

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 634.75:631.52
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-61-69



Отбор сортов земляники по признакам продуктивности и качества ягод на основе нормированных индексов

В. И. Лапшин, В. В. Яковенко

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вадим Игоревич Лапшин, lavai@list.ru

Актуальность. Совместное использование различных методов преобразования данных и многомерного статистического анализа, учитывающего несколько переменных, повышает эффективность отбора перспективных генотипов земляники по комплексу признаков для промышленного и мелкотоварного производства.

Материалы и методы. Изучались 17 сортов земляники садовой короткого дня в период 2020–2022 гг. Анализ велся по признакам продуктивности (число ягод, масса ягод I порядка, средняя масса ягоды), товарного качества ягод (плотность мякоти ягоды, высота ягоды, диаметр ягоды) и общей массе ягод с растения. В математической обработке данных применялись двухфакторный дисперсионный анализ, метод главных компонент, кластерный анализ по алгоритму Уорда, критерий Вилкоксона.

Результаты. Установлена статистическая достоверность факторов «сорт» и «год» и эффекта их взаимодействия. Наибольшее влияние на изменчивость признаков оказал генотип сорта. Большая часть общей дисперсии по комплексу признаков определилась пятью первыми главными компонентами. Кластерный анализ выделил две группы сортов. Исходные данные были преобразованы по наименьшей существенной разности HC_{05} для получения нормированных индексов. С учетом критерия Вилкоксона по индексам проведено ранжирование сортов. При сопоставлении групп, построенных по средним и суммарным значениям нормированных индексов, с результатами кластерного анализа выделено 6 лучших сортов земляники по комплексу признаков.

Заключение. Объединенное применение многомерных методов и нормированных индексов позволило выделить наиболее перспективные для производства сорта земляники по урожаю и качеству ягод: 'Олимпия', 'Нелли', 'Флоренс', 'Кемия', 'Джайв' и 'Альба'.

Ключевые слова: земляника садовая, сортообразцы, хозяйственно ценные признаки, многомерные методы, ранжирование

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану СКФНЦСВВ (0498-2022-0001) «Провести мобилизацию, сохранение, изучение генофонда садовых культур и винограда, исследование его генетической структуры, идентификацию генов хозяйственно ценных признаков с применением ДНК-технологий и создать сорта и подвой нового поколения с высоким потенциалом адаптивности, продуктивности, качества плодов и технологичности».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Лапшин В.И., Яковенко В.В. Отбор сортов земляники по признакам продуктивности и качества ягод на основе нормированных индексов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(3):61-69. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-61-69

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-61-69

Selection of strawberry cultivars according to their productivity and berry quality using normalized indices

Vadim I. Lapshin, Valentina V. Yakovenko

*North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, Russia***Corresponding author:** Vadim I. Lapshin, lavai@list.ru

Background. Combined use of various data transformation methods and a multivariate statistical analysis that takes into account several variables would increase the efficiency of selecting promising strawberry genotypes according to a set of traits for industrial and small-scale production.

Materials and methods. In 2020–2022, 17 short-day garden strawberry cultivars were studied. The analysis was carried out for productivity (the number of berries, the weight of berries of the 1st order, and the average berry weight), marketable quality of berries (berry pulp density, berry height, and berry diameter), and total weight of berries per plant. Mathematical data processing employed a two-factor analysis of variance, the principal component method, cluster analysis by Ward's algorithm, and Wilcoxon test.

Results. The statistical significance of the cultivar and year factors, and their interaction was measured. The cultivar's genotype had the greatest effect on the variability of characters. Greater part of the total variance in the set of characters was determined by the first five principal components. The cluster analysis identified two groups of cultivars. The initial data were transformed according to the least significant difference (LSD_{05}) to obtain normalized indices. Taking into account the Wilcoxon test, the cultivars were ranked by the indices. When comparing the groups built in line with mean and total values of the normalized indices with the cluster analysis results, 6 best strawberry cultivars were identified for the studied set of characters.

Conclusion. The combined use of multivariate methods and normalized indices made it possible to identify the most promising strawberry cultivars according to their yield and berry quality: 'Olympia', 'Nelli', 'Florence', 'Kemia', 'Jive', and 'Alba'.

