

ОСОБЕННОСТИ ГРУППИРОВКИ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СОИ ПО ДАННЫМ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И КАЧЕСТВА СЕМЯН МЕТОДОМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

М.А. МАРТЫНОВ, аспирант, научный сотрудник,
ORCID ID: 0009-0005-6539-7349

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР
E-mail: office@vniizbk.ru

Аннотация. В статье изложены результаты изучения кластерного анализа перспективного селекционного материала сои по трехлетним данным структурного анализа и качества семян. В каждом кластере были сгруппированы сорта и селекционные линии в зависимости от количественных признаков структуры урожая и их взаимосвязи. По результатам кластерного анализа сортов и селекционных линий сои были выделены перспективные группы, которые превосходят другие по отдельным характеристикам, что позволит более целенаправленно проводить отбор селекционного материала. Отмечена особенность группировки сортообразцов по таким признакам как группа спелости, характер ветвистости и тип роста. При кластерном анализе по всем изучаемым признакам группировка сортообразцов производилась, в первую очередь, по показателю ветвистости. Выявлено, что при отсутствии признаков, напрямую демонстрирующих характер ветвистости сорта, разбивка по данному показателю была практически однородной.

Ключевые слова: соя, селекционный процесс, структурный анализ, корреляционный анализ, ветвистость.

Для цитирования: Мартынов М.А. Особенности группировки селекционного материала сои по данным структурного анализа и качества семян методом кластеризации. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 4(52):59-66. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-59-66

PECULIARITIES OF GROUPING SOYBEAN BREEDING MATERIAL ACCORDING TO THE DATA OF STRUCTURAL ANALYSIS AND SEED QUALITY BY CLUSTERING METHOD

M.A. Martynov

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GOAT CROPS

Abstract: The article presents the results of the study of cluster analysis of promising soybean breeding material based on three-year data of structural analysis and seed quality. In each cluster, varieties and breeding lines were grouped according to quantitative traits of yield structure and their relationships. Based on the results of cluster analysis of soybean varieties and breeding lines, promising groups that are superior to others in certain characteristics were identified, which will allow for more targeted selection of breeding material. The peculiarity of varietal grouping by such traits as ripeness group, branching character and growth type was noted. In the cluster analysis for all the studied traits, the grouping of cultivars was made, first of all, according to the branching index. It was found that in the absence of traits directly demonstrating the nature of branching of the variety, the breakdown by this indicator was almost homogeneous.

Keywords: soybean, breeding process, structural analysis, correlation analysis, branching.

Введение

Соя является ценной сельскохозяйственной культурой, используемой в пищевых и кормовых целях. Она занимает важное место в производстве благодаря высокой рентабельности и перспективности по ряду ценных хозяйственных характеристик. Ключевым показателем сои является содержание белка в зерне, который по своей биологической ценности занимает первое место среди белков других значимых сельскохозяйственных культур и считается эталоном для растительных белков по качественным характеристикам [1].

Поскольку существует большое количество сортов сои и широкий спектр их признаков, для их обработки и систематизации приобретает особую актуальность применение многомерных статистических методов, таких как кластерный анализ [2]. Методы кластеризации используются в различных научно-технических дисциплинах для решения задач сегментации, позволяя объединять объекты с похожими характеристиками, а также для компрессии больших объемов информации и создания научно обоснованных классификаций [2, 3, 4]. Кластерный анализ представляет собой вид задачи классификации, в которой нет заранее заданных эталонов. Он заключается в группировке объектов в кластеры на основе их схожести, которая оценивается по различным критериям (признакам, характеристикам) [5]. Этот метод применяется для решения множества задач, однако чаще всего его используют для сегментации [6].

Цель работы – на основе кластерного анализа провести группировку различных по морфотипу сортов и новых линий сои и установить зависимость их разбивки на группы, отражающие показатели ветвистости и тип роста, по ряду признаков структурного анализа и качества семян.

Материалы и методы

Закладка полевых опытов проводилась согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова (1985 г.) на почвах опытного поля ФНЦ ЗБК, расположенного в Орловском районе Орловской области. Предшественник – чистый пар.

