-Z4) were 74.8 %, with the first factor accounting for 3.56 %.

Keywords: soybean; seed quality; yield; variability; trait; cluster and factor analysis

For citation: Tobolnov D. A., Stepanova N. V., Denisov K. E., Chetverikov F. P. Cluster and factor analysis of morphophysiological characteristics of soybean varieties. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(12):85–91. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i12pp85-91>.

Введение. Соя (лат. *Glycine max*) относится к культурам, имеющим первостепенное значение в сельскохозяйственном производстве. Продукты питания, произведенные из семян сои, являются незаменимым компонентом здорового питания, использование которых в повседневном рационе позволит в значительной степени сократить повсеместный дефицит белка и калорий [6]. В связи с этим в последнее время в России и в Приволжском федеральном округе в частности наблюдается интенсивный рост производства сои, востребованной как для внутреннего потребления, так и имеющей высокий экспортный потенциал. Селекционная работа по сое ведется в различных направлениях с применением множества методов и методик [2, 8, 10]. Это изучение и выявление, генотипов, адаптированных к возделыванию на различных почвах, что позволит снизить потери при производстве продукции в стрессовых условиях [11, 15]; селекционная работа по сокращению вегетационного периода, что позволит возделывать скороспелые сорта в северных районах [12–14]. В связи с этим целью исследований являлось изучение коллекционных сортообразцов сои в стрессовых условиях климата Саратовской области и их группировка (кластеризация) по морфологическим признакам, элементам продуктивности и биохимическим показателям семян с последующим выявлением наиболее перспективных генотипов.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись 43 образца сои Российской селекции. Изучаемый материал высевали на делянках в общепринятые оптимальные сроки для данной зоны согласно методике ВИР. Полевой эксперимент был заложен в условиях УНПО «Поволжье» Энгельсского района Саратовской области на среднесуглинистых темно-каштановых почвах. В 2021 г. посев проводили 21 мая, в 2022 г. – 16 мая, в 2023 г. – 19 мая. Повторность опыта трехкратная. Делянки двух рядковые, длина 7,5 м, ширина 1,4 м, междурядья 70 см. Площадь делянки составляла 10,8 м². Размещение систематическое со смещением.

Биохимический анализ семян проводили в лаборатории на кафедре «Растениеводство, селекция и генетика» Вавиловского университета. Кластеризация сортообразцов и факторный анализ изучаемых признаков проведены с использованием программы «AGROS 2.09» [3].

Результаты исследований. Важную роль в селекционной работе играет подбор исходных родительских форм для создания новых сортов [4]. В процессе изучения коллекции проводятся измерения хозяйственно-ценных признаков и определяется биохимический состав семян [1, 5]. Для создания новых объектов интеллектуальной собственности необходимо сгруппировать образцы по определенным показателям (кластеризация).

Группировка кластеров в зависимости от минимума евклидовых расстояний позволяет распределить учетные объекты в сводную матрицу данных и обеспечить определенную систематизацию по признакам, что имеет немаловажное значение при изучении большого объема экспериментального материала по ряду морфологических и биохимических показателей [9].

