

Определение селекционной ценности сортов и гибридов подсолнечника с помощью кластерного и факторного анализов

Л. А. Гудова[✉], А. В. Лекарев

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

[✉]E-mail: abelia77@mail.ru

Аннотация. Создание высокопродуктивных сортов и гибридов подсолнечника, адаптированных к условиям регионов возделывания, зависит от использования исходного материала с высоким генетическим разнообразием. **Цель** исследования – изучить вариабельность агрономических признаков у сортов и гибридов подсолнечника, созданных в различных селекционных центрах, выявить корреляционную связь признаков, а также объединить генотипы по совокупности изучаемых показателей в результате использования методов многомерной статистики. **Методы.** Исследования проводили в правобережье Саратовской области на опытном поле «ФАНЦ Юго-Востока» в период 2021–2023 гг. Объектом исследований послужили сорта и новые экспериментальные гибриды селекции «ФАНЦ Юго-Востока» (31 сорт и гибрид) и ФНЦ ВНИИМК им. В. С. Пустовойта (12 гибридов). Для оценки селекционного материала использовали общепринятые методические рекомендации. **Результаты.** 43 сорта и гибрида подсолнечника оценивали по 8 хозяйственно ценным признакам. Установлена невысокая степень изменчивости по урожайности ($V = 9,4\%$); высоте растений ($V = 7,8\%$); диаметру корзинки ($V = 5,2\%$); натуре ($V = 5,3\%$); масличности ($V = 5,7\%$). Средняя изменчивость выявлена по массе 1000 семян ($V = 16,0\%$), площади корзинки ($V = 11,1\%$), сбору масла ($V = 15,8\%$). Корреляционный анализ позволил выделить 8 значимых связей на уровне 5,0%. Высокие коэффициенты корреляции установлены между урожайностью маслосемян и натурой ($r = 0,7$), а также между диаметром корзинки и площадью корзинки ($r = 0,83$). В результате факторного анализа 8 признаков были сведены к 5 факторам (нагрузка выше 5,0%) с общей дисперсией 90,95%. В результате кластеризации по минимуму евклидовых расстояний изучаемые генотипы сгруппированы в 10 кластеров, включающих от 1 до 16 генотипов на 33-м шаге итерации. Выделенные кластеры могут рассматриваться как самостоятельные группы для включения в селекционный процесс. **Научная новизна.** Предпринята попытка группировки сортов и новых экспериментальных гибридов подсолнечника, созданных в различных селекционных центрах, по сходству и различию основных хозяйственно ценных признаков в засушливых условиях Саратовской области.

Ключевые слова: подсолнечник, сорт, гибрид, урожайность, масличность, натура, масса 1000 семян, коэффициент вариации, коэффициент корреляции, кластер, факторная нагрузка

Для цитирования: Гудова Л. А., Лекарев А. В. Определение селекционной ценности сортов и гибридов подсолнечника с помощью кластерного и факторного анализов // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 07. С. 850–859. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-850-859>.

Дата поступления статьи: 21.02.2024, **дата рецензирования:** 06.05.2024, **дата принятия:** 18.05.2024.

Determination of the breeding value of sunflower varieties and hybrids with cluster and factor analyzes

L. A. Gudova[✉], A. V. Lekarev

Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

[✉]E-mail: abelia77@mail.ru

Abstract. The creation of highly productive sunflower varieties and hybrids adapted to the conditions of cultivation regions depends on the use of source material with high genetic diversity. **The purpose** of the study is to study the variability of agronomic characters in sunflower varieties and hybrids created in various breeding centers, their correlation, and to group genotypes according to a set of economically valuable indicators, using multivariate statistics methods. **Methods.** The research was carried out on the Right bank of the Saratov region on the experimental field of the Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region in 2021–2023. The objects of research were varieties and new experimental hybrids bred by epy Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region (31 varieties and hybrids) and V. S. Pustovoyt All-Russian Research Institute of Oil Crops (12 hybrids). To evaluate the breeding material, generally accepted methodological recommendations were used. **Results.** 43 varieties and hybrids of sunflower were assessed according to 8 agronomic characters. It was established a low degree of variability in yield ($V = 9.4\%$); as well as of plant height ($V = 7.8\%$); anthe diameter ($V = 5.2\%$); in unit ($V = 5.3\%$); and of oil content ($V = 5.7\%$). Average variability was revealed in the weight of 1000 seeds ($V = 16.0\%$); anthe area ($V = 11.1\%$); oil crop ($V = 15.8\%$). Correlation analysis made it possible to identify 8 significant connections at the 5.0 % level. High correlation coefficients were established between oilseed yield and unit ($r = 0.7$), as well as between anthe diameter and anthe area ($r = 0.83$). As a result of factor analysis, 8 characteristics were reduced to 5 factors (loading above 5.0 %) with a total variance of 90.95 %. Clustering by minimum Euclidean distances allowed the studied genotypes to be grouped into 10 clusters, including from 1 to 16 genotypes at the 33rd step. The identified clusters can be considered as independent groups for inclusion in the selection process. **Scientific novelty.** An attempt was made to group varieties and new experimental sunflower hybrids created in various breeding centers according to the similarities and differences of the main agronomic characters in the arid conditions of the Saratov region.

Keywords: sunflower, variety, hybrid, yield, oil content, unit, mass of 1000 seeds, coefficient of variation, correlation coefficient, cluster, factor loading

For citation: Gudova L. A., Lekarev A. V. Determination of the breeding value of sunflower varieties and hybrids with cluster and factor analyzes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (07): 850–859. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-850-859>. (In Russ.)