Keywords: *Fragaria × ananassa* Duch., cultivars, useful agronomic traits, multivariate methods, ranking

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task according to the thematic plan of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making (0498-2022-0001) "To mobilize, preserve, and study the genetic diversity of horticultural crops and grapes, study its genetic structure, identify genes of useful agronomic traits using DNA technologies, and develop new-generation cultivars and rootstocks with high potential for adaptability, productivity, fruit quality, and processability".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lapshin V.I., Yakovenko V.V. Selection of strawberry cultivars according to their productivity and berry quality using normalized indices. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(3):61-69. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-3-61-69

Введение

Отбор лучших генотипов по комплексу признаков у земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. ($2n = 8x = 56$) – процесс сложный вследствие октоплоидного набора хромосом, высокой изменчивости признаков и сильного влияния условий окружающей среды на их реализацию (Fadееva, 1975; Zubov, 2004; Hancock et al., 2008).

Действие условий окружающей среды на проявление количественных признаков реализуется в различной реакции генотипов на условия выращивания. Для описания и анализа вкладов внешней среды в реализацию хозяйственно-биологических признаков используются различные модели математической статистики на основе дисперсионного анализа (Gauch, 1992; Pacheco et al., 2005; Barth et al., 2020).

Основными количественными признаками, которым уделяется внимание в селекционных программах по землянике, являются продуктивность и качество ягод (Chandler et al., 2012; Faedi, Baruzzi, 2016; Sharma S., Sharma N., 2018).

Зачастую отбор по одному или нескольким отдельным признакам у земляники не дает желаемых селекционных результатов из-за отрицательных связей с другими хозяйственно ценными показателями (Vieira, 2017). Поэтому для повышения эффективности отбора перспективных генотипов используются методы многомерного статистического анализа, строящиеся на использовании нескольких переменных.

Точность оценки генотипов по селекционно ценным признакам зависит от специфики учитываемых параметров, чаще всего характеризующихся непрерывной количественной изменчивостью и неодинаковой размерностью. Для корректного использования данных в рамках моделей и методов статистики часто необходима процедура их нормирования, то есть преобразования исходных числовых последовательностей в безразмерный вид и вариационные ряды единого порядка, позволяющие проводить сравнительный анализ данных различного характера (Iglesias, Pecharromán, 2007; Snegireva, 2010; Klyushnikova, Shitova, 2016).

При отборе ценных в производственном отношении сортов, с учетом реакции их генотипов на условия выращивания и степени проявления хозяйственно ценных показателей, традиционно используются математические методы построения групп и рангов изучаемых объектов как в соответствии с их взаимным сходством, так и достоверными различиями. К числу таких объединяющих приемов относится тест Вилкоксона, используемый для оценки различий между рядами парных измерений по значениям определенного количественного показателя. Данный критерий, предназначенный для определения направлений изменчивости признаков и их выраженности в зависимости от условий внешней среды, нашел широкое применение в области анализа разнообразных данных по культуре земляники (Mozūraitis et al., 2020; Kouyama et al., 2022; Schattman et al., 2022).

Учитывая вышеизложенное, *цель нашей работы* заключалась в оценке и отборе интродуцированных сортов земляники по комплексу признаков на основе ряда методов многомерной статистики и нормирующего преобразования исходных данных.

Материалы и методы

Работа проводилась в 2020–2022 гг. на плантации земляники исследовательско-селекционной коллекции

генетических ресурсов садовых культур Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ, г. Краснодар).

Объектами изучения послужили 17 сортов земляники садовой короткого дня, из которых 2 являются сортами местной селекции ('Нелли' и 'Кемия'), 10 – итальянской селекции ('Априка', 'Аура', 'Квики', 'Лейтиция', 'Олимпия', 'Сибилла', 'Тя', 'Клери', 'Альба', 'Сирия'), 3 – селекции Нидерландов ('Вивальди', 'Джайв', 'Магнус'), 1 – английской селекции ('Флоренс') и 1 – селекции США ('Хоней'). Ежегодно изучали по 10 растений каждого сорта.