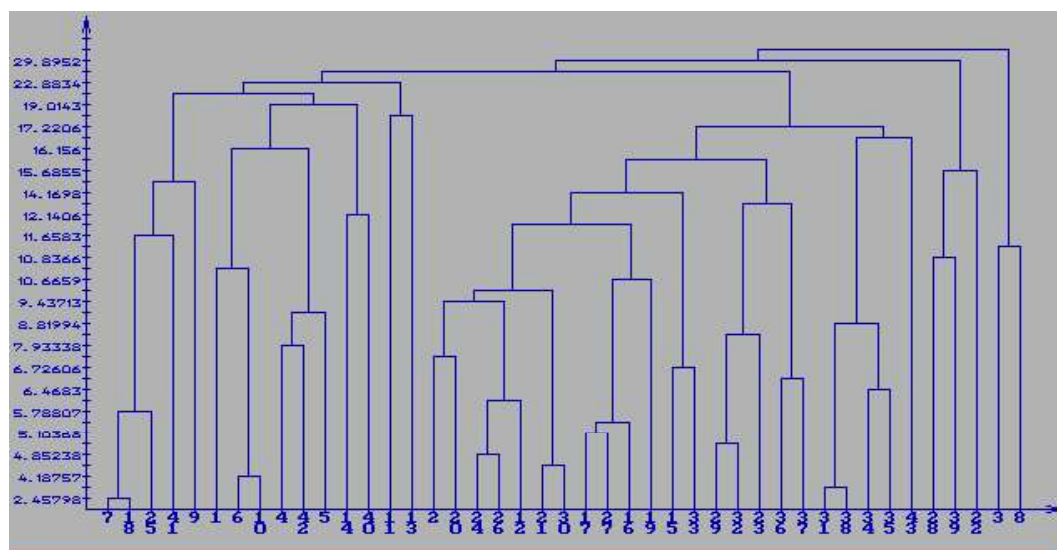
На основании результатов кластеризации коллекционных сортообразцов сои российской селекции по минимуму евклидовых расстояний (среднее значение признаков за 2021–2023 гг.) была сформирована дендрограмма (рисунок 1).

Исходная матрица эмпирических данных построена на основании 86 хозяйственно-ценных признаков. По итогам кластерного анализа на 16 шаге итерации выделено 13 кластеров: 1-й кластер: Ирбис, Колоритная, Весточка, Соер 6, Иристон; 2-й кластер: Мечта, Осмонь, Амазонка; 3-й кластер: Веретейка, Соер 7, Татьяна Рязанцева; 4-й кластер: Топаз, Дуар; 5-й кластер: Пума; 6-й кластер: Таболинская 116; 7-й кластер: Алена, Чира-1, Романо, Свапа, Лидер 1, Мерчен, Мезенка, Волма, Зуша, Волгоградская 2, Марина, Чародейка, Персона; 8-й кластер: Ланцетная, Евгения, Дуниза, Вейделевская 17, Самер 4;



9-й кластер: ВНИИОЗ 11, Самер 5, Уркан, Антон Толпышев; 10-й кластер: Проня; 11-й кластер: Красивая Меча, Покровская; 12-й кластер: Цивиль; 13-й кластер: Амурская 2113, Учитель.

Достоверность различий между кластерами по основным изученным показателям подтверждена методами статистической обработки экспериментальных данных.



Примечание: 1 – Мечта; 2 – Алена; 3 – Амурская 2113; 4 – Веретейка; 5 – Татьяна Рязанцева; 6 – Осмонь; 7 – Ирбис; 8 – Учитель; 9 – Иристон; 10 – Амазонка; 11 – Пума; 12 – Лидер 1; 13 – Таболинская 116; 14 – Топаз; 15 – Чародейка; 16 – Волгоградская 2; 17 – Волма; 18 – Колоритная; 19 – Марина; 20 – Чира – 1; 21 – Мерчен; 22 – Цивиль; 23 – Дуниза; 24 – Романо; 25 – Восточка; 26 – Свапа; 27 – Зуша; 28 – Красивая Меча; 29 – Ланцетная; 30 – Мезенка; 31 – ВНИИОЗ 11; 32 – Евгения; 33 – Персона; 34 – Уркан; 35 – Антон Толпышев; 36 – Вейделевская 17; 37 – Самер 4; 38 – Самер 5; 39 – Покровская; 40 – Дуар; 41 – Соер 6; 42 – Соер 7; 43 – Проня

Рисунок 1 – Группировка сортообразцов сои Российского происхождения по кластерам, 2021–2023 гг.

Figure 1 – Grouping of soybean varieties of Russian origin by clusters, 2021–2023

Корректность распределения сортообразцов по кластерам подтверждена результатами дисперсионного анализа (таблица 1).