Date of paper submission: 21.02.2024, **date of review:** 06.05.2024, **date of acceptance:** 18.05.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) – одна из распространенных и рентабельных культур в растениеводстве, используемая, как правило, для производства масла. Доля подсолнечного масла при производстве растительных жиров достигает 80 % [1]. Повышение масличности и урожайности было и остается основным селекционным направлением, но наряду с улучшением качественного состава и продуктивности неоспоримой необходимостью является создание сортов и гибридов с новыми качествами и свойствами, которые должны обладать высокой адаптивностью к агроэкологическим условиям [2; 3]. Сорты и гибриды подсолнечника, отличающиеся по составу родительских линий, проявляют разную реакцию на условия выращивания [4]. Эффективность практической селекции в конкретных почвенно-климатических условиях главным

образом обусловлена наличием генетически разнообразного селекционного материала. Вовлечение в гибридизацию генотипов с неодинаковой генной обусловленностью признаков создает определенные предпосылки для создания форм с более высокой продуктивностью и другими ценными признаками [5]. Это делает аллельный полиморфизм, содержащийся в коллекциях зародышевой плазмы, необходимым элементом для поддержания и улучшения видов и сортов сельскохозяйственных культур [5]. Создание и расширение ареала возделывания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, в том числе и подсолнечника, способствует распространению генетического материала в другие почвенно-климатические регионы. Для группировки и оценки селекционного материала разного эколого-географического происхождения, определения сходства и различия генотипов по

ряду признаков и свойств в зависимости от типа зародышевой плазмы распространение получили кластерный и факторный анализы. Суть кластерного анализа состоит в том, что большое количество исследуемых объектов и анализируемых признаков разбивают на кластеры с графическим отображением научно обоснованных классификаций – дендрограмм [6; 7], в результате чего идентифицируются устойчивые группы, включающие в себя объекты с похожим набором признаков [8]. Методом кластерного анализа пользуются для сравнения разных признаков: качественных, количественных и генетических [9; 10]. Одним из основных методов для сравнения анализируемых признаков является метод евклидовых расстояний, в результате чего выстраивается иерархическая структура среди изучаемых генотипов. Метод позволяет получить информацию о сходстве и различии образцов и описывает степень выраженности изученного признака [11; 12]. С помощью кластерного анализа можно сравнивать образцы на уровне генетических маркеров. Применение факторного анализа (метод главных компонент) целесообразно при исследовании статистически связанных признаков с целью выявления определенного числа скрытых от непосредственного наблюдения факторов. Важным элементом факторной оценки анализируемого материала считается четкость распределения признаков по компонентам, выраженная их значимостью только в одной компоненте при несущественных или же достоверно низких величинах факторных весов в других [13].

Кластерный и факторный анализ широко применяется при анализе экспериментальных данных на других сельскохозяйственных культурах зерновых [6–19].

Цель исследований – использование кластерного и факторного анализа для объединения по принципу сходства и различия сортов и гибридов подсолнечника, созданных в разных эколого-географических условиях по важным хозяйственно ценным признакам в засушливых условиях Нижневолжского региона.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в период 2021–2023 гг. на опытном поле ФАНЦ Юго-Востока. В изучении находилось 43 генотипа подсолнечника селекции ФАНЦ Юго-Востока (Саратовский 20, Саратовский 21, Скороспелый 87, ЮВ 1071, Саратовский 85, ЮВС 8, ЮВС 3, Эверест, ПГ 26 × 934, ПГ 26 × 966, ПГ 26 × 50, ПГ 32 × 935 ул., ПГ 32 × 966, ПГ 32 × 50, ПГ 3116 × АТИ, ПГ 3116 × 51, ПГ 16 оп. × 966, ПГ 16 оп. × 50, ПГ 16 у. × 966, ПГ 33 × 966, ПГ 26 × 935, ПГ 26 × 931 ВС, ПГ 26 × Чер. 66, ПГ 26 × 50, ПГ 32 × 934, ПГ 32 × АТИ, ПГ 32 × Чер. 66, ПГ 3116 × 935, ПГ 3116 × 49, ПГ 3116 × 50, ПГ 3116 × 51) и селекции ФНЦ ВНИ-

ИМК им. В. С. Пустовойта и его опытных станций (ДОС 14750/20, ДОС 1650/20, ДОС 11750/20, Армавирский 127, Армавирский 167, Армавирский 185, ВК 102 × ВК 303, ВК 102 × ВК 305, Сл₁₃ 2260 × ВК 304, Сл₁₃ 2260 × ВК 305, Сл₀₆ 2545 × ВК 305, Горфилд). Работы по посеву семенного материала осуществляли 17–20 мая. Фаза полных всходов приходилась на 27–31 мая. Предшественник – черный пар. Гибриды и сорта подсолнечника размещали на 6 рядковых делянках в шестикратной повторности, размещение рендомизированное. Площадь делянки составляла 25,0 м². Норма высева – 45 тыс. растений на 1 га. Для учетов и измерений использовали выборку в 30 растений. Уход за посевами заключался в проведении двух междурядных обработок и ручном формировании густоты стояния растений. Для оценки селекционного материала проводили учет урожая и измерение морфометрических параметров согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [21]. Масличность определялась на экспресс-анализаторе АМВ 1006М. Математическая и статистическая обработка данных проводилась согласно методике Б. А. Доспехова [22] и с использованием статистического пакета Agros 2.09.

Результаты (Results)

Для большинства признаков, определяющих величину и качество урожая подсолнечника, характерны непрерывная количественная изменчивость, сложность генетического контроля и подверженность модифицирующему влиянию условий среды. В эксперименте сорта и гибриды подсолнечника оценивали по морфометрическим признакам, элементам урожайности и качественным показателям. В среднем за 2021–2023 гг. урожайность семян изменялась в интервале 2,06–3,30 т/га, среднее значение составило 2,6 т/га (таблица 1). Урожайность выше 3,0 т/га выявлена у гибридов ДОС 11750/20, Сл₀₆ 2545 × ВК 305, ПГ 32 × 50, ПГ 32 × 934. Низкое значение признака (менее 2 т/га) характерно для гибрида ПГ 3116 × 50. Урожайность маслосемян достоверно выше средней по питомнику ($HC_{P_{05}} = 0,1$) установлена у 12 гибридов из 43. У 14 форм показатель значился на уровне стандарта. Для признака «урожайность маслосемян» характерна низкая степень изменчивости, коэффициент вариации не превышал 9,4 %. Также следует отметить незначительную изменчивость признаков: высота растений ($V = 7,8$ %), диаметр корзинки ($V = 5,2$ %), натура ($V = 5,3$ %) и масличность ($V = 5,7$ %). При этом абсолютные значения варьируют в достаточно широком диапазоне. Так, натура изменялась от 343,3 до 434,6 г/л при среднем значении по питомнику 386,6 г/л. 12 генотипов из 43 характеризовались натурой выше 400,0 г/л, а у 16 гибридов натура существенно не отличалась от среднего показателя. Диаметр корзинки варьировал от 16,4 до 21,3 см.