Сорта выращивались по принятой в Краснодарском крае типовой технологии возделывания земляники (традиционной) (Organization of technological..., 2016).

У образцов учитывались признаки продуктивности – число ягод (шт./растение), масса ягод I порядка (г), средняя масса ягоды (г); товарного качества ягод – плотность мякоти ягоды (г), высота ягоды (мм), диаметр ягоды (мм) и общая масса ягод (г/растение).

Оценка образцов по комплексу признаков проведена в соответствии с общепринятой методикой (Sedov, Ogol'tsova, 1999). Среднюю массу определяли при помощи электронных весов Аcom jW-1C, плотность мякоти ягоды – пенетрометра модели FT 011 (наконечник диаметром 0,50 см²).

Статистическая обработка данных проводилась с применением дисперсионного анализа, метода главных компонент и кластерного анализа (Mandel, 1988; Lakin, 1990), с использованием программного пакета Statistica v.6.0 (StatSoft). Вычисления были выполнены для 5-процентного уровня значимости.

Результаты и обсуждение

Анализ генотипического разнообразия изученных сортов, характеризующий целесообразность отбора перспективных форм по изученным признакам, проводился при помощи двухфакторного дисперсионного анализа.

По результатам анализа дисперсии были установлены статистически значимые влияния обоих факторов и их взаимодействия в условиях 2020–2022 гг. Исключение было выявлено только для фактора «год» по массе ягод I порядка, в соответствии с которым фактическое значение F составило 1,50 при стандартном значении критерия Фишера $F_{ct.}$ 2,99. С учетом стандартного критерия Фишера $F_{ct.}$ 1,64 показатель F для фактора «сорт» составил 18,64–57,82; для фактора «год» при $F_{ct.}$ 2,99 фактические значения критерия находились в интервале 3,29–23,21; взаимодействие обоих факторов при $F_{ct.}$ 1,46 определило полученные значения критерия Фишера 2,0–6,54.

Наиболее значительное воздействие на учетные признаки оказывает генотип сорта: его вклады в общую вариацию составили от 35,01 (средняя масса ягоды) до 54,74% (плотность мякоти ягоды). Наименьшее влияние на реализацию изученных признаков установлено для фактора года исследований – от 0,29 (масса ягод I порядка) до 3,17% (средняя масса ягоды). Обоюдное влияние генотипа и особенностей года превысило вклады по фактору «год» и составило от 5,66 (масса ягод I порядка) до 13,26% (средняя масса ягоды) общей дисперсии.

Количественное проявление признаков структуры урожая и качества ягод, обусловленное индивидуальной нормой реакции сортов земляники, различно и зависит от степени отзывчивости генотипов на почвенно-климатические условия возделывания.

Выявленное в результате двухфакторного дисперсионного анализа наличие изменчивости генотипов образцов по всем учтенным характеристикам обусловило возможность проведения отбора наиболее перспективных форм по целому комплексу признаков.

Неоднородность размерностей и мерных порядков признаков, при которой интервалы средних значений исходных данных по сортам составили от 13,7–19,0 (г) для средней массы ягод до 394,4–1291,9 (г/растение) для общей массы ягод, определила целесообразность преобразования изначальных вариационных рядов по методу главных компонент, позволяющему оптимизировать исходное пространство изменчивости из 7 учтенных параметров до удельных безразмерных факторных вкладов, учитывающих свыше 95% сводного разнообразия по комплексу признаков.

На основе анализа взаимного варьирования экспериментальных количественных данных были оценены вклады многомерных факторов, согласно которым 99,12% общей дисперсии получили объяснение посредством пяти первых главных компонент.

Для дальнейшего отбора, предусматривавшего изучение 17 сортов земляники по комплексу показателей, в соответствии с вкладами факторов главных компонент, составившими от -2,73 до 2,46, была проделана процедура кластерного анализа по алгоритму Уорда, являющаяся одной из объединяющих агломеративных иерархических методов многомерной математической статистики, формирующей кластерные группы по принципу минимальной внутрикластерной и наибольшей межгрупповой дисперсии. Результаты кластеризации представлены на рисунке 1.