Проведенные статистические расчеты выявили отсутствие значимых различий по содержанию золы в зерне. Оценка параметров высоты растений выявила вариацию данного признака у изучаемых образцов от 55,7 до 103,9 см. По данному признаку некоторые сортообразцы попали в следующие кластеры 5, 11 и 12. Высота прикрепления бобов варьировала от 6,6 до 22,6 см (кластеры – 4, 11 и 12). По признаку масса 1000 семян выявили вариацию от 101,8 до 170,6 г (кластеры 4, 10, 13). Изучаемые образцы сформировали урожайность в интервале варьирования от 0,97 до 6,73 т/га (кластеры 2,6 и 10).

Группировка сортов по кластерам показала, что в первый кластер входят образцы со средними параметрами морфологических признаков и с наибольшим содержанием протеина и БЭВ. Во второй кластер вошли образцы со средней высотой растений, относительно крупным зерном, максимальным содержанием клетчатки в зерне и наибольшей урожайностью. В третий кластер входят сортообразцы с максимальной вариацией признаков (число бобов, высота прикрепления бобов и число продуктивных стеблей). Сортообразцы, относящиеся к четвертому кластеру, характеризуются большим количеством семян и относительно небольшой массой 1000 семян, а также средней урожайностью и высоким содержанием клетчатки в семенах. В пятый кластер сгруппированы высокорослые и более продуктивные образцы, характеризующиеся высоким содержанием протеина и жира, а также БЭВ. Существенными различиями характеризуется шестой кластер (61) по таким признакам, как число семян, бобов, величина урожайности и качественным показателям семян. Сортообразцы, включенные в седьмой кластер, характеризуются меньшим количеством различий хозяйственно-ценных признаков по сравнению с другими кластерами. Сортообразцы, отличившиеся высоким содержанием протеина и клетчатки в семенах, сгруппированы в восьмом кластере. Коллекционные образцы, выделившиеся по таким параметрам, как высота прикрепления боба, число продуктивных растений на единицу площади, число семян с растения и урожайность, отнесены к девятому кластеру. Для сортообразцов этого кластера характерны средние значения признаков и наибольшие значения массы 1000 семян.



Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа сгруппированных по кластерам коллекционных образцов сои по основным хозяйственно-ценным признакам, 2021–2023 гг.

Таблица 1 – Results of analysis of variance of collection soybean samples grouped into clusters according to the main economically valuable traits, 2021-2023