Относительно крупные корзинки (диаметр более 20,0 см) сформировали гибриды ЮВС 8, ЮВС 3, Армавирский 127, ПГ 16 ор. × 966, ПГ 16 ор. × 50, ПГ 26 × 935, ПГ 32 × АТИ, ПГ 32 × Чер. 66. Экстремумы высоты растений составляли 118,0 и 173,3 см. К высокорослым следует отнести гибриды и сорта с высотой растений более 160,0 см: Саратовский 20, Саратовский 85, Сл₁₃ 2260 × ВК 305, ДОС 11750/20, ПГ 16 ор. × 966, ПГ 16 ор. × 50, ПГ 16 у. × 966. Высота растений на уровне среднего значения (НСР₀₅ = 5,3) установлена у 13 гибридов подсолнечника. Низкорослость свойственна гибриду ПГ 32 × 966 (значение признака – 11,0 см), а также гибридам ПГ 26 × 931 и ПГ 32 × АТИ (высота растений составила 127,3 см и 127,6 см соответственно). Масличность изменялась от 41,5 до 53,9 %. Значение признака выше 50,0 % определено у 10 генотипов (Саратовский 20, Саратовский 21. Саратовский 85, Армавирский 185, ВК 102 × 305, Сл₁₃ 2260 × ВК 304, Сл₁₃ 2260 × ВК 305, Сл₀₆ 2545 × ВК

305, ПГ 32 × 966, ПГ 3116 × АТИ, ПГ 16 у. × 966). Средний показатель составил 48,1 %. Масличность на уровне среднего значения признака у 17 гибридов.

В соответствии с коэффициентом вариации средняя степень изменчивости признаков определена у признаков «масса 1000 семян» ($V = 16,0 \%$), «сбор масла с единицы площади» ($V = 15,8 \%$) и «площадь корзинки» ($V = 11,1 \%$). Масса 1000 семян у генотипов подсолнечника варьировала в интервале 40,2–73,0 г. Относительно высокое значение признака (более 70,0 г) определено у сортов Саратовский 21 и ЮВ 1071, а также гибрида ДОС 14750/20. Достоверное превышение относительно среднего значения выявлено у 11 генотипов. Массу 1000 семян не выше 45,0 г сформировали гибриды Армавирский 127, Армавирский 167, ВК 102 × ВК 305, ПГ 26 × 966, ПГ 26 × 50, ПГ 3116 × 51.

Значительная вариабельность установлена по сбору масла с единицы площади (0,59–1,65 т/га) и площади корзинки (224,9–377,7 см²).

Таблица 1
Общая характеристика изменчивости хозяйственно ценных признаков модельной популяции подсолнечника по хозяйственно ценным показателям, 2021–2023 гг.

Статистические параметры	Урожайность, т/га	Масса 1000 семян, г	Площадь корзинки, см ²	Сбор масла, т/га	Высота растений, см	Диаметр корзинки, см	Натура, г/л	Масличность, %
X	2,67	54,7	290,1	1,27	149,4	19,2	386,6	48,1
Sx	0,039	1,34	4,90	0,031	1,77	0,152	3,14	0,41
S^2	0,064	76,8	1036,1	0,40	134,7	0,99	423,7	7,6
S	0,2	8,8	32,2	0,20	11,6	0,9	20,6	2,7
$V, \%$	9,4	16,0	11,1	15,8	7,8	5,2	5,3	5,7
min	2,06	40,2	224,9	0,59	118,0	16,4	343,3	41,5
max	3,30	73,0	377,7	1,65	172,3	21,30	434,6	53,9

Примечание. X – среднее значение, Sx – ошибка средней, S^2 – дисперсия, S – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации, %, min – минимальное значение признака, max – максимальное значение признака.

Table 1
General characteristics of the variability of agronomic characters of the model sunflower population according to economically valuable indicators, 2021–2023

Statistical parameters	Yield, t/ha	Mass of 1000 seeds, g	Anthode area, cm ²	Oil crop, t/ha	Plant height, cm	Anthode diameter, cm	Unit, g/l	Oil content, %
X	2.67	54.7	290.1	1.27	149.4	19.2	386.6	48.1
Sx	0.039	1.34	4.90	0.031	1.77	0.152	3.14	0.41
S^2	0.064	76.8	1036.1	0.40	134.7	0.99	423.7	7.6
S	0.2	8.8	32.2	0.20	11.6	0.9	20.6	2.7
$V, \%$	9.4	16.0	11.1	15.8	7.8	5.2	5.3	5.7
min	2.06	40.2	224.9	0.59	118.0	16.4	343.3	41.5
max	3.30	73.0	377.7	1.65	172.3	21.30	434.6	53.9

Note. X – average value, Sx – moderate error, S^2 – dispersion, S – standard deviation, V – variation coefficient, %, min – minimum character value, max – maximum character value.

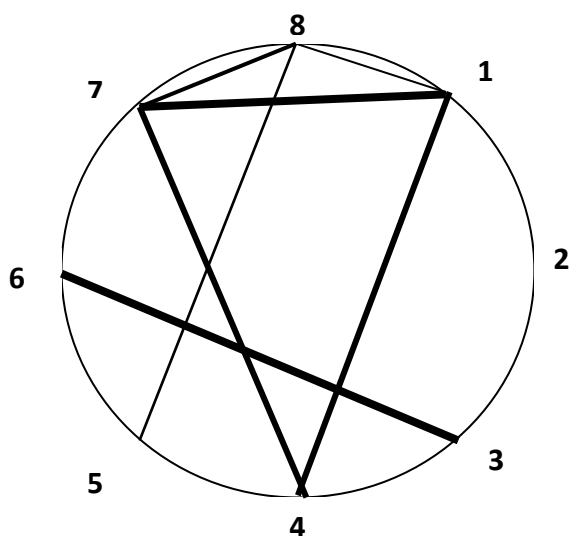


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между признаками: 1 – урожайность, 2 – масса 1000 семян, 3 – площадь корзинки, 4 – сбор масла, 5 – высота растений, 6 – диаметр корзинки, 7 – натура, 8 – масличность
 Fig. 1. Correlation coefficients between characters: 1 – yield, 2 – mass of 1000 seeds, 3 – anther area, 4 – oil crop, 5 – plant height, 6 – anther diameter, 7 – unit, 8 – oil content

На первом этапе факторного анализа была рассчитана корреляционная матрица, в результате чего выделены 28 взаимосвязей, из них 8 значимы на уровне 5 %. Поскольку выборке составляла $n = 41$, то критические значения коэффициентов корреляции составляли соответственно $r_{0,05} = 0,30$, $r_{0,01} = 39$. Сильные корреляционные связи выявлены между признаками «урожайность маслосемян» и «натура» ($r = 0,70$), «диаметр корзинки» и «площадь корзинки» ($r = 0,83$) (рис. 1). Существенные коэффициенты корреляции определены между урожайностью маслосемян и сбором масла с единицы площади ($r = 0,69$), урожайностью и масличностью ($r = 0,47$), сбором масла и натурой ($r = 0,60$), сбором масла и «масличностью» ($r = 0,59$), натурой маслосемян и масличностью ($r = 0,45$), а также между высотой растений и масличностью ($r = 0,38$).