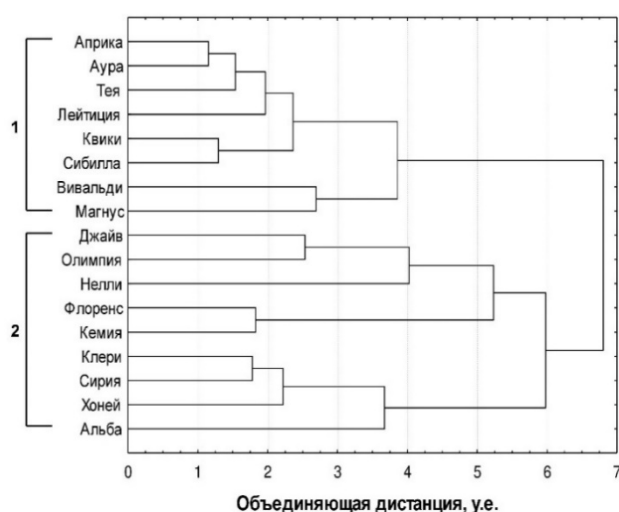


Рис. 1. Дендрограмма кластерного анализа сортов земляники по комплексу признаков
Fig. 1. Dendrogram of the cluster analysis of strawberry cultivars according to a set of characters

При построении графического дендрита с учетом объединяющей дистанции 6,50 у. е. и иерархического евклидова расстояния между группами генотипов было получено 2 кластера, каждый из которых объединил сорта земляники, отличающиеся сходными направлениями изменчивости по комплексу изученных признаков.

Корректность распределения изученных сортов на кластеры была подтверждена при помощи дисперсионного анализа, выполненного по исходным вариационным рядам учтенных признаков. При стандартном значении критерия $F_{ст. 3,84}$ показатели данной величины по

кластерному фактору для учтенных 7 признаков составили 107,47 (число ягод), 43,26 (масса ягоды I порядка), 16,64 (средняя масса ягоды), 96,86 (высота ягоды), 49,88 (диаметр ягоды), 116,24 (биологический урожай), 115,50 (плотность мякоти ягоды).

В первый кластер вошли сорта 'Априка', 'Аура', 'Тея', 'Лейтиция', 'Квики', 'Сибилла', 'Вивальди' и 'Магнус'. Средние значения учтенных хозяйственно-биологических показателей составили: число ягод – 38 (шт./растение), масса ягоды I порядка – 27,0 (г), средняя масса ягоды – 15,5 (г), высота ягоды – 30,4 (мм), диаметр ягоды – 29,1 (мм), общая масса ягод – 592,1 (г/растение), плотность мякоти ягоды – 550 (г). По продуктивности и урожаю ягод среди остальных сортов группы заметно выделяется 'Вивальди', у которого данные показатели составили 60 шт./растение и 931,9 г/растение. Хорошие значения признаков продуктивности отмечены для сортов 'Магнус' (49 ягод на растение и 682,3 г/растение) и 'Лейтиция' (42 и 666,7 соответственно). Самыми крупными ягодами в кластере отличаются сорта итальянской селекции 'Аура' и 'Тея'; при массе ягоды I порядка 30,8 и 30,3 г их значения средней массы ягод составили 17,5 и 16,2 г соответственно; высота ягоды у данных сортов – 34,2 и 33,8 мм, диаметр – 32,4 и 31,8 мм.

Второй кластер включает сорта 'Джайв', 'Олимпия', 'Нелли', 'Флоренс', 'Кемия', 'Клери', 'Сирия', 'Хоней', 'Альба'. Средние величины изученных признаков превосходят первую группу по всем показателям, за исключением плотности мякоти ягоды. Указанные 9 сортов сформировали в среднем 58 ягод на растение, ягоды I порядка – массой 29,3 г, среднюю массу ягоды – 16,4 г, высоту и диаметр ягоды – 34,2 и 31,7 мм, биологический урожай ягод –