Кластер	Высота		Число продуктивных растений, шт./м ²	Число бобов, шт.	Число семян, шт.	Масса 1000 зерен, г.	Урожайность семян, т/га	Биохимический состав, %				
	растений при созревании, см.	прикрепления боба, см.						протеин	жир	клетчатка	зола	БЭВ
1	60,4 a	10,1bc	21,3bcdef	61,6abc	90,2cde	155,3efg	3,79cde	29,19abc	18,93a	8,22b	5,75	37,92e
2	64,4 ab	11,2cde	30,7fg	73,9bcd	131,8fg	151,9efg	5,54fg	28,76ab	19,87ab	9,41e	6,14	35,81bcde
3	58,6 a	6,6a	35,0g	104,7e	92,2cde	123,0abcd	3,87cde	28,06ab	20,62b	8,73bcde	6,14	36,46de
4	63,9 ab	16,5fg	23,6def	60,9abc	93,2cde	101,8a	3,91cde	28,81ab	20,11ab	9,12cde	5,97	35,99cde
5	78,8 bc	7,5ab	28,6efg	82,4cde	107,7def	137,5cdef	4,52def	28,74ab	21,56bcd	6,74a	5,97	36,99de
6	63,4 ab	11,6cde	27,8efg	89,7de	160,2g	129,3bcde	6,73g	28,33ab	22,44cd	8,26b	5,62	35,35abcd
7	61,52 a	9,9abc	15,7abcd	50,2ab	64,3bc	147,1defg	2,70bc	28,52ab	22,68d	8,95bcde	6,22	33,63ab
8	69,8 abc	11,7cde	12,8ab	43,9a	67,3bc	151,5efg	2,83bc	30,50c	20,76bc	9,23e	6,16	33,36a
9	66,9 ab	14,5efg	11,7a	46,0a	42,9ab	160,1fg	1,80ab	28,36ab	20,90bc	8,29b	6,08	36,36de
10	55,7 a	8,4abc	22,8cdef	41,9a	23,0a	103,3ab	0,97a	28,60ab	21,34bcd	8,71bcde	5,95	35,40abcd
11	84,0 c	17,6g	20,6abcde	52,8ab	113,2ef	170,6g	4,76ef	29,46bc	21,09bcd	9,16de	6,29	34,01abc
12	103,9 d	22,6h	13,2ab	58,9abc	69,7bc	164,2fg	2,93bc	27,87a	21,56bcd	8,82bcde	6,34	35,41abcd
13	65,7 ab	13,8def	51,5h	147,3f	95,7cde	114,4abc	4,02cde	27,68a	21,55bcd	9,16e	6,09	35,51abcd
F _{факт.}	3,35*	10,82*	12,65*	12,24*	8,13*	4,93*	8,13*	3,00*	6,59*	4,33*	1,95	6,06*
HCP _{0,05}	14,32	3,03	8,44	22,23	29,97	24,12	1,26	1,32	1,51	0,74	–	1,98

Сортообразцы, вошедшие в десятый кластер, характеризуются высоким содержанием жира в семенах при средних значениях по всем остальным изученным признакам. Для одиннадцатого кластера характерны различия по 12 параметрам. В эту группу вошли сортообразцы с наибольшей высотой растений и максимальными параметрами массы 1000 семян, а также с урожайностью семян и с высокими биохимическими параметрами. Наибольшим количеством различий по высоте растений и прикреплению бобов (12) характеризуется двенадцатый кластер. Кроме того, растения данного кластера выделались по крупности зерна и хорошим биохимическим показателям. Сортообразцы, относящиеся к тринадцатому кластеру, характеризовались наибольшим числом продуктивных растений и бобов, средней урожайностью семян и высоким содержанием клетчатки и золы в семенах.

Факторный анализ по методу главных компонентов. При создании новых объектов существенное внимание уделяется формированию модели сорта с определенными заданными параметрами признаков, что определяет в дальнейшем направление использования полученных образцов. В связи с этим необходимо уделить внимание конструированию модели сорта.

Изучение различных образцов во взаимосвязи с различными параметрами формирования хозяйственно-ценных признаков имеет решающее значение в селекции. При анализе значительных цифровых массивов и матриц данных необходимо выявить корреляционные связи между изучаемыми признаками [9].

Формирование корреляционной модели взаимосвязей различных параметров растений основано в первую очередь на группировке корреляционных коэффициентов в гипотетические факторы. Это способствовало проведению оценки по взаимодействию ряда признаков, вошедших в ряд данных. По итогам статистической обработки экспериментальных данных отмечено 6 факторов, вклад которых в накапливаемую дисперсию составил более 5%. На основании коэффициента варьирования изучаемых показателей модельной популяции сои установлена изменчивость в достаточно широких диапазонах ($V > 20,0\%$) по таким признакам, как высота прикрепления бобов, число продуктивных узлов, число бобов и семян, а также урожайность семян (рисунок 2). Высота растений и масса 1000 семян относятся в наших исследованиях к средневарьирующим признакам ($20,0\% > V > 10,0\%$). Группировка данных по содержанию биохимических показателей выявила слабую вариацию в опыте ($V < 10,0\%$).

