

COMPARATIVE EVALUATION OF DROUGHT RESISTANCE OF BROMOPSIS INERMIS HYBRIDS

P.P. Vasko, V.A. Stolepchenko, E.R. Klyga, T.A. Niyazov

Comparative evaluation of *Bromopsis inermis* hybrids by the indices of leaf water deficit and leaf water-retaining capacity was conducted to find out drought resistant variety samples.

The least water deficit of leaves was observed in the hybrids in which a steppe ecotype was used as the maternal parent. The water-retaining capacity of *Bromopsis inermis* leaves was significantly higher in the hybrids in which one of the parents was of the steppe ecotype.

УДК 633.521:631.527

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ СОРТООБРАЗЦОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В КОНТРОЛЬНОМ ПИТОМНИКЕ

Е.В. Иванова, Е.Л. Андроник, М.Е. Маслинская,
кандидаты с.-х. наук Института льна

(Поступила 23.09.2014 г.)

Аннотация. Обзор литературы свидетельствует об увеличивающейся роли статистической обработки данных с применением многомерного анализа в селекции. Проведен факторный анализ, в результате которого были выделены информативные признаки: урожайность семян, устойчивость к полеганию, содержание масла, сбор масла. В результате кластеризации образцов контрольного питомника льна масличного по информативным признакам выделены контрастные по фенотипу формы для селекции.

Введение. При решении большинства селекционных задач приходится иметь дело с многомерными совокупностями [1, 12]. Анализ многомерных выборок проводится с использованием методов многомерного статистического анализа: анализа главных компонент, факторного, кластерного, таксономического, множественного и пошагового регрессионного, канонического, дискриминантного и др. Довольно широко эти статистические методы используются для анализа признаков у плодовых и ягодных [6], кормовых [4, 11], овощных [7, 14] культур. Одна-

ко сведения литературных источников по применению многомерного анализа в селекции льна не многочисленны. Практические примеры и советы по применению факторного анализа можно найти у Стивенса. Более подробное описание приводят Кули и Лонес; Харман; Ким и Мюллер; А.Н. Хорин, В.Э. Керимов и др. [8]. Тем не менее, отцом этого метода заслуженно считается Ч. Спирмен.

Факторный анализ как метод многокритериальной математической статистики, применяемый при исследовании статистически связанных признаков с целью выявления определенного числа скрытых от непосредственного наблюдения факторов, начинает свою историю в психометрике. В настоящее время он используется не только в психологии, но и в социологии, политологии, в экономике, статистике, геологии, селекции [2, 3]. Техника кластеризации применяется в самых разнообразных областях. Хартиган (1975) дал прекрасный обзор многих опубликованных исследований, содержащих результаты, полученные методами кластерного анализа. Кластерный анализ используется при изучении генетического родства [9], установлении изменчивости хозяйственно-полезных признаков сортов растений под воздействием разнообразных условий среды [16], при изучении связи элементов продуктивности с морозоустойчивостью у озимых зерновых культур [13], дифференциации, идентификации, создании баз данных сортов сельскохозяйственных культур, на молекулярно-генетическом уровне [15].

Достоинство кластерного анализа в том, что он позволяет производить сортировку объектов не по одному параметру, а по целому набору признаков. Кроме того, он в отличие от большинства математико-статистических методов не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов и позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы. Это имеет большое значение, когда показатели имеют разнообразный вид.

Таким образом, целью исследований являлось использование многомерного статистического анализа (факторного и кластерного) для оценки и выделения контрастных по фенотипу форм в контрольном питомнике льна масличного.

Условия, объекты и методика проведения исследований. Исследования проводились в 2012-2013 гг. в РУП «Институт льна», расположенном в Оршанском районе Витебской области. Почва опытных участков – дерново-подзолистая, развивающаяся на среднем лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины около 1 м моренным суглинком, со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 1,6-1,8%, pH_{KCl} – 5,6-6,1, P_2O_5 – 135-380 мг/кг, K_2O – 60-223 мг/кг почвы.