Зяблевая вспашка проводилась в сентябре на глубину 23-25 см. Весной было проведено боронование средними боронами в два следа, культивация почвы на глубину 6-8 см с последующим прикатыванием кольчато-шпоровыми катками, предпосевная культивация на глубину 5-6 см. Посев широкорядный с междурядьями 45 см.

Почвы опытного участка – тёмно-серые лесные, тяжелосуглинистые, средне окультуренные. Содержание гумуса – 4,71%, что соответствует среднему содержанию. Почвы среднекислые рН_{НС} – 4,9. Содержание подвижных форм фосфора и калия – 225,8 мг/кг (высокое содержание) и 112,2 мг/кг почвы (среднее содержание), соответственно.

Объектами исследований являлись 39 различных по морфотипу и срокам созревания сортообразцов сои отечественной и зарубежной селекции [7].

Посев опытных делянок проведен в 2022 году 26 мая, в 2023 году 11 мая в 2024 году 17 мая. Появление всходов в 2022 году 3 июня, в 2023 году 21 мая, в 2024 году 27 мая. Норма высева – 600 тыс. семян на гектар. Оценка морфологических и хозяйственных признаков проводилась по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1983 г) и Методическим указаниям по изучению коллекции зерновых бобовых культур в фазу R-8 (1975). Измерение содержания протеина и жира семян проводили на приборе Infratec 1241 Grain Analyzer.

Метеорологические условия, на протяжении вегетационного периода растений за 2022...2024 годы были контрастными (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия за вегетационные периоды сои, 2022...2024 гг.

Год	Показатель	Значения показателей по месяцам				
		Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.
2022	Температура, °С	11,5	19,0	19,1	21,8	9,9
	Осадки, мм	52	52	64	34	111
2023	Температура, °С	12,9	17,1	19,2	20,3	15,3
	Осадки, мм	17	56	77	45	0
2024	Температура, °С	12,9	19,5	22,1	21,2	19,0
	Осадки, мм	66	67	79	39	10

Результаты и обсуждение

В посевах 2022...2024 гг. постоянно возделывалось 39 различных по морфотипу и срокам созревания сортообразцов сои. Для проведения кластерного анализа были использованы показатели структурного анализа (количество ветвей, междоузлий, продуктивных узлов, бобов, семян с растения, масса надземной части без семян, масса семян с растения, масса 1000 зерен, высота растения), качества семян (содержание протеина и жира в семенах) и урожайность (рис. 1).