944,3 г. Плотность мякоти ягоды во втором кластере составила 440 г. Среди всех изученных 17 сортов земляники самой высокой продуктивностью отличаются сорта 'Хоней', 'Нелли', 'Сирия' и 'Флоренс', число ягод у них составило 83, 77, 75 и 62 шт./растение соответственно. Для них же отмечена самая высокая среди всех генотипов общая масса ягод (г/растение), превосходящая по данным исследований 1 кг: 1142,0; 1291,9; 1095,2 и 1127,8 г/растение. Высокими показателями продуктивности отличается также сорт 'Джайв' – 59 ягод и 913,2 г на растение. Наиболее высокие показатели массы ягод I порядка

и средней массы ягоды – у сортов 'Олимпия', 'Кемия', 'Флоренс' и 'Джайв'. Ягоды самого большого размера отмечены у сортов 'Олимпия' (длина и диаметр составляют 38,6 и 35,9 мм), 'Альба' (36,4 и 31,7 мм) и 'Кемия' (35,9 и 33,9 мм).

Достоверное превосходство сортов второй кластерной группы над первой по объединенному комплексному массиву учетных параметров обусловило целесообразность построения ранговых групп среди изученных сортов с использованием критерия наименьшей существенной разности $НСР_{05}$ и последующего нормирования средних значений признаков каждого отдельного сорта земляники по данному критерию. Значения $НСР_{05}$ при критерии Стьюдента t_{05} 1,96 по каждому признаку приводятся в таблице 1.

Таблица 1. Наименьшая существенная разность ($НСР_{05}$) для изученных признаков сортов земляники
Table 1. Least significant difference ($НСР_{05}$) for the studied characters of strawberry cultivars

Признак	Остаточный средний квадрат $mS_{ост.}$	Ошибка разности средних S_d	$НСР_{05}$
Число ягод (шт./растение)	264,52	13,27	26,0
Масса ягод I ^{го} порядка (г)	7,65	2,24	4,4
Средняя масса ягоды (г)	3,37	1,48	2,9
Высота ягоды (мм)	10,83	2,70	5,3
Диаметр ягоды (мм)	11,12	2,70	5,3
Биологический урожай (г/растение)	88712,66	243,21	476,7
Плотность мякоти ягоды (г)	5016,93	57,65	113,0

Для вычисления нормированного индексного показателя по каждому отдельному признаку использовалась следующая формула:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{НСР_{05}},$$

где I_i – нормированный индекс отбора по отдельному признаку;

x_i – среднее значение признака у отдельного сорта;

\bar{x} – среднее арифметическое значение признака по всем изученным сортам;

$НСР_{05}$ – наименьшая существенная разность по данному признаку.

Нормированные индексы признаков, вычисленные по формуле I_i , приводятся в таблице 2.

Наиболее высокие суммарные и средние значения нормированного индекса отмечаются для сортов 'Олимпия' (4,08 и 0,58), 'Нелли' (3,60 и 0,51), 'Флоренс' (2,26 и 0,32) и 'Кемия' (1,58 и 0,23); самые низкие – для сортов 'Магнус' (-3,84 и -0,55), 'Сибилла' (-3,66 и -0,52), 'Хоней' (-2,11 и -0,30) и 'Вивальди' (-2,05 и -0,29).

Отбор сортов земляники в соответствии с их производственной и коммерческой перспективой по общему объему хозяйственно ценных показателей предусматривал построение групп отбора, объединяющих изученные образцы с учетом наличия или отсутствия достоверных различий при попарном сравнении сортов друг с другом в модели теста Вилкоксона. Тест проводился на значениях полученных нормированных индексов. Пары изученных сортов, по которым были найдены достоверные различия, приводятся в таблице 3.

Главным условием формирования групп отбора выступало отсутствие достоверных парных различий среди сортов, входящих в одну группу.

Достоверность различий в 21 паре изученных образцов по учетным нормированным показателям согласно тесту Вилкоксона определила целесообразность построения диаграммы распределения средних значений индексов сортов земляники, графическое отображение которой представлено на рисунке 2.

Распределение средних значений нормированных индексов на плоскости показывает, что наиболее высокую хозяйственную перспективу имеют сорта 'Олимпия', 'Нелли', 'Флоренс' и 'Кемия'. Средние значения индексов у них превысили показатель 0,20 у. е. и составили 0,58; 0,51; 0,32 и 0,23 соответственно.