Для расчета собственных значений факторов и факторных нагрузок признаков на выделенные факторы применялся метод главных компонент. Восемь изучаемых признаков были сведены к восьми факторам. Для интерпретации использовали факторы с нагрузкой больше 5,0 % (1–5 факторы), с общим вкладом в накапливаемую дисперсию 90,95 % (рис. 2).

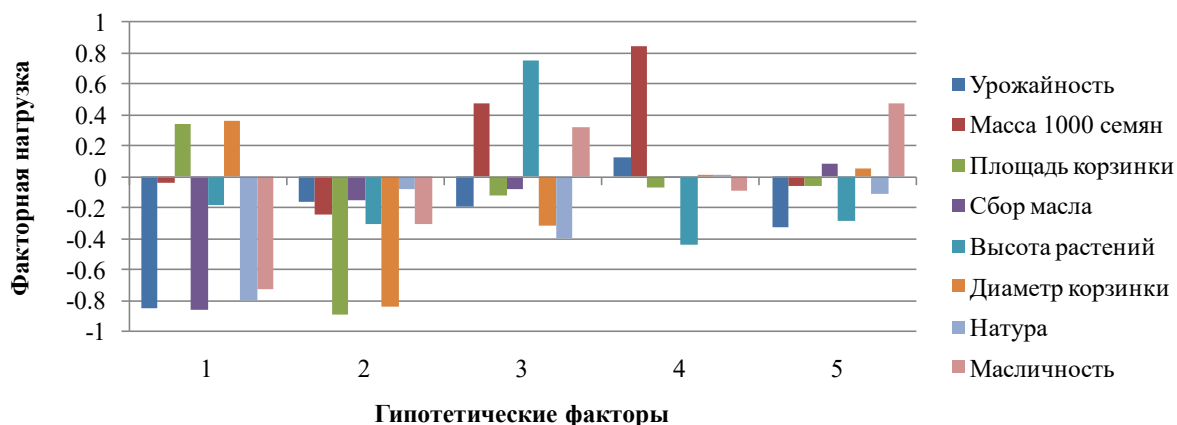


Рис. 2. Факторные нагрузки (веса переменных), 2021–2023 гг.

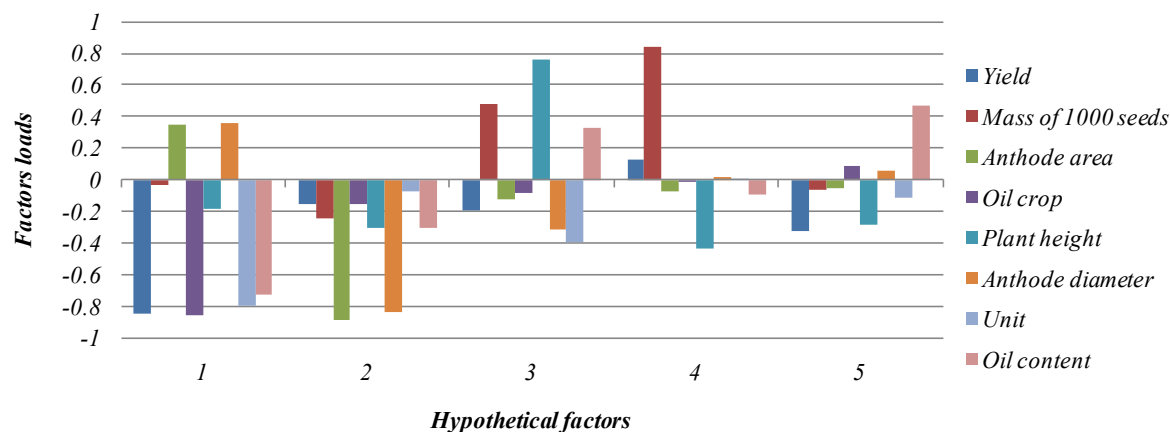


Fig. 2. Factor loadings (weights of variables), 2021–2023

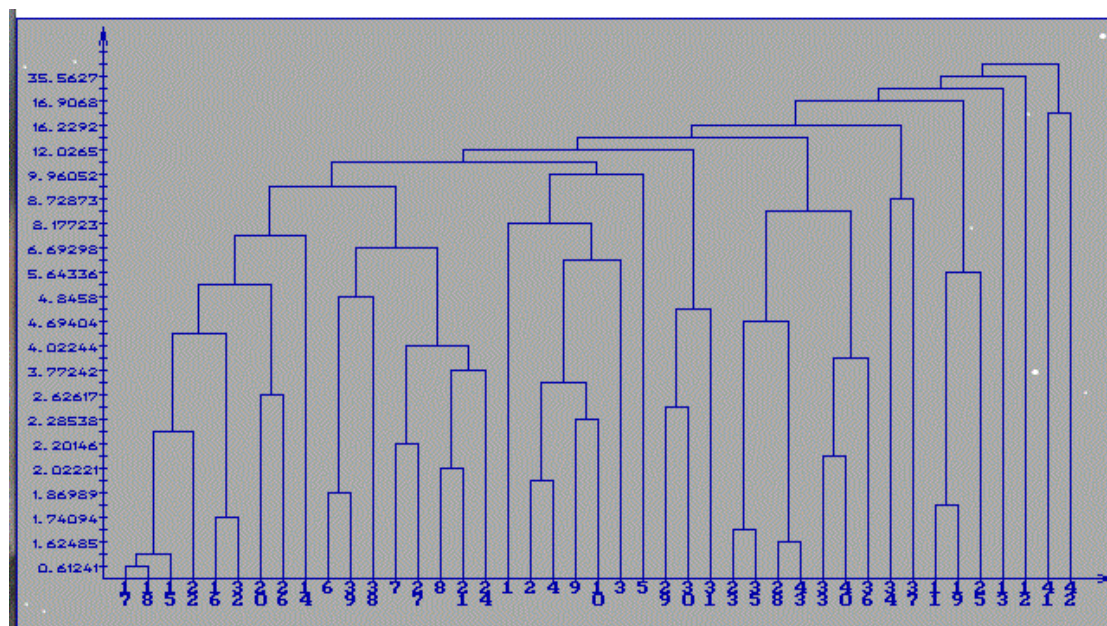


Рис. 3. Дендрограмма сходства и различий сортов и гибридов подсолнечника по комплексу признаков, 2021–2023 гг.
Fig. 3. Dendrogram of similarities and differences of sunflower varieties and hybrids according to a set of traits, 2021–2023

Факторные нагрузки могут быть представлены как корреляции между переменными и факторами. Более высокое значение нагрузки по модулю свидетельствует о большей близости фактора к признаку.