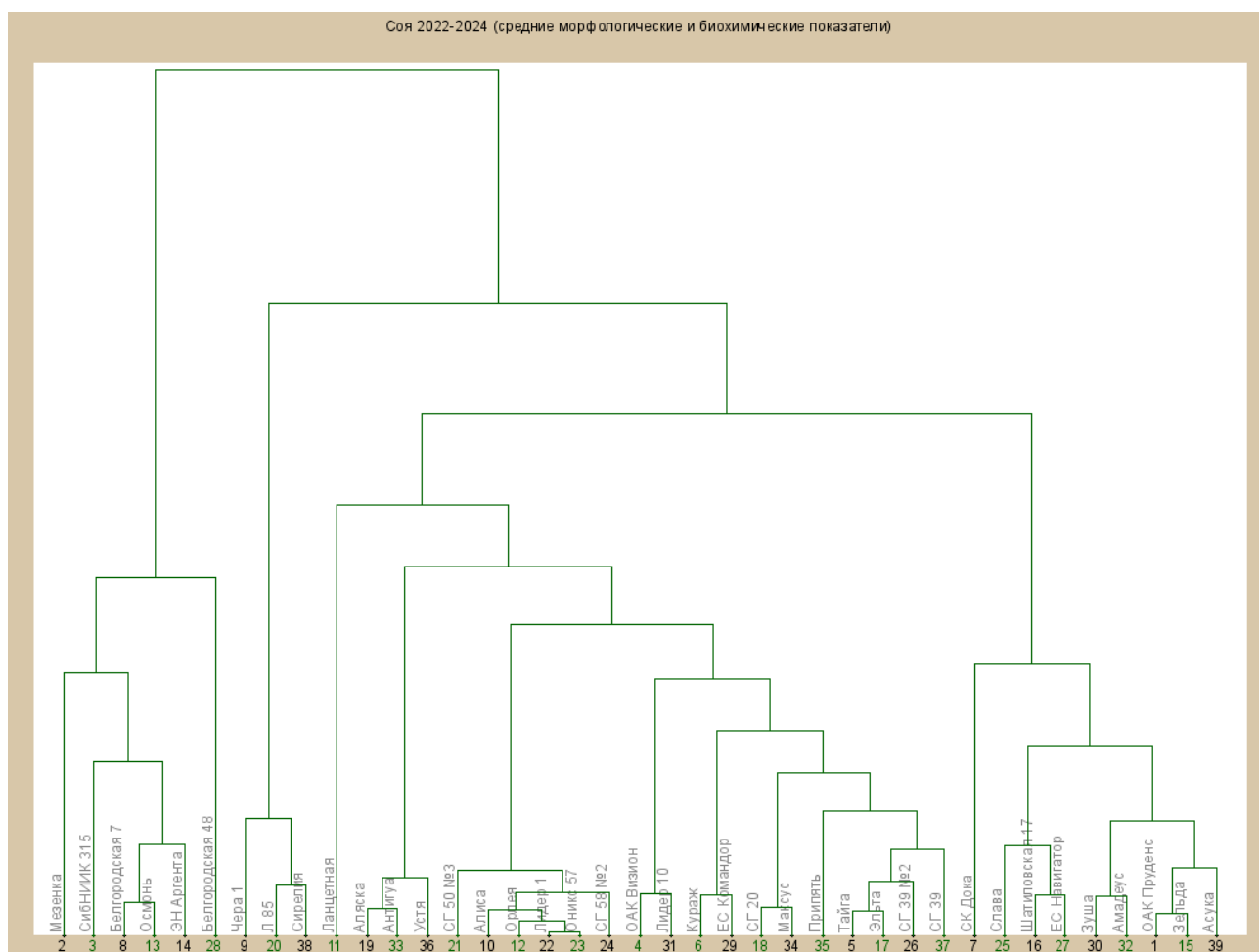


Рис. 1. Дендрограмма кластерного анализа морфологических и биохимических показателей сортов и линий сои, 2022...2024 гг.

В результате кластерного анализа было выделено 9 различных кластеров (табл. 2, 3).

Сформированные кластеры по показателям морфологического и биохимического анализа, 2022...2024 гг.

Сорт, сортообразец	Тип роста	Характер ветвистости	Группа спелости
1 кластер			
Мезенка	Индетерминант	Ветвистый	2
СибНИИК 315	Индетерминант	Ветвистый	2
Белгородская 7	Полудетерминант	Ветвистый	2
Осмонь	Индетерминант	Ветвистый	3
ЭН Аргента	Индетерминант	Ветвистый	3
Белгородская 48	Детерминант	Ветвистый	4
2 кластер			
Чера 1	Детерминант	Ветвистый	2
Л 85	Детерминант	Ветвистый	3
Сирелия	Индетерминант	Ветвистый	4
3 кластер			
Ланцетная	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	2
4 кластер			
Аляска	Детерминант	Ветвистый	3
Антигуа	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
Устя	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	4
5 кластер			
Алиса	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	2
Орлея	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	2
СГ 50 №3	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	3
Лидер 1	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	3
Оникс 57	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	3
СГ 58 №2	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	3
6 кластер			
ОАК Визион	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	2
Тайга	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	2
Кураж	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	2
Эльта	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	3
СГ 20	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	3
СГ 39 №2	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
ЕС Командор	Полудетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
Лидер 10	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
Максус	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	4
Припять	Детерминант	Ограниченно-ветвистый	4
СГ 39	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
7 кластер			
СК Дока	Полудетерминант	Ветвистый	2
8 кластер			
Шатиловская 17	Индетерминант	Ветвистый	3
Слава	Индетерминант	Ветвистый	4
ЕС Навигатор	Индетерминант	Ветвистый	4