Хорошее производственное значение также представляют сорта 'Аура', 'Джайв', 'Альба' и 'Тея' с положительными средними значениями индексов 0,17; 0,17; 0,12 и 0,06.

Относительно невысоким уровнем хозяйственной ценности, соответствующей среднему нормированному индексу ниже нулевого значения, отличаются сорта 'Сирия', 'Лейтиция', 'Клери', 'Априка', 'Квики', 'Вивальди', 'Хоней', 'Сибилла' и 'Магнус'. Их нормированные показатели составили -0,01; -0,06; -0,08; -0,13; -0,28; -0,29; -0,30; -0,52 и -0,55.

Ряд сортов с отрицательными средними значениями нормированных индексов показали высокие положительные величины данного параметра по отдельным учетным признакам: по числу ягод и общей массе ягод – 'Хоней' (1,31 и 0,76), 'Сирия' (1,0 и 0,66), 'Вивальди' (0,42 и 0,32); по высоте ягоды – 'Клери' (0,45); по плотности мякоти ягоды – 'Априка' (0,71), 'Квики' (0,62), 'Лейтиция' (1,24), 'Сибилла' (0,88), 'Тея' (0,35).

Сочетание у одних и тех же изученных образцов земляники как положительных, так и отрицательных значений нормированных индексов отбора обусловило необходимость построения рангов сортов в соответствии с суммарными индексными значениями. Сорта и их ранги располагались в порядке убывания от большего к меньшему нормированному показателю. Результаты ранжирования представлены в таблице 4.

Во всех построенных рангах между сортами, вошедшими в них, достоверных парных различий по тесту Вилкоксона не наблюдалось, за исключением только одной пары: 'Вивальди' / 'Магнус' (см. табл. 3).

Таблица 2. Нормированные индексы изученных признаков сортов земляники**Table 2. Normalized indices of the studied characters of strawberry cultivars**

Сорт	Индексы признаков							Суммарный индекс сорта	Средний индекс сорта
	1	2	3	4	5	6	7		
Априка	-0,54	-0,20	-0,07	-0,28	-0,08	-0,47	0,71	-0,93	-0,13
Аура	-0,81	0,59	0,52	0,34	0,36	-0,60	0,80	1,20	0,17
Вивальди	0,42	-0,91	-0,14	-0,94	-0,62	0,32	-0,18	-2,05	-0,29
Джайв	0,38	0,34	-0,24	-0,04	0,21	0,28	0,27	1,20	0,17
Квики	-0,81	-0,11	-0,17	-0,30	-0,47	-0,71	0,62	-1,95	-0,28
Лейтиция	-0,27	-0,34	-0,14	-0,43	-0,23	-0,23	1,24	-0,40	-0,06
Магнус	0,00	-0,91	-0,76	-0,96	-0,66	-0,20	-0,35	-3,84	-0,55
Нелли	1,08	0,09	0,17	0,09	0,21	1,08	0,88	3,60	0,51
Олимпия	-0,54	1,36	0,72	1,17	1,02	-0,27	0,62	4,08	0,58
Сибилла	-0,81	-0,77	-0,76	-0,75	-0,64	-0,81	0,88	-3,66	-0,52
Тея	-0,54	0,48	0,07	0,26	0,25	-0,44	0,35	0,43	0,06
Клери	0,08	0,07	-0,31	0,45	-0,04	-0,04	-0,80	-0,59	-0,08
Альба	-0,19	0,14	0,48	0,75	0,23	-0,03	-0,53	0,85	0,12
Хоней	1,31	-1,11	-0,79	-0,42	-0,36	0,76	-1,50	-2,11	-0,30
Флоренс	0,50	0,61	0,72	0,36	0,58	0,73	-1,24	2,26	0,32
Кемия	-0,35	0,80	1,03	0,66	0,64	-0,05	-1,15	1,58	0,23
Сирия	1,00	-0,11	-0,52	-0,02	-0,47	0,66	-0,62	-0,08	-0,01