При расчете весов переменных на компоненты определен наибольший вклад в первый гипотетический фактор (нагрузка 36,18 %) от следующих признаков: площадь корзинки и диаметр корзинки. Данные признаки определяют и второй фактор (нагрузка 22,275). От признаков «масса 1000 семян» и «высота растений» зависит дисперсия третьего фактора (15,23 %). Признак «масса 1000 семян» вносит наибольший вклад в накапливаемую дисперсию (11,83 %) четвертого фактора. Дисперсия пятого фактора определяется масличностью маслосемян (дисперсия 5,42 %). Перечисленные факторы объясняют 90,95 % общей дисперсии изучаемых показателей, и можно говорить о достаточной полноте анализа. Факторы 6–8 определяются суммарным вкладом признаков.

Так как в изучении находился селекционный материал различного эколого-географического происхождения, то для объективности оценки желательно провести систематизацию генотипов по важным селекционным признакам. В представленной работе группировку сортов и гибридов подсолнечника селекции разных селекционных центров по фенотипическим значениям морфологических признаков проводили на основе кластерного анализа по минимуму евклидовых расстояний. На дендрограмме (рис. 1) по оси Y обозначаются шаги итерации, а по оси X расположены сорта и гибриды подсолнечника. Каждому номеру соответствует определенный гибрид или сорт: 1. Саратовский 20, 2. Саратовский 21, 3. Скороспелый 87, 4. ЮВ 1071,

5. Саратовский 85, 6. ЮВС 8, 7. ЮВС 3, 8. Эверест, 9. ДОС 14750/20, 10. ДОС 1650/20, 11. ДОС 11750/20, 12. Армавирский 127, 13. Армавирский 167, 14. Армавирский 185, 15. ВК 102 × ВК 303, 16. ВК 102 × ВК 305, 17. Сл₁₃ 2260 × ВК 304, 18. Сл₁₃ 2260 × ВК 305, 19. Сл₀₆ 2545 × ВК 305, 20. Горфилд, 21. ПГ 26 × 934, 22. ПГ 26 × 966, 23. ПГ 26 × 50, 24. ПГ 32 × 935 ул., 25. ПГ 32 × 966, 26. ПГ 32 × 50, 27. ПГ 3116 × АТИ, 28. ПГ 3116 × 51, 29. ПГ 16 ор. × 966, 30. ПГ 16 ор. × 50, 31. ПГ 16 у. × 966, 32. ПГ 33 × 966, 33. ПГ 26 × 935, 34. ПГ 26 × 931 ВС, 35. ПГ 26 × Чер. 66, 36. ПГ 26 × 50, 37. ПГ 32 × 934, 38. ПГ 32 × АТИ, 39. ПГ 32 × Чер. 66, 40. ПГ 3116 × 935, 41. ПГ 3116 × 49, 42. ПГ 3116 × 50, 43. ПГ 3116 × 51.

Первый шаг итерации – евклидово расстояние 0,61241 – объединяет два наиболее близких гибрида: ЮВС 3 и Эверест (рис. 3). Последний (43-й) шаг все сорта и гибриды объединяет в один кластер. Группировку генотипов проводили на 33-м ходе (85 % выборки), что соответствует евклидову расстоянию 9,961. Соблюдается условие, при котором внутрикластерные расстояния значительно меньше межкластерных. В результате кластеризации все изучаемые сорта и гибриды были распределены в 10 групп (кластеров).

Различия между полученными кластерами выявляли с помощью метода неорганизованных повторений. Первый кластер самый многочисленный, включает 16 гибридов: ЮВС 8, ЮВС 3, Армавирский 185, ВК 102 × ВК 303, ВК 102 × ВК 305, Сл₁₃ 2190 × ВК 304, Сл₁₃ 2260 × ВК 305, Горфилд, ПГ 26 × 934, ПГ 26 × 966, ПГ 32 × 935, ПГ 32 × 50, ПГ 3116 × АТИ, ПГ 33 ул. × 966, ПГ 32 × АТИ, ПГ 32 × Чер. 66). Гибриды характеризуются промежуточными значениями по всем изучаемым

признакам. Максимальное число различий (шесть) установлено с кластерами 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10 по признаку «натура семян». По совокупности признаков установлено 37 различий с другими кластерами.

Также средние значения признаков характерны для 3-го кластера (ПГ 16 ор. × 966, ПГ 16 ор. × 50, ПГ 16 у. × 966). Наблюдается превосходство по площади корзинки над гибридами кластеров 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9. Выявлено 35 различий по сумме всех признаков в кластерах, минимальное число различий (два) между кластерами по признаку «масса 1000 семян».

Второй кластер объединяет сорта и гибриды Саратовский 20, Саратовский 21, Скороспелый 87, ЮВ 1071, Саратовский 85, ДОС 14750/20, ДОС 1650/20 с достоверно высокой массой 1000 семян (69,4 г) относительно других генотипов. Меньше всего генотипы второго кластера отличаются от

остальных по высоте растений (только с гибридами пятого кластера). Всего установлено 33 различия.

Гибриды 4-го кластера ПГ 26 × 50, ПГ 26 × 935, ПГ 26 × Чер. 66, ПГ 26 × 50, ПГ 3116 × 935, ПГ 3116 × 51) отличаются более низкой масличностью (44,5 %) в сравнении с гибридами 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 кластеров, а также отличаются по сбору масла с единицы площади с кластерами 1, 3, 5, 6, 9, 10. По признаку «масса 1000 семян» установлено различие только с гибридами второго кластера. Всего выявлено 28 различий по изучаемым признакам и кластерам.

В пятый кластер включены низкорослые формы. Высота растений гибридов подсолнечника ПГ 26 × 931 ВС, ПГ 32 × 934 в среднем составила 122,6 см. По данному признаку установлено максимальное число различий – 9. Общее число различий – 34.