9 кластер			
ОАК Пруденс	Индетерминант	Ветвистый	2
Зельда	Индетерминант	Ветвистый	3
Зуша	Полудетерминант	Ветвистый	4
Амадеус	Индетерминант	Ограниченно-ветвистый	4
Асука	Детерминант	Ветвистый	4

В первый кластер вошли ветвистые сорта: индетерминанты Мезенка, СибНИИК 315, Осмонь, ЭН Аргента; и 2 сорта Белгородской селекции – полудетерминант Белгородская 7 и детерминант Белгородская 48.

Таблица 3

Характеристика сформированных кластеров, средние значения показателей, 2022...2024 гг.

№	Высота растений, см	К-во ветвей, шт.	К-во междоузлий, шт.	К-во продуктивных узлов, шт.	К-во бобов с раст., шт.	К-во семян с раст., шт.	Масса семян с раст., г	Масса надземной части без семян, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га	Содержание протеина в зерне, %	Содержание жира в зерне, %
1	93,66	3,05	23,12	20,16	47,09	95,92	13,31	14,17	147,43	2,10	40,22	20,49
2	91,88	1,81	20,02	18,10	41,69	84,31	15,04	15,85	178,22	2,42	40,59	20,90
3	76,95	1,17	16,08	14,50	38,69	87,35	11,26	12,27	135,17	2,29	40,73	21,57
4	87,11	0,75	13,17	11,86	25,84	54,27	9,55	9,96	182,29	2,52	42,49	20,21
5	86,93	0,32	11,59	10,84	31,32	72,55	10,98	11,55	158,09	2,45	42,19	20,61
6	90,58	0,81	15,00	13,90	33,24	73,32	12,66	13,45	180,19	2,48	42,56	18,95
7	89,95	1,89	13,91	11,48	38,26	79,59	9,46	10,09	124,93	2,29	40,17	20,70
8	97,69	2,42	17,83	15,21	27,39	55,62	9,99	10,00	177,68	2,48	41,32	21,01
9	100,87	1,66	15,64	13,98	30,17	61,39	11,89	12,45	197,52	2,57	42,31	19,91

Особенность кластера заключается в наиболее выраженном признаке ветвистости, относительно всех остальных кластеров, а также низкой урожайности. Первый кластер лидирует по показателям количества бобов и семян с растения. Второй кластер представлен тремя ветвистыми сортообразцами, отнесёнными к разным группам спелости: детерминанты Чера 1 и Л 85 – вторая и третья группы спелости соответственно, индетерминант Сирелия – четвертая группа спелости. Третий кластер представлен одним детерминантным сортом – Ланцетная, отличающимся небольшой высотой, низкой массой тысячи семян и высоким содержанием жира в семенах. В кластер № 4 отнесены крупносеменные сорта со слабо выраженным признаком ветвистости – Аляска, Антигуа, Устя. В пятый кластер сгруппировались детерминантные ограниченно-ветвистые сортообразцы современной селекции ФНЦ ЗБК – Алиса, Орлея, СГ 50 № 3, Лидер 1, Оникс 57, СГ 58 № 2. Данный кластер среди всех отмечен наименьшим показателем ветвистости. Кластер № 6 включает в себя как крупносемянные генотипы – ОАК Визион, Тайга, Кураж, Эльта, СГ 20, ЕС Командор, Максус; так и высокобелковые сортообразцы – Лидер 10, СГ 39, СГ 39 № 2. Включенные в кластер сорта и линии являются ограниченно-ветвистыми. В отдельный, 7 й кластер, попал ветвистый сорт СК Дока с наименьшей массой тысячи семян и низкой урожайностью. Восьмой кластер включил в себя три ветвистых сорта – Шатиловская 17, Слава и ЕС Навигатор. Данные генотипы имели большие показатели содержания белка в семенах, массы тысячи семян и урожайности, чем ветвистые сорта первого кластера, но также имели более длительный вегетационный период. В девятый кластер сгруппировались крупносемянные,

высокоурожайные сорта с наибольшим показателем высоты растения – ОАК Пруденс, Зельда, Зуша, Амадеус, Асука.