Критическое значение коэффициента корреляции на 5%-м уровне составляет 0,304. Параметр



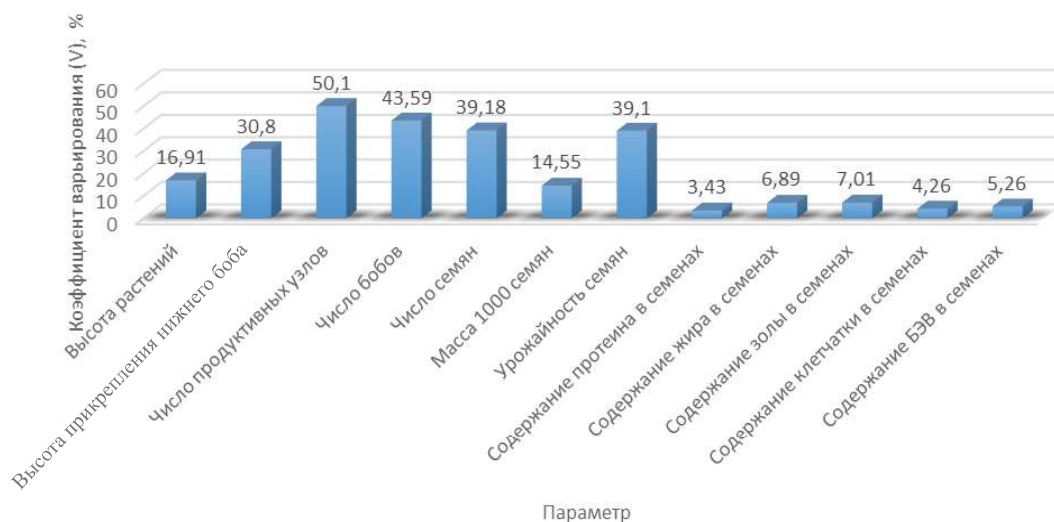


Рисунок 2 – Варьирование параметров модельной популяции сои, 2021–2023 гг.

Figure 2 – Variation of parameters of a model soybean population, 2021–2023

тры высоты растений достоверно коррелирует с такими признаками как: высота прикрепления нижнего боба ($r = 0,63$), масса 1000 семян ($r = 0,33$) (таблица 2). Число продуктивных узлов находится в прямой зависимости от числа бобов ($r = 0,85$), числа семян ($r = 0,52$), урожайности семян ($r = 0,52$). Число бобов на растении коррелирует с числом семян ($r = 0,47$), урожайностью ($r = 0,47$) и содержанием БЭВ в семенах ($r = 0,35$), содержание жира и золы в семенах положительно коррелирует с содержанием клетчатки в семенах ($r = 0,36$).

Таблица 2 – Матрица коэффициентов корреляции параметров коллекционных сортов сои, 2021–2023 гг.

Table 2 – Matrix of correlation coefficients of parameters of collection soybean varieties, 2021–2023

	Признак**												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1,00												
2	0,63*	1,00											
3	-0,08	-0,16	1,00										
4	0,06	-0,05	0,85*	1,00									
5	0,12	0,01	0,52*	0,47*	1,00								
6	0,33*	0,172	-0,47	-0,38	-0,13	1,00							
7	0,12	0,01	0,52*	0,47*	1,00*	-0,13	1,00						
8	-0,04	-0,03	-0,31	-0,35	-0,03	0,13	-0,03	1,00					
9	0,02	-0,08	-0,21	-0,19	-0,34	0,09	-0,34	-0,24	1,00				
10	0,03	0,11	0,06	-0,02	0,11	-0,09	0,11	0,02	0,12	1,00			
11	0,22	0,112	-0,15	-0,01	-0,18	0,19	-0,18	-0,09	0,36*	0,36*	1,00		
12	-0,04	0,03	0,34*	0,35*	0,28	-0,15	0,28	-0,33	-0,74	-0,49	-0,49	1,00	

* Критическое значение $r_{05} = 0,304$

** 1 – высота растений, 2 – высота прикрепления нижнего боба, 3 – число продуктивных узлов, 4 – число бобов, 5 – число семян, 6 – Масса 1000 семян, 7 – урожайность семян, 8 – содержание протеина в семенах, 9 – содержание жира в семенах, 10 – содержание золы в семенах, 11 – содержание клетчатки в семенах, 12 – содержание БЭВ в семенах.