Таблица 2

Результаты однофакторного дисперсионного анализа хозяйственно ценных признаков сортов и гибридов подсолнечника, 2021–2023 гг.

Селекционные признаки	Кластеры										F _{факт}	НСР ₀₅
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Урожайность, т/га	2,73 d	2,62 cd	2,54 cd	2,45 c	2,64 cd	3,21 e	2,40 c	2,63 cd	2,06 b	1,75 a	8,48	0,3
Масса 1000 семян, г	50,2 adc	69,4 d	56,2 c	49,6 abc	54,6 bc	52,2 abc	45,3 ab	43,3 a	50,0 abc	54,6 bc	6,62	9,2
Площадь корзинки, см ²	218,8 b	284,9 b	354,1 de	293,7 bc	270,5 b	281,1 b	224,9 a	328,3 cde	260,0 ab	356,3 e	3,99	39,9
Сбор масла, т/га	1,32 d	1,22 cd	1,37 d	1,09 bc	1,31 d	1,61 e	1,18 cd	1,25 cd	0,59 a	0,74 a	10,19	0,18
Высота растений, см	149,0 b	156,7 bc	160,0 c	145,8 b	122,6 a	156,8 bc	152,3 bc	149,1 b	145,7 b	150,6 bc	3,82	13,7
Диаметр корзинки, см	19,2 bcd	19,0 b	20,4 de	19,2 bcd	18,5 b	18,8 b	16,4 a	20,4 cde	18,1 b	21,3 e	3,85	1,25
Натура, г/л	393,0 cd	377,8 c	374,4 c	377,6 c	390,5 cd	418,6 e	371,1 bc	403,6 de	334,6 a	334,3 a	5,87	21,8
Масличность, %	49,2 e	49,7 e	49,6 e	44,5 ab	48,8 bcd	50,0 e	48,10 de	47,3 cde	42,5 a	43,0 a	7,65	2,6

Примечание. Одинаковые буквы указывают на отсутствие различий по критерию Дункана.

Table 2

Results of one-factor analysis of variance of agronomic characters of sunflower varieties and hybrids, 2021–2023

Selection traits	Clusters										F _{fact}	LSD ₀₅
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Yield, t/ha	2.73 d	2.62 cd	2.54 cd	2.45 c	2.64 cd	3.21 e	2.40 c	2.63 cd	2.06 b	1.75 a	8.48	0.3
Mass of 1000 seeds, g	50.2 adc	69.4 d	56.2 c	49.6 abc	54.6 bc	52.2 abc	45.3 ab	43.3 a	50.0 adc	54.6 bc	6.62	9.2
Anthode area, cm ²	218.8 b	284.9 b	354.1 d	293.7 bc	270.5 b	281.1 b	224.9 a	328.3 cde	260.0 ab	356.3 e	3.99	39.9
Oil crop, t/ha	1.32 d	1.22 cd	1.37 d	1.09 bc	1.31 d	1.61 e	1.18 cd	1.25 cd	0.59 a	0.74 a	10.19	0.18
Plant height, cm	149.0 b	156.7 bc	160.0 c	145.8 b	122.6 a	156.8 bc	152.3 bc	149.1 b	145.7 b	150.6 bc	3.82	13.7
Anthode diameter, cm	19.2 bcd	19.0 b	20.4 de	19.2 bcd	18.5 b	18.8 b	16.4 a	20.4 cde	18.1 b	21.3 e	3.85	1.25
Unit, g/l	393.0 cd	377.8 c	374.4 c	377.6 c	390.5 cd	418.6 e	371.1 bc	403.6 de	334.6 a	334.3 a	5.87	21.8
Oil content, %	49.2 e	49.7 e	49.6 e	44.5 ab	48.8 bcd	50.0 e	48.10 de	47.3 cde	42.5 a	43.0 a	7.65	2.6

Note. Identical letters indicate no difference according to Duncan's test.

Гибриды ДОС 11750/20, Сл₀₆ 2545 × ВК 305, ПГ 32 × 966 образуют 6-й кластер. Данные генотипы имеют самые высокие показатели урожайности (3,21 т/га) и сбора масла с единицы площади (1,61 т/га), чем и отличаются от гибридов остальных кластеров. По сумме признаков выявлено 40 различий.

Четыре последних кластера (7–10) включают по одному гибриду с индивидуальным проявлением одного из признаков. Так, 7-й кластер образован гибридом Армавирский 167. Данный генотип характеризуется мелкой корзинкой (диаметр – 16,4 см, площадь корзинки – 224,9 см²), что отличает его от гибридов других кластеров. По данным признакам выявлено 8 и 9 различий соответственно. По совокупности признаков определено 38 различий.

Гибрид подсолнечника Армавирский 127, составляющий 8-й кластер, характеризуется высокой натурой семян (403,6 г/л) в отношении кластеров 2, 3, 4, 7, 9, 10, достаточно крупной корзинкой (площадь корзинки – 328,3 см²) по сравнению с кластерами 1, 2, 5, 6, 7, 9. Всего выявлено 33 различия.

Девятый (ПГ 3116 × 49) и десятый (ПГ 3116 × 50) кластеры представлены гибридами местной селекции. Данные генотипы сочетают невысокую натуру, низкую масличность и невысокий сбор масла, чем отличаются от представителей других кластеров. Кроме того, гибрид 10-го кластера характеризуется самой низкой урожайностью маслосемян (1,75 т/га) и большим диаметром корзинки (21,3 см). У гибридов 9-го и 10-го кластеров установлено самое большее число различий с остальными кластерами – 44 и 48 соответственно.