Текущая разбивка сгруппировала сортообразцы, в первую очередь по показателю ветвистости, за исключением ветвистого сорта Аляска, демонстрирующего в нашем опыте низкую ветвистость (0,73 ветви), и ограниченно-ветвистого сорта Амадеус, который в условиях Орловской области был ближе к ветвистым морфотипам (1,37 ветви). При данной разбивке, закономерностей по наличию в кластерах сортообразцов с одинаковым типом роста, или группой спелости обнаружено не было.

При добавлении в анализ показателя продолжительности вегетационного периода, разбивка по кластерам не изменилась.

Для более детального изучения влияния признаков на разбивку по характеру ветвистости был проведён кластерный анализ по следующим показателям: высота растения, масса 1000 семян, урожайность, содержание протеина и жира в зерне (рис. 2).

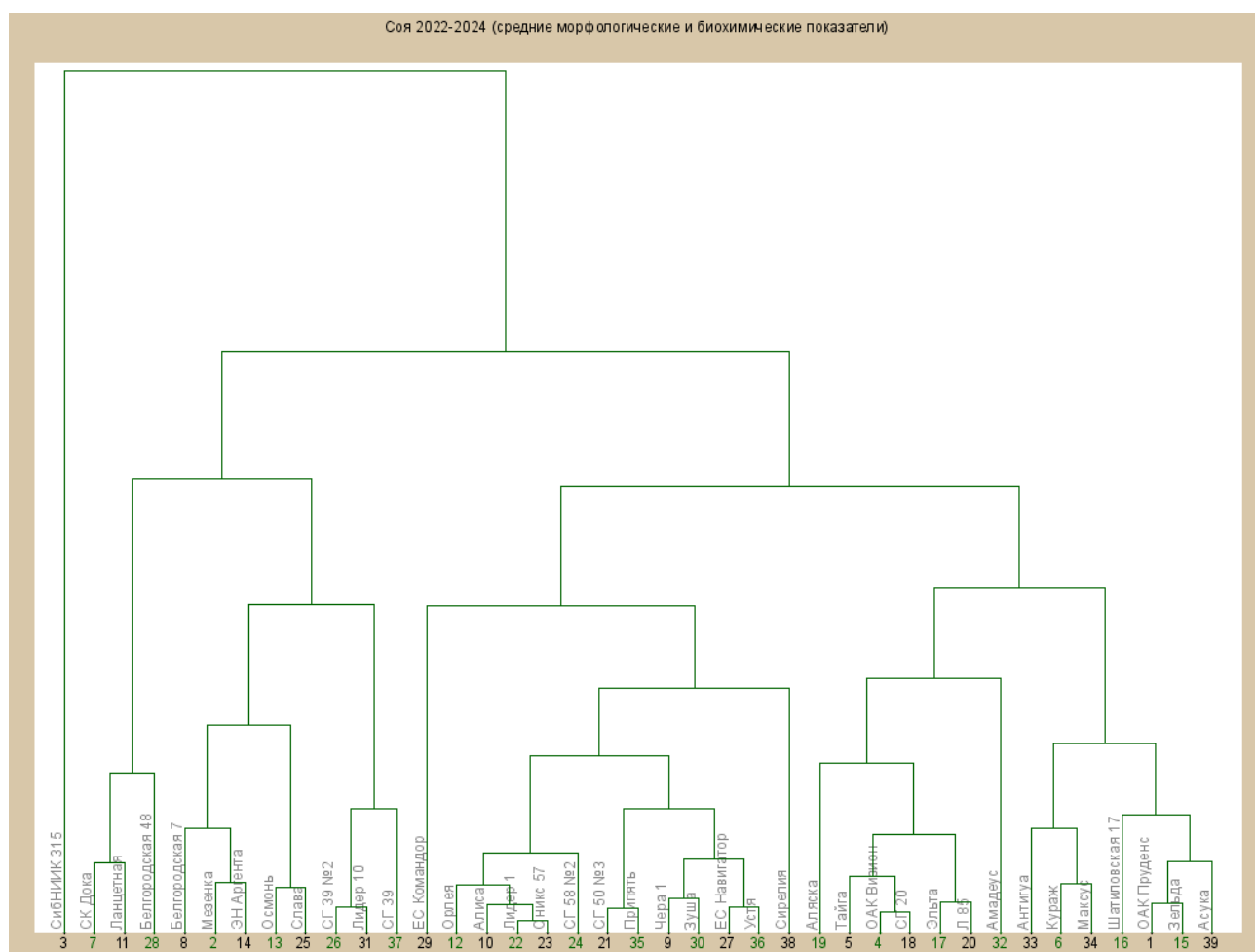


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа высоты растений, массы 1000 семян, урожайности и биохимических показателей сортов и линий сои, 2022...2024 гг.

По его результатам выявлено 12 кластеров и отмечено, что, несмотря на отсутствие признаков, которые могли напрямую демонстрировать характер ветвистости сорта, разбивка по данному показателю, также, была практически однородной (табл.4). В 1, 2, 3, 8, 12 кластер отнесены ветвистые генотипы, в 4, 5, 6, 10, 11 – ограниченно ветвистые генотипы, в 7 и 9 – обе группы.

Таблица 4

Сформированные кластеры по показателям высоты растений, массы 1000 зерен, урожайности и качества зерна , 2022...2024 гг.

№, п.п.	Варианты, вошедшие в кластер	Характер ветвистости
1	СибНИИК 315	Ветвистый
2	СК Дока, Ланцетная (искл.) Белгородская 48	Ветвистый
3	Мезенка, Белгородская 7, Осмонь, ЭН Аргента, Слава	Ветвистый
4	СГ 39 №2, Лидер 10, СГ 39	Ограниченно-ветвистый
5	ЕС Командор	Ограниченно-ветвистый
6	Алиса, Орлея, Лидер 1, Оникс 57, СГ 58 №2	Ограниченно-ветвистый
7	Чера 1, СГ 50 №3, ЕС Навигатор, Зуша, Припять, Устя	Ограниченно-ветвистый; ветвистый
8	Сирелия	Ветвистый
9	ОАК Визион, Тайга, Эльта, СГ 20, Аляска, Л 85	Ограниченно-ветвистый; ветвистый