Примечание: 1 – число ягод (шт./растение); 2 – масса ягод I порядка (г); 3 – средняя масса ягоды (г); 4 – высота ягоды (мм); 5 – диаметр ягоды (мм); 6 – общая масса ягод (г/растение); 7 – плотность мякоти ягоды (г)

Note: 1 – number of berries (pcs. per plant); 2 – weight of the first-order berries (g); 3 – average berry weight (g); 4 – berry height (mm); 5 – berry diameter (mm); 6 – total berry weight (g per plant); 7 – berry pulp density (g)

Таблица 3. Достоверные парные различия между сортами земляники по нормированным индексам, согласно тесту Вилкоксона**Table 3. Significant paired differences among strawberry cultivars on the basis of normalized indices according to the Wilcoxon matched-pairs test**

Пары сортов	N	T	p-level
Априка / Нелли	7	0	0,018
Аура / Квики	7	0	0,028
Вивальди / Магнус	7	0	0,028
Вивальди / Нелли	7	0	0,018
Джайв / Магнус	7	0	0,018
Квики / Нелли	7	0	0,018
Лейтиция / Сибилла	7	0	0,018
Нелли / Магнус	7	0	0,018
Нелли / Сибилла	7	0	0,028
Нелли / Сирия	7	0	0,018

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Пары сортов	N	T	p-level
Олимпия / Квики	7	0	0,028
Олимпия / Тея	7	0	0,028
Априка / Олимпия	7	1	0,046
Априка / Сибилла	7	1	0,028
Аура / Олимпия	7	1	0,028
Аура / Сибилла	7	1	0,046
Нелли / Хоней	7	1	0,028
Олимпия / Сибилла	7	1	0,028
Джайв / Сибилла	7	2	0,043
Лейтиция / Нелли	7	2	0,043
Магнус / Флоренс	7	2	0,043

Примечание: N – число наблюдений по каждому сорту; T – критерий суммы рангов Вилкоксона; p-level – уровень значимости различий

Note: N – number of values for each cultivar; T – Wilcoxon rank-sum test; p-level – the significance level of differences



Рис. 2. Диаграмма распределения нормированных индексов сортов земляники

Fig. 2. Diagram showing distribution of normalized indices for strawberry cultivars

Таблица 4. Ранжирование сортов земляники по суммарным нормированным индексам

Table 4. Ranking of strawberry cultivars according to the summed normalized indices

Ранг	Сорта	Интервал индексов
1	Олимпия, Нелли, Флоренс, Кемия	4,08...1,58
2	Аура, Джайв, Альба, Тея	1,20...0,43
3	Сирия, Лейтиция, Клери, Априка	-0,08...-0,93
4	Квики, Вивальди, Хоней, Сибилла, Магнус	-1,95...-3,84

Значительный промышленный и рыночный интерес имеют сорта, составившие первый ранг – ‘Олимпия’, ‘Нелли’, ‘Флоренс’, ‘Кемия’.

Сорта второго ранга – ‘Аура’, ‘Джайв’, ‘Альба’ и ‘Тей’ – также могут представлять ценность для промышленного и частного садоводства.

Превышающие нулевое значение суммарные нормированные индексы сортов 1-го и 2-го рангов соответствуют комплексному сочетанию высоких показателей изученных хозяйственно ценных признаков.

Сорта земляники, вошедшие в последние 3-й и 4-й ранги, отличаются суммарными индексными значениями ниже нулевого по комплексу хозяйственно-биологических характеристик промышленного уровня, хотя и могут иметь высокие значения отдельных признаков продуктивности и качества ягод.

Совместное использование кластерного анализа по методу Уорда, нормирующего преобразования исходных данных в соответствии с показателем наименьшей существенной разности НСП₀₅ теста Вилкоксона на значениях нормированных индексов и графического распределения сортов по указанным индексам позволило провести отбор сортов земляники, отличающихся лучшими для производства сочетаниями учтенных признаков.

Большая часть сортов (6 из 8), отобранных в соответствии с положительными суммарными нормированными индексами (см. табл. 4), вошла в состав второй группы, построенной в результате кластерного анализа (см. рис. 1), что свидетельствует в пользу целесообразности сочетания процедур многомерной математической статистики и методов ранжирования с учетом преобразования исходных данных для отбора лучших образцов по комплексу признаков.