Таким образом, в результате кластеризации 43 гибридов и сортов подсолнечника разного эколого-географического происхождения установлено, что в кластеры 1, 2 и 6 включены сорта и гибриды как местной селекции, так селекции ФНЦ ВНИИМК. Кластеры 3, 4, 5, 9, 10 по комплексу признаков сформированы генотипами местной селекции, в то время как 7-й и 8-й кластеры включают гибриды селекции ФНЦ ВНИИМК. Максимальное число различий по комплексу признаков установлено у кластеров 9 и 10.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В эксперименте установлена различная степень варьирования хозяйственно ценных признаков сортов и гибридов подсолнечника. Наибольшая изменчивость установлена по массе 1000 семян, площади корзинки, сбору масла с единицы площади. Выявлены гибриды (Сл₀₆ 2545 × ВК 305, ПГ 32 × 966) с высокой урожайностью маслосемян (в среднем 3,21 т/га) и масличностью (в среднем 50,3 %). По массе 1000 семян (среднее – 69,4 г) выделились Саратовский 20, Саратовский 21, Скороспелый 87, ЮВ 1071, Саратовский 85, ДОС 14750/20, ДОС 1650/20. Выявлены высокие коэффициенты корреляции между изучаемыми признаками подсолнечника, а также с помощью факторного анализа определены значимые веса переменных на компоненты. Построение дендрограмм по минимуму евклидовых расстояний позволило сгруппировать сорта и гибриды подсолнечника в 10 кластеров. Основанный на сходстве и различии изучаемых признаков состав кластеров свидетельствует о невысоком генетическом разнообразии изученных гибридов и сортов.

Библиографический список

1. Грязева В. И., Корягин В. Ю., Корягина Н. В., Сигов Н. И. Оценка гибридов подсолнечника по хозяйственно-ценным признакам и экологической пластичности // Нива Поволжья. 2020. № 3 (56). С. 37–40. DOI: 10.36461/NP.2020.56.3.012.
2. Колодяжный С. В. Сравнительная оценка различных элементов технологии возделывания подсолнечника в Южной Лесостепи ЦЧР: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Воронеж, 2021. 221 с.
3. Kamenev R. A., Solodovnikov A. P., Letuchiy A. V., Gudova L. A., Lekarev A. V. Efficiency of application of compost of liquid poultry manure under sunflower in southern chernozem // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045, № 1. Article number 012084. DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012084.
4. Гучетль С. З., Головатская А. В., Рамазанов С. А., Волошко А. А. Генетическое разнообразие линий подсолнечника российской селекции выявленное с помощью микросателлитных локусов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (2). С. 173–184. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.173-186.
5. Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Разанцев Д. Р. Использование зародышевой плазмы нетипичных форм сои в селекции // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 8. С. 8–15. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10801.
6. Дуктова Н. А., Гриб С. И., Иванова Е. В., Андроник Е. Л., Виноградов Д. В. Применение многомерного анализа для оценки селекционной ценности исходного материала твердой яровой пшеницы // Агро-ЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2023. № 1. DOI: 10.51419/202131125.
7. Петрова Л. В., Платонова А. З. Кластерный анализ сортов овса посевного (*Avena Sativa* L.) по элементам структуры урожая в условиях Центральной Якутии // Известия ТСХА. 2019. Вып. 1. С. 56–78.
8. 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 // Зерновые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С. 45–51. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-107-116.

9. Старчак В. И., Кибальник О. П., Степанченко Д. А. Использование кластерного анализа в селекции зернового сорго в России // *Journal of Agriculture and Environment*. 2022. № 2 (22). DOI: 10.23649/jae.2022.2.22.10.
10. Вус Н. А., Кобызева Л. Н., Безуглая О. Н. Определение селекционной ценности коллекционных образцов нута (*Cicer arietinum* L.) методом кластерного анализа // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 24, № 3. С. 244–251. DOI: 10.18699/VJ20.617.
11. Нижимбере Ж., Супрунов А. И., Петряков А. П. Кластерный анализ новых автодиплоидных средне-спелых линий кукурузы // *Collected Papers XLV International Scientific-Practical conference "Russian Science in the Modern World"*: сборник статей. Москва, 2022. С. 7–8.
12. Кодирова Г. А., Кубанкова Г. В., Литвиненко О. В. Классификация сортов сои амурской селекции по биохимическим показателям методом кластеризации // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 11. С. 54–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-54-61.
13. Гудова Л. А., Зайцев С. А., Жужукин В. И., Курасова Л. Г., Лекарев А. В. Использование методов многомерной статистики для оценки модельной популяции кукурузы // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 7. С. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15.
14. Ткачев Ю. А. Основания многомерного кластерного анализа в геологии // *Вестник ИГКимиНЦ УрО-РАН*. 2019. № 2. С. 44–52.
15. Sidorenko V. S., Tugareva F. V., Starikova Zh. V. Experimental verification of cluster analysis to identify valuable breeding samples of spring wheat // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 650. Article number 012105. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012105.
16. Zaitsev S. A., Lyovkina A. Yu., Volkov D. P., Kameneva O. B., Bychkova V. V., Gudova L. A. Biometric methods in studying the gene pool indian pea // *BIO Web of Conferences*. 2022. Vol. 47. Article number 02005. DOI: 10.1051/bioconf/20224702005.
17. Демина И. Ф. Результаты изучения коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Среднего Поволжья // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21, № 6. С. 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659.
18. 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.
19. Жужукин В. И., Мухатова Ж. Н., Субботин А. Г., Сугрбов А. Ф., Дружкин А. Ф. Использование методов многомерной статистики в изучении сортообразцов нута как исходного материала для селекции в Нижнем Поволжье // *Нива Поволжья*. 2022. № 2 (62). Article number 1005. DOI: 10.36461/NP.2022.62.2.011.
20. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва, 2019. 320 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Об авторах:

Людмила Александровна Гудова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия; ORCID 0000-0003-3875-1996, AuthorID 668202. E-mail: abelia77@mail.ru

Андрей Владимирович Лекарев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории масличных культур, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия; ORCID 0009-0002-8456-7233, AuthorID 1229008

References

1. Gryazeva V. I., Koryagin V. Yu., Koryagina N. V., Sigov N. I. Assessment of sunflower hybrids after economically valuable features and phenotypic plasticity. *Volga Region Farmland*. 2020; 3 (56): 37–40. DOI: 10.36461/NP.2020.56.3.012. (In Russ.)
2. Kolodyazhnyy S. V. *Comparative assessment of various elements of sunflower cultivation technology in the Southern Forest-Steppe of the Central Black Sea region*: dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.01. Voronezh, 2021. 221 p. (In Russ.)
3. Kamenev R. A., Solodovnikov A. P., Letuchiy A. V., Gudova L. A., Lekarev A. V. Efficiency of application of compost of liquid poultry manure under sunflower in southern chernozem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 1045 (1): 012084. DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012084.
4. Guchetl S. Z., Golovatskaya A. V., Ramazanov S. A., Voloshko A. A. Genetic diversity of the Russian sunflower breeding lines revealed by microsatellite loci analysis. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (2): 173–186. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.2.173-186. (In Russ.)