Закладку контрольного питомника проводили в соответствии с методическими указаниями по селекции Всероссийского НИИ льна [5]. В течение вегетационного периода осуществляли все необходимые мероприятия по защите растений в селекционном питомнике от болезней, вредителей и сорной растительности.

Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно различались между собой как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков, что способствовало более объективной оценке образцов по изучаемым показателям.

В течение вегетации проводили фенологические наблюдения с оценкой состояния посевов и фиксированием календарных дат наступления всех фаз развития растений льна от полных всходов до наступления желтой спелости. При достижении желтой спелости осуществляли уборку деелянок вручную, после естественного подсыхания снопов – их обмолот, а затем – очистку.

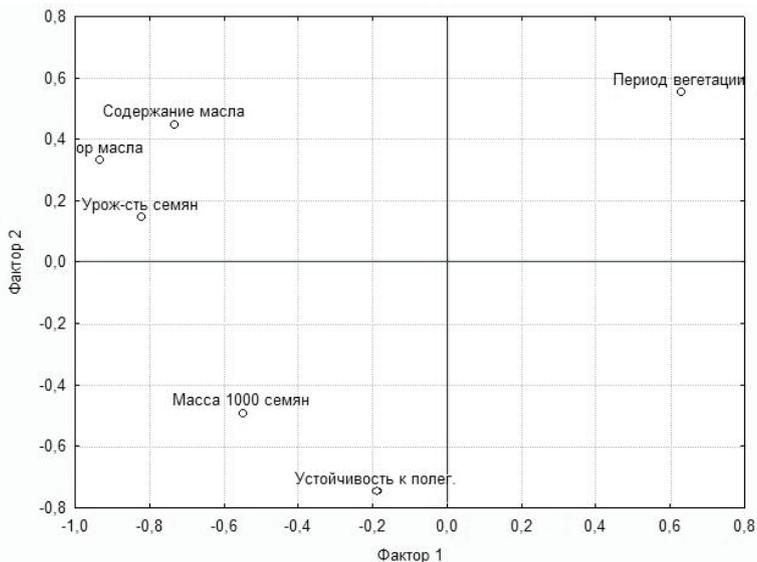
Анализ данных, полученных в результате изучения образцов контрольного питомника, проводили в 2 этапа. На первом из них минимизировали изучаемые признаки с помощью факторного анализа. На втором проводили анализ сходства номеров по информативным признакам. Полученные результаты обрабатывали с помощью пакета программ Statistica 6,0. Количество значимых факторов определяли в модуле Factor Analysis с помощью критерия Кайзера, который заключается в оценке собственных чисел и введении критерия значимости фактора при наличии собственного числа больше единицы. Название фактора условно подбирали по ассоциации с переменными, которые наиболее сильно связаны с данным фактором – имели наибольшие «факторные нагрузки». Кластерный анализ выполняли в модуле Cluster Analysis методом Уорда (Ward's method) ввиду его наглядности с метрикой Euclidean distances, которая является самой популярной метрикой в кластерном анализе.

Результаты исследований и их обсуждение. В таблице 1 представлен перечень номеров контрольного питомника и их кодировка для проведения многомерного анализа.

На первом шаге процедуры факторного анализа значения переменных стандартизировали, затем при их помощи рассчитали корреляционные коэффициенты между рассматриваемыми переменными. Методом главных компонент по выборочной совокупности (по умолчанию программы Statistica 6.0) были рассчитаны собственные значения и веса для двух факторов. Полученная в результате факторного анализа структура позволяет выявить некоторые группы связанных признаков (рисунок 1).