10	Амадеус	Ограниченно-ветвистый
11	Антигуа, Кураж, Максус	Ограниченно-ветвистый
12	ОАК Пруденс, Зельда, Шатиловская 17, Асука	Ветвистый

У используемых в анализе признаков, корреляции с количеством ветвей были слабые и очень слабые (табл. 5). Это может говорить о том, что по отдельности данные признаки слабо влияют на показатель ветвистости, однако в своей комбинации могут иметь влияние, которое демонстрирует группировка в кластерном анализе.

Таблица 5

Корреляционные зависимости изучаемых признаков с ветвистостью 2022...2024 гг.

Высота растения, см	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/га	Содержание протеина в зерне, %	Содержание жира в зерне, %
0,35	-0,19	-0,34	-0,46	0,29

Выводы

1. С помощью кластерного анализа проведена группировка селекционного материала по данным структурного анализа и качества семян.
2. Сформированы высокобелковые кластеры – № 4 и № 6 с содержанием белка выше 42,40%.
3. Отмечены высокоурожайные кластеры ($m > 2,5$ т/га), как среди ограниченно-ветвистых генотипов - №4, так и среди ветвистых сортообразцов – № 9.
3. Выявлено сходство между новыми сортообразцами селекции ФНЦ ЗБК, сгруппированных в пятом кластере.
4. Выделены наиболее крупносемянные кластеры ($MTC > 180$ г) – № 4, № 6 и № 9.
5. Кластерный анализ сортообразцов по данным структурного анализа и качеству семян, в первую очередь группирует селекционный материал по показателю ветвистости.
6. Отмечено, что при отсутствии признаков, напрямую демонстрирующих характер ветвистости сорта, разбивка по данному показателю была практически однородной.
7. Выявлено, что по отдельности высота растения, масса 1000 семян, урожайность, содержание жира и протеина в семенах слабо влияют на характер ветвистости, однако в своей комбинации могут иметь влияние, которое показывает группировка в кластерном анализе.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FGZZ-2022-0011 Мониторинг

селекционно-семеноводческих посевов с использованием цифровых технологий с целью повышения продуктивности новых сортов.