Анализ факторных нагрузок показал, что общий вклад четырех гипотетических факторов в накапливаемую дисперсию составил 74,8 %, из них 62,95 % отводится на первые три фактора (таблица 3).

В первый фактор значительный вклад (30,56 %) внесли такие признаки, как число продуктивных узлов, число бобов, число семян, урожайность семян, содержание БЭВ в семенах. Высота растений, содержание золы, содержание клетчатки и другие признаки определяют вклад во второй фактор. В третий гипотетический фактор входят высота растений, высота прикрепления нижнего боба, масса 1000 семян – доля их составляет 15,45 %. Содержание протеина, золы и БЭВ в семенах, число семян, урожайность семян в целом составляют вклад на уровне 11,84 % в четвертом гипотетическом факторе.

В результате выявлены характер и величина варьирования признаков изучаемых образцов, установлена степень корреляции признаков.



Таблица 3 – Факторные нагрузки модельной популяции сои, 2021–2023 гг.

Table 3 – Factor loadings of the model soybean population, 2021-2023

Признак	Фактор			
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4
Высота растений, см	-0,05	-0,59	0,62	-0,26
Высота прикрепления нижнего боба, см	-0,09	-0,45	0,63	-0,26
Число продуктивных узлов, шт.	0,82	-0,18	-0,34	-0,13
Число бобов, шт.	0,77	-0,27	-0,25	-0,28
Число семян, шт.	0,77	-0,35	0,14	0,38
Масса 1000 семян, г	-0,45	-0,13	0,53	0,03
Урожайность семян, т/га	0,77	-0,35	0,14	0,38
Содержание протеина в семенах, %	-0,26	0,17	0,25	0,77
Содержание жира в семенах, %	-0,56	-0,33	-0,48	-0,23
Содержание золы в семенах, %	-0,12	-0,61	-0,30	0,37
Содержание клетчатки в семенах, %	-0,40	-0,62	-0,21	-0,12
Содержание БЭВ в семенах, %	0,67	0,46	0,38	-0,34
Дисперсия	3,67	2,03	1,86	1,42
Дисперсия, %	30,56	16,94	15,46	11,84
Накопленная дисперсия, %	30,56	47,50	62,95	74,80

Примечание: Z 1...Z 4 – гипотетический фактор.