Таблица 1 – Перечень номеров контрольного питомника для исследований

Код	Селекционный шифр образца	Код	Селекционный шифр образца
C1	Брестский, st	C13	87-3-84
C2	09 СИ 6	C14	07-36-4-78
C3	07-9-2-7	C15	07-83-4-38
C4	07-83-4-4	C16	57-10-18-8
C5	07-7-2-5-6	C17	19-6-16-4
C6	07-19-4-2	C18	07-57-4-2
C7	07-86-4-2	C19	09-55-2-2-2
C8	07-83-1-3	C20	09-56-2-3-4
C9	07-9-2-6	C21	07-23-1-53-11-8
C10	07-99-5-4-5	C22	187-1-99-28
C11	5-1-5-8	C23	14-4-50-4-6-1
C12	15-8-5-8		

**Рисунок 1 – Компонентная диаграмма признаков образцов питомника льна масличного в разрезе двух факторов**

Имеются положительные корреляционные связи между признаками «сбор масла» и «урожайность семян» ($r=0,86$), а также сбор масла

и его содержанием ($r=0,82$). Корреляционные связи средней степени установлены у признака «продолжительность вегетационного периода» с признаками «урожайность семян» и «масса 1000 семян». Расположение последних двух признаков относительно признака «продолжительность периода вегетации» в разных плоскостях свидетельствует об отрицательной направленности этих связей.

О полноте анализа свидетельствует выделение факторов, в состав которых вошли признаки с факторными нагрузками выше 0,7 по абсолютному значению, что соответствует уровню значимости $p \geq 0,95$ [10] (таблица 2).

Таблица 2 – Факторные нагрузки признаков в пространстве двух факторов

Признак	Факторная нагрузка	
	Фактор 1	Фактор 2
Продолжительность периода вегетации	0,63	0,55
Урожайность семян	-0,82	0,14
Масса 1000 семян	-0,55	-0,49
Устойчивость к полеганию	-0,19	-0,75
Содержание масла	-0,73	0,45
Сбор масла	-0,93	0,33
<i>Собственное значение</i>	2,82	1,44
<i>Удельный вес факторов, %</i>	47,01	23,92

Факторные нагрузки следует понимать как корреляционные коэффициенты между изучаемыми признаками и факторами. Собственные значения больше 1,0 имели оба фактора. Суммарная доля факторов при этом составила 70,9% общей дисперсии, что свидетельствует о правильном определении количества факторов.

Наибольшую факторную нагрузку в пространстве первого фактора имел признак «сбор масла» (факторная нагрузка -0,93). Кроме этого, достоверные факторные нагрузки имели признаки «урожайность семян» (-0,82) и «содержание масла» (-0,73), поэтому фактор 1 можно обозначить как **«фактор продуктивности семян»**. Необходимо отметить, что признаки с противоположными нагрузками на один и тот же фактор взаимодействуют с этим фактором противоположным образом. Поэтому можно сказать, что с увеличением продолжительности периода вегетации такие показатели как «урожайность семян», «содержание и сбор масла» будут снижаться. Наибольшую факторную нагрузку в пространстве второго фактора имел один признак «устойчивость к по-

леганию» (факторная нагрузка -0,75), поэтому фактор 2 можно обозначить как **«фактор полегания»**.

Признаки, имеющие максимальные факторные нагрузки в пределах каждого фактора, являются информативными и на них в первую очередь следует обращать внимание при оценке образцов питомника. Такими признаками для данного набора образцов питомника в наших исследованиях стали: «устойчивость к полеганию», «урожайность семян», «содержание масла» и «сбор масла». Таким образом, в результате факторного анализа из шести изучаемых признаков были выделены 2 значимых фактора, включившие 4 информативных признака. В большинстве случаев включение отдельной переменной в один фактор, осуществляемое на основе коэффициентов корреляции, является однозначным (как в факторе 2). Среди исследуемых селекционных признаков характеристик, относящихся к двум факторам одновременно, не обнаружено, а признаками «продолжительность периода вегетации» и «масса 1000 семян» нельзя нагрузить ни один из отобранных факторов.

В таблице 3 представлены нормализованные значения факторов после проведения факторного анализа, которые были рассчитаны для каждого изучаемого сортообразца. Они, как правило, лежат в пределах от -3 до +3 и показывают отклонение каждого сортообразца от среднего значения в пределах фактора.