Литература

1. Васин В.Г., Васина Н.В., Шишина А.С., Васин А.В., Кулясов С.Н. Влияние агротехнологических элементов возделывания на фотосинтетический аппарат и продуктивность сои в условиях Самарской области. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2023. – № 4 (48). – С. 20-26. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-20-26
2. Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Литвиненко О.В. Классификация сортов сои амурской селекции по биохимическим показателям методом кластеризации. // *Вестник КрасГАУ*. – 2022. – № 11 (188). – С. 54-61. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-11-54-61. – EDN NZFSKU.
3. Иванищев В.В. О возможности приложения метода кластерного анализа к результатам физиолого-биохимических исследований растений. // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. – 2018. – № 1. – С. 69-77. – EDN YWNFJS.
4. Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt stress at seedling stage / S. Chunthaburee [et al.] // *Saudi J. Biol. Sci.* 2016. V. 23(4). P. 467-477.
5. Суслов С.А. Кластерный анализ: сущность, преимущества и недостатки // *Вестник «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»*. НГЭИ. – 2010. – № 1. – С. 51-57.
6. Степанова Н.А., Сидоренко В.С., Яндубайкин Е.Е. Кластерный анализ сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы по показателям структурного анализа и качества зерна. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2023. – 2(46). – С.107-116. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-107-116
7. Мартынов М.А., Полухин А.А., Кирюхин С.В. Изучение показателей чистой продуктивности фотосинтеза, нитрогеназной активности и полевой всхожести для различных генотипов сои и их корреляционные связи с основными вегетационными индексами // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 2 (71). – С. 120-131. – DOI 10.31677/2072-6724-2024-71-2-120-131. – EDN LRLAMP.

References

1. Vasin V.G., Vasina N.V., Shishina A.S., Vasin A.V., Kulyasov S.N. Influence of agrotechnological elements of cultivation on photosynthetic apparatus and productivity of soybean under conditions of Samara region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2023; 4(48):20-26. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-20-26
2. Kodirova, G. A., Kubankova G. V., Litvinenko O. V. Classification of soybean varieties of Amur breeding on biochemical indicators by clustering method. *Vestnik KrasGAU*, 2022, no. 11(188), pp. 54-61, DOI 10.36718/1819-4036-2022-11-54-61, EDN NZFSKU.
3. Ivanishchev V.V. On the possibility of applying the method of cluster analysis to the results of physiological and biochemical studies of plants. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki*. 2018, no. 1, pp. 69-77, EDN YWNFJS.
4. Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt stress at seedling stage / S. Chunthaburee [et al.] // *Saudi J. Biol. Sci.* 2016. V. 23(4). P. 467-477.
5. Suslov S.A. Cluster analysis: essence, advantages and disadvantages. *Vestnik «Nizhegorodskii gosudarstvennyi inzhenerno-ekonomicheskii institut»*. NGEI, 2010, no.1, pp. 51-57.
6. Stepanova N.A., Sidorenko V.S., Yandubaikin E.E. Cluster analysis of varieties and breeding lines of spring soft wheat in terms of structural analysis and grain quality. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2023. no. 2(46), pp. 107-116. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-107-116
7. Martynov M.A., Polukhin A.A., Kiryukhin S.V. Study of net photosynthetic productivity, nitrogenase activity and field germination for different soybean genotypes and their correlations with the main vegetation indices. *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*. 2024, no. 2(71), pp. 120-131, DOI 10.31677/2072-6724-2024-71-2-120-131, EDN LRLAMP.