Заключение. Кластерный и факторный анализ изучаемых признаков коллекции сортов отечественной селекции позволил провести комплексную оценку изучаемых образцов сои. Выявлена положительная корреляция между такими хозяйственно-значимыми признаками, как высота растений с высотой прикрепления нижнего боба и массой 1000 семян; число продуктивных узлов с числом бобов ($r = 0,85$), числом семян ($r = 0,52$) и урожайностью семян ($r = 0,52$); число бобов на растении с числом семян, урожайностью ($r = 0,47$) и содержанием БЭВ в семенах; содержанием жира и золы в семенах с содержанием клетчатки в семенах. Отмечен вклад урожайности, числа продуктивных узлов, числа бобов, числа семян, содержания БЭВ в семенах в первый фактор; высоты растений, содержания золы и содержания клетчатки во второй фактор; доля высоты растений, высоты прикрепления нижнего боба и массы 1000 семян составила 15,45 % в третьем факторе; в четвертом гипотетическом факторе – содержание протеина, золы и БЭВ в семенах, число семян, урожайность семян составили 11,84 %. В условиях Нижнего Поволжья в качестве исходного материала для селекции новых урожайных и с высокими технологическими качествами сортов сои рекомендуется использовать следующие сортообразцы: по высоте растений – Цивиль, Красивая Меча, Марина, Покровская, Ланцетная, Дуниза, Зара, KG – 30, KG – 80, Легенда; урожайности семян – Мечта, Амазонка, Таболинская 116, Топаз, Покровская.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугрей И. В. Продуктивность сортов и линий сои селекции ФГБНУ ДЗНИИСХ // Современному АПК – эффективные технологии : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Валентины Михайловны Макаровой, Ижевск, 11–14 декабря 2018 года. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 63–67. EDN GNOFNY.
2. Булатова К. А. Изучение исходного материала сои для селекции в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. № 2–4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-ishodnogo-materiala-soi-dlya-selektcii-v-usloviyah-srednego-povolzhya>.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., перераб. и доп. М., 2023. 349 с.
4. Кошкарлова Т. С., Толоконников В. В. Результаты расширенной мобилизации исходного материала для селекции сои на юге России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 184–191. DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-21. EDN UPNNAK.
5. Кошкарлова Т. С., Толоконников В. В., Вронская Л. В. Селекционное улучшение сортов сои на короткостебельность // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 118–126. DOI 10.32786/2071-9485-2022-02-14. EDN JMHPMW.
6. Куц Е. А., Бровкина Т. Я. Агробиологическая оценка сортов сои в условиях Усть-Лабинского района // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ : сб. статей по материалам научно-исследовательских работ: в 4 т. Краснодар, 22–25 марта 2017 года / сост.: Я. Барчукова, Я. К. Тосунов; под ред. А. И. Трубилина, ответственный редактор А. Г. Кошаев. Т. 1. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2017. С. 38–42. EDN VMBOCP.



7. Медведева Л. Н., Бондарик И. Г. Ретроспективный анализ сортов сои Южного экотипа в обеспечении линейки сбалансированного питания // Орошаемое земледелие. 2023. № 4 (43). С. 24–31. DOI 10.35809/2618-8279-2023-4-5. EDN QYSJFV.
8. Методы отечественной селекции. Результаты достижений // Наше сельское хозяйство. 2024. № 17 (337). С. 31–37. EDN GGPIRK.
9. Старчак В. И., Кибальник О. П., Ларина Т. В., Семин Д. С. Метод «главных компонент» в селекции зернового сорго для засушливых условий Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3 (75). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-22-26.
10. Толоконников В. В. Создание высокопродуктивного сорта сои классическими методами селекции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 87–93.
11. Толоконников В. В., Плющева Н. М. Проектирование архитектурной модели растения среднеспелого сорта сои для условий орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 62–71. DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-06. – EDN LRCIAS.
12. Фисенко П. В., Бутовец Е. С. Молекулярно-генетические подходы в селекции сои в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 59. С. 343–353. DOI 10.31676/2073-4948-2019-59-343-353. EDN QOGDXY.
13. Capobianco N. P., Bessa G. B., Peris G. C. d. O., da Silva F. L., Dias D. C. F. d. S., Fernandes R. B.A., da Silva M. F., da Silva, L. J. Performance of seedlings and yield of soybean genotypes under soil compaction. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2024; 210: e12699. <https://doi.org/10.1111/jac.12699>.
14. Rychel-Bielska S., Książkiewicz M., Kurasiak-Popowska D. et al. Molecular selection of soybean towards adaptation to Central European agroclimatic conditions. *J Appl Genetics*. 2024. <https://doi.org/10.1007/s13353-024-00889-6>.
15. Sritongtae C., Monkham T., Sanitchon J., Lodthong, S., Srisawangwong S., Chankaew S., Identification of Superior Soybean Cultivars through the Indication of Specific Adaptabilities within Duo-Environments for Year-Round Soybean Production in Northeast Thailand. *Agronomy*. 2021; 11: 585. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030585>.