Таблица 3 – Взаимосвязь образцов питомника с выделенными факторами

Код	Коэффициент факторной оценки		Код	Коэффициент факторной оценки	
	Фактор 1	Фактор 2		Фактор 1	Фактор 2
С1	-0,75	-0,74	С13	1,37	0,55
С2	0,14	0,38	С14	-0,84	0,76
С3	-0,72	-1,08	С15	0,21	-0,25
С4	0,63	-1,08	С16	-0,79	-0,34
С5	1,12	0,15	С17	0,35	0,17
С6	0,88	0,40	С18	-0,89	0,45
С7	1,15	0,96	С19	-1,61	0,08
С8	1,55	1,23	С20	-0,91	0,49
С9	-1,21	-0,24	С21	-0,20	0,31
С10	-1,85	0,83	С22	0,24	0,87
С11	0,12	-2,68	С23	0,70	1,00
С12	1,30	-2,24			

Например, образцы с кодами С7, С8 и С13 наряду с высокими показателями продуктивности семян имеют наивысшую устойчивость к полеганию. Вместе с тем, несмотря на хорошие показатели признаков фактора 1, образец С12 имеет практически самую низкую устойчивость к полеганию.

Для анализа сходства образцов по комплексу признаков рекомендуется использовать кластерный анализ по информативным признакам, которые наилучшим образом описывают изменчивость совокупности генотипов и были выявлены нами выше. Таким образом, основной задачей на данном этапе является распределить номера контрольного питомника по однородным группам, установить взаимосвязи между этими группами и отобрать селекционный материал с одним или комплексом хозяйственно-ценных признаков.

Поскольку метод Уорда [16] направлен на объединение близко расположенных кластеров, на каждом шаге классификации происходило объединение таких двух кластеров, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции, т.е. внутригрупповой суммы квадратов (SS). Результаты классификации можно видеть на рисунке 2.

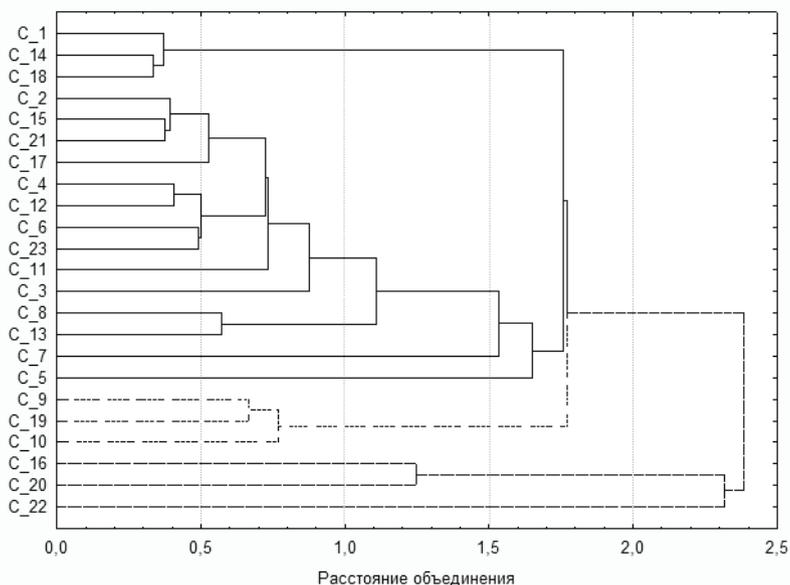


Рисунок 2 – Дендрограмма сходства-различий номеров контрольного питомника по комплексу информативных признаков

Таким образом, на первых шагах были объединены номера С-14 и С-18, С-15 и С-21, С-4 и С-12, С-6 и С-23 как имеющие наименьшее расстояние объединения, которое указывает на то, что образцы наиболее близки друг другу по проявлению изучаемых признаков. Кроме этого, такое объединение в определённой мере позволяет судить и об их генетическом сходстве. Так, наибольшее сходство со стандартом Брестский в проявлении признаков имели номера С-14 и С-18.