5. Fokina E. M., Belyaeva G. N., Razantsvey D. R. The use of germplasm of atypical soybean forms in breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020; 34 (8): 8–15. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10801. (In Russ.)
6. Duktova N. A., Grib S. I., Ivanova E. V., Andronik E. L., Vinogradov D. V. The use of multidimensional analysis to assess the breeding value of the source material of hard spring wheat. *AgroEkoInfo*. 2023; 1. DOI: 10.51419/202131125. (In Russ.)
7. Petrova L. V., Platonova A. Z. Cluster analysis of cultivated oat sorts (*Avena Sativa* L.) by elements of correlation indicators in the conditions of Central Yakutia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; 1: 56–78. (In Russ.)
8. Stepanova N. A., Sidorenko V. S., Yandubaykin E. E. Cluster analysis of varieties and breeding lines of spring soft wheat by indicators of structural analysis and grain quality. *Legumes and Groat Crops*. 2023; 2 (46): 45–51. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-107-116. (In Russ.)
9. Starchak V. I., Kibal'nik O. P., Stepanchenko D. A. The use of cluster analysis in the selection of crop sorghum. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022; 2 (22). DOI: 10.23649/jae.2022.2.22.10. (In Russ.)
10. Vus N. A., Kobzyeva L. N., Bezuglaya O. N. Determination of the breeding value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) collection samples by cluster analysis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24 (3): 244–251. DOI: 10.18699/VJ20.617. (In Russ.)
11. Nizhimbere Zh., Suprunov A. I., Petryakov A. P. Cluster analysis of new autodiploid medium-ripened maize lines. *Collected Papets XLV International Scientific-Practical conference Russian Science in the Modern World*. Moscow, 2022. Pp. 7–8. (In Russ.)
12. Kodirova G. A., Kubankova G. V., Litvinenko O. V. Amur soybean varieties classification according to biochemical indicators by clustering method. *The Bulliten of KrasGAU*. 2022; 11: 54–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-11-54-61. (In Russ.)
13. Gudova L. A., Zaytsev S. A., Zhuzhukin V. I., Kurasova L. G., Lekarev A. V. Using multivariate statistical methods to estimate the model maize population. *Agrarian Scientific Journal*. 2021; 7; 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15. (In Russ.)
14. Tkachev Yu. A. Multivariate cluster analysis in geology. *Vestnik IG Komi SC UB RAS*. 2019; 2: 44–52. (In Russ.)
15. Sidorenko V. S., Tugareva F. V., Starikova Zh. V. Experimental verification of cluster analysis to identify valuable breeding samples of spring wheat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 650: 012105. DOI: 10.1088/1755-1315/650/1/012105.
16. Zaitsev S. A., Lyovkina A. Yu., Volkov D. P., Kameneva O. B., Bychkova V. V., Gudova L. A. Biometric methods in studying the gene pool indian pea. *BIO Web of Conferences*. 2022; 47: 02005. DOI: 10.1051/bioconf/20224702005.
17. Demina I. F. The results of study of collection samples of spring soft wheat in the Middle Volga Region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020; 21 (6): 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659. (In Russ.)
18. Starchak V. I., Kibal'nik O. P., Larina T. V., Semin D. S. The method of 'main component' in the grain sorghum breeding 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. (In Russ.)
19. Zhuzhukin V. I., Mukhatova Zh. N., Subbotin A. G., Sugrobov A. F., Druzhkin A. F. The use of multivariate statistical methods to study chickpea varieties as source material for breeding in the lower Volga Region. *Volga Region Farmland*. 2022; 2 (62): 1005. DOI: 0.36461/NP.2022.62.2.011. (In Russ.)
20. *The methodology of the state variety testing of agricultural crops*. Moscow, 2019. 320 p. (In Russ.)
21. Dospikhov B. A. *Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)

Authors' information:

Lyudmila A. Gudova, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the selection and seed production center, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia; ORCID 0000-0003-3875-1996, AuthorID 668202. *E-mail: abelia77@mail.ru*

Andrey V. Lekarev, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of oilseeds, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia; ORCID 0009-0002-8456-7233, AuthorID 1229008

Преимущества сортов груши с хорошей восстановительной способностью после подмерзания в условиях Южного Урала

М. С. Лезин[✉]

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: lezin-misha@mail.ru

Аннотация. Продолжительный период потребительской зрелости и лежкость плодов груши – качества, которые при скрещивании с дикорастущими высокозимостойкими видами в гибридном потомстве проявляются слабо. **Цель** работы – оценить качество плодов и урожайность на сортах груши с разным уровнем зимостойкости в условиях лесостепной зоны Челябинской области. **Методы.** Исследование проведено на Челябинском государственном сортоиспытательном участке по плодовым и ягодным культурам. В опыт 2009 года закладки включено 68 сортов и перспективных номеров, часть из которых исключено из обсуждения из-за очень низкой урожайности. **Научная новизна.** При хорошей восстановительной способности менее зимостойкие сорта с высокими качествами плодов не уступают по урожайности зимостойким сортам. **Результаты.** В группе зимостойких сортов (с наибольшим баллом подмерзания 2) плоды часто характеризуются низким качеством плодов, некрупными размерами, высоким содержанием каменистых клеток и другими недостатками. В группе недостаточно зимостойких сортов значительно больше выделяется сортов с высокими качествами плодов. В группе зимостойких сортов средняя по годам урожайность колеблется от 29,3 ц/га (Лель) до 171,6 ц/га (Куюмская). В группе слабовзимостойких сортов – от 23,6 ц/га (Забава) до 100,1 ц/га (Золотой шар). При разнице в средних по сортам значениях урожайности (84,3 ц/га для зимостойких и 46,3 ц/га для слабовзимостойких) статистическая обработка не выявила достоверных различий между группами по степени зимостойкости. В условиях Южного Урала некоторые сорта, выведенные в северных широтах, склонны к мацерации мякоти в момент созревания.

Ключевые слова: мацерация, потребительская зрелость, восстановительная способность, скороплодность

Благодарности. Работа выполнена по программе государственного сортоиспытания на Челябинском государственном сортоиспытательном участке на территории и при техническом обеспечении базового предприятия ООО «НПО „Сад и огород“».

Для цитирования: Лезин М. С. Преимущества сортов груши с хорошей восстановительной способностью после подмерзания в условиях Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 07. С. 860–869. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-850-859>.

Дата поступления статьи: 27.03.2024, **дата рецензирования:** 17.04.2024, **дата принятия:** 13.05.2024.