REFERENCES

1. Bugray I. V. Productivity of soybean varieties and lines of selection of the FGBNU DZNIISH. *Modern Agro-industrial Complex - Effective Technologies*. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy. 2019:63–67. EDN GNOFNY.
2. Bulatova K. A. Study of soybean source material for breeding in the conditions of the Middle Volga region. *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;(2–4). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-ishodnogo-materiala-soi-dlya-selekcii-v-usloviyah-srednego-povolzhya>.
3. Dosphehov B. A. Methodology of field experience: with the basics of statistical processing of research results. 5th ed., revised and add. Moscow, 2023. 349 p.
4. Koshkarova T. S., Tolokonnikov V. V. Results of expanded mobilization of source material for soybean breeding in the south of Russia. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023;2(70):184–191. DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-21. EDN UPNHAK.
5. Koshkarova T. S., Tolokonnikov V. V., Vronskaya L. V. Breeding improvement of soybean varieties for short stems. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2022;2(66):118–126. DOI 10.32786/2071-9485-2022-02-14. EDN JMHPMW.
6. Kushch E. A., Brovkina T. Ya. Agrobiological assessment of soybean varieties in the conditions of the Ust-Labinsk region. *Bulletin of Scientific and Technical Creativity of youth of the Kuban State Agrarian Universit*. Vol. 1. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina. 2017:38–42. EDN VMBOCP.
7. Medvedeva L.N., Bondarik I.G. Retrospective analysis of soybean varieties of the Southern ecotype in providing a line of balanced nutrition. *Irrigated Agriculture*. 2023;4(43):24–31. DOI 10.35809/2618-8279-2023-4-5. EDN QYSJFV.
8. Methods of domestic selection. Results of achievements. *Our Agriculture*. 2024;17(337):31–37. EDN GGPIRK.
9. Starchak V.I., Kibalnik O.P., Larina T.V., Semina D.S. Method of “principal components” in the selection of grain sorghum for arid conditions of the Lower Volga region. *Grain Economy of Russia*. 2021;3(75):22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-22-26.
10. Tolokonnikov V.V. Creation of a highly productive soybean variety using classical selection methods. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2021;2(62):87–93.
11. Tolokonnikov V.V., Plusheva N.M. Design of an architectural model of a mid-season soybean plant for irrigation conditions. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2024;1(73): 62–71. DOI 10.32786/2071-9485-2024-01-06. EDN LRCIAS.
12. Fisenko P. V., Butovets E. S. Molecular genetic approaches in soybean breeding at the Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika. *Fruit and Berry Growing in Russia*. 2019;(59):343–353. DOI 10.31676/2073-4948-2019-59-343-353. EDN QOGDXY.
13. Capobianco N. P., Bessa G. B., Peris G. C. d. O., da Silva F. L., Dias D. C. F. d. S., Fernandes R. B. A., da Silva M. F., da Silva, L. J. Performance of seeds and yield of soybean genotypes under soil compaction. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2024;210:e12699. Available at: doi.org/10.1111/jac.12699.
14. Rychel-Bielska S., Książkiewicz M., Kurasiak-Popowska D. et al. Molecular selection of soybean towards adaptation to Central European agroclimatic conditions. *J Appl Genetics*. 2024. Available at: doi.org/10.1007/s13353-024-00889-6.
15. Sritongtae C., Monkham T., Sanitchon J., Lodthong, S., Srisawangwong S., Chankaew S., Identification of Superior Soybean Cultivars through the Indication of Specific Adaptabilities within Duo-Environments for Year-Round Soybean Production in Northeast Thailand. *Agronomy*. 2021;(11):585. Available at: doi.org/10.3390/agronomy11030585.

Статья поступила в редакцию 15.09.2024; одобрена после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 01.11.2024.
The article was submitted 15.09.2024; approved after reviewing 28.10.2024; accepted for publication 01.11.2024.