Рисунок наглядно показывает, что номер С-22 обособлен от всех изучаемых номеров (наибольшее расстояние объединения). По урожайности семян образец превосходит стандарт Брестский на 18,6%, по сбору масла – на 14,1%. Из рисунка видно, что предпочтительнее взять количество классов равное трем, т.к. при большем их числе теряется наглядность классификации. В результате мы получили распределение номеров контрольного питомника по трем кластерам (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение номеров контрольного питомника по классам

Класс	Сортообразец
1	С-1, С-2, С-3, С-4, С-5, С-6, С-7, С-8, С-11, С-12, С-13, С-14, С-15, С-17, С-18, С-21, С-23
2	С-9, С-10, С-19
3	С-16, С-20, С-22

Необходимо отметить, что достоверные отличия между классами доказаны по всем информативным признакам, исключением является устойчивость к полеганию (таблица 5).

Таблица 5 – Средние значения признаков урожайности номеров контрольного питомника в разрезе выделенных классов

Класс	Урожайность семян, ц/га	Устойчивость к полеганию, балл	Содержание масла, %	Сбор масла, ц/га
1	18,15	4,96	43,07	6,89
2	16,17	4,97	38,08	5,42
3	19,17	5,00	37,85	6,39
Уровень значимости (P)	0,0099	0,7770	0,0000	0,0033

Номера первого объединенного класса представляют ценность по содержанию и сбору масла. Среднее значение этих показателей у номеров внутри класса – 43,07% и 6,89 ц/га. Среди генотипов класса выделены номера С-6, С-7, С-8 и С-13, содержание масла у которых варьировало в пределах 44,5-46,05%, что выше, чем у стандарта на 9,4-13,2%.

Сбор масла у выделенных номеров колебался в пределах 7,36-7,92 ц/га, что превышает этот показатель у стандартного сорта Брестский на 20,7-29,8%.

Образцы, вошедшие во второй класс (С-9, С-19, С-10), не представляют селекционной ценности, т.к. имеют показатели изучаемых признаков ниже, чем у контрольного сорта.

Третий класс объединил номера С-16, С-20, С-22 с высокой урожайностью семян (18,49-20,19 ц/га), что выше урожайности стандартного сорта на 8,6-18,6%.

Выводы

1. Результаты факторного анализа позволили повысить значимость описаний образцов контрольного питомника льна масличного путем определения оптимального набора признаков. Для изучаемых генотипов такими признаками оказались: устойчивость к полеганию (факторная нагрузка = -0,75), урожайность семян (-0,82), содержание масла в семенах (-0,73) и сбор масла (-0,93).

2. Кластерный анализ по информативным признакам позволил оценить сходство между образцами питомника и более точно подобрать контрастные по фенотипу образцы: С-6, С-7, С-8, С-13, С-16, С-20, С-22 для селекции и дальнейшего изучения.

Литература

1. *Андроник, Е.Л.* Создание базы данных «Коллекция льна» / Е.Л. Андроник, Е.В. Иванова // Весці Нацыянальная акадэміі навук Беларусі; прылож. Молодежь в науке – 2007: в 4-х ч. / Национальная академия наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси. – Минск : Белорусская наука, 2008. – Ч. 4 : Серия аграрных наук. – С. 166-169.
2. *Бахтин, А.И.* Факторный анализ в геологии: учебное пособие / А.И. Бахтин [и др.] // Казанский государственный университет. – Казань, 2007. – 32 с.
3. *Брач, Н.Б.* Факторный анализ доноров хозяйственно ценных признаков из коллекции льна ВИР / Н.Б. Брач, Е.А. Пороховинова, И.Я. Шаров // Современные проблемы льноводства на Северо-Западе РФ.: сб. материалов науч.-практ. конф. – Псков, 2000. – С. 29-30.
4. *Двойнишников, В.А.* Оценка результатов экологического испытания гибридов кукурузы с помощью факторного анализа / В.А. Двойнишников, А.Д. Мельничук // Актуальные проблемы адаптивной интен-