Сопоставляя состав второго кластера (см. рис. 1) с диаграммой распределения (см. рис. 2) и результатами ранжирования сортов по суммарным значениям нормированных индексов (см. табл. 4), в качестве лучших из 17 изученных выделены сорта земляники ‘Олимпия’, ‘Нелли’, ‘Флоренс’, ‘Кемия’, ‘Джайв’ и ‘Альба’.

Заключение

Сочетание иерархической кластеризации и теста Вилкоксона на данных нормированных индексов позволило выделить наиболее перспективные в рыночном и производственном отношении сорта земляники, сочетающие в себе комплекс хозяйственно ценных признаков продуктивности и качества ягод: ‘Олимпия’, ‘Нелли’, ‘Флоренс’, ‘Кемия’, ‘Джайв’ и ‘Альба’.

References / Литература

Barth E., de Resende J.T.V, Moreira A.F.P., Marigule K.H., Zeist A.R., Silva M.B. et al. Selection of experimental hybrids of strawberry using multivariate analysis. *Agronomy*. 2020;10(4):598. DOI: 10.3390/agronomy10040598

Chandler C.K., Folta K., Dale A., Whitaker V.M., Herrington M. Strawberry. In: M.L. Badenes, D.H. Byrne (eds). *Fruitbreeding*. New York, NY: Springer; 2012. p.305-325.

Fadeeva T.S. Strawberry genetics (Genetika zemlyaniki). Leningrad: Leningrad State University; 1975. [in Russian] (Фадеева Т.С. Генетика земляники. Ленинград: Ленинградский государственный университет; 1975).

Faedi W., Baruzzi G. References. Strawberry breeding. In: A. Husaini, D. Nari (eds). *Strawberry: Growth, Development and Diseases*. Wallingford: CABI; 2016. p.26-37.

Gauch H.G. Jr. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. 1st ed. Amsterdam: Elsevier Science; 1992.

Hancock J.F., Sjulín T.M., Lobos G.A. Strawberries. In: J.F. Hancock (ed.). *Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics*. Dordrecht: Springer; 2008. p.393-438.

Iglesias J.E., Pecharrómán C. Scaling the h-index for different scientific ISI fields. *Scientometrics*. 2007;73(3):303-320. DOI: 10.1007/s11192-007-1805-x

Klyushnikova E.V., Shitova E.M. Methodological approaches to calculation of integral index, ranking methods. *Electronic Journal "InnoCentre"*. 2016;1(10):4-18. [in Russian] (Клюшников Е.В., Шитова Е.М. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования. *Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр»*. 2016;1(10):4-18). URL: [http://innoj.tversu.ru/Vipusk1\(10\)2016/2%20-%20Клюшников.pdf](http://innoj.tversu.ru/Vipusk1(10)2016/2%20-%20Клюшников.pdf) [дата обращения: 09.02.2022].

Koyama R., Isibashi M., Fukuda I., Okino A., Osawa R., Uno Y. Pre- and post-harvest conditions affect polyphenol content in strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Plants*. 2022;11(17):2220. DOI: 10.3390/plants11172220

Lakin G.F. Biometrics (Биометрия). Moscow; 1990. [in Russian] (Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва; 1990).

Mandel I.D. Cluster analysis (Klasterny analiz). Moscow; 1988. [in Russian] (Мандель И.Д. Кластерный анализ. Москва; 1988).

Mozūraitis R., Hall D., Trandum N., Ralle B., Tunström K., Sigsgaard L. et al. Composition of strawberry floral volatiles and their effects on behavior of strawberry blossom weevil, *Anthonomus rubi*. *Journal of Chemical Ecology*. 2020;46(11-12):1069-1081. DOI: 10.1007/s10886-020-01221-2

Organization of technological processes in industrial fruit growing (North Caucasian region of the Russian Federation). Guidelines (Organizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v promyshlennom plodovodstve [Severo-Kavkazskiy region Rossiyskoy