- сификации земледелия на рубеже столетий. – Минск, 2000. – С. 449-451.
5. Изучение коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.): методические указания / Сост.: С.Н. Кутузова, А.Г. Питько / ВНИИЛ. – Ленинград, 1988.
 6. Использование компьютерных технологий при подборе родительских форм у плодовых культур [Электронный ресурс] / Виноградство и виноделие в Краснодарском крае: сайт веб. лаборатории Кубанского Государственного аграрного университета // А.В. Исачкин. – Режим доступа: www.vitis.ru/pdf/is37.pdf. – Дата доступа: 05.01.2012.
 7. Кильчевский, А.В. Дискриминантный анализ накопления ¹³⁷CS овощными растениями / А.В. Кильчевский, А.Д. Мельничук, А.В. Крук // Агроэкология. – Горки, 2005. – Вып. 2: Экологические основы плодовоовощеводства. – С. 124-129.
 8. Ким, Дж.-О. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: сб. работ, пер. с англ.; под. ред. И.С.Енюкова. – Москва: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
 9. Мартынов, С.П. Кластерный анализ саратовских сортов яровой пшеницы по коэффициентам родства / С.П. Мартынов // Цитология и генетика-23. – 1989. – №4. – С. 37-43.
 10. Митина, О.В. Факторный анализ для психологов / О.В. Митина, И.Б. Михайловская. – Москва: Учебно-методический коллектор «Психология», 2001. – 169 с.
 11. Мельничук, А.Д. Определение генетической разнородности сортов картофеля и подбор родительских пар для гибридизации по результатам факторного анализа / А.Д. Мельничук // Картофелеводство. – Минск, 2000. – Вып. 10. – С. 63-73.
 12. О необходимости создания компьютерной базы данных генеалогии сортов льна белорусской селекции / Д.Е. Портянкин [и др.] // Защита растений: сб. науч. тр. / Белорусский научно-исследовательский институт защиты растений. – Минск, 1998. – Вып.22. – С. 150-158.
 13. Перуанский, Ю.В. Кластеризация по элементам продуктивности перспективных форм озимой пшеницы различной морозостойкости / Ю.В. Перуанский, Т.Л. Тажибаева // Селекция и урожай. – АлмаАта, 1988. – С. 143-153.
 14. Ротару, Л.И. Применение факторного и кластерного анализов для создания генотипов томата со стабильной продуктивностью / Л.И. Ротару, Г.А. Лупашку // Современные тенденции в селекции

и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / ГНУ «Всерос. НИИ селекции и семеноводства овощных культур», РАСХН; ред. В.Ф.Пивоваров [и др.]. – Москва: ВНИИССОК, 2010. – Т. 1. – С. 462-470.

15. Чеботарь, С.В. Дифференциация, идентификация и создание базы данных сортов *T. aestivum* L. украинской селекции на основе STMS-анализа / С.В. Чеботарь, Ю.М. Сиволап // Цитология и генетика. – 2001. – №6. – С. 18-27.
16. Yau, S.K. Cluster analysis of bread wheat lines grown in diverse rainfed environment / S.K. Yau, G. Ortis-Ferrara, J.P. Srivastava // RACHIS. – 1989. – 8, №2. – P. 31-35.

USE OF MULTIVARIATE ANALYSIS IN EVALUATION OF OIL FLAX VARIETY SAMPLES IN CONTROL NURSERY

E.V. Ivanova, E.L. Andronik, M.E. Maslinskaya

Literature review shows the increasing role of statistical data processing using multivariate analysis in breeding. Factor analysis was conducted, and such informative characters as “seed yield”, “resistance to lodging”, “oil content”, “oil yield” were found. As a result of clustering of samples in the control oil flax nursery by the informative characters, forms for breeding purposes contrasting by phenotype were isolated.

УДК 633.11«321»[16:631[51+559]

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ

А.П. Гвоздов, кандидат с.-х. наук, ***В.П. Синицкий***
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Поступила 25.09.2014 г.)

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по изучению влияния норм высева, доз азотных удобрений, биофизической регуляции, химических средств защиты растений на урожайность и выход семян яровой пшеницы и ячменя. Сделана экономическая оценка эффективности использования предлагаемых для внедрения элементов технологии возделывания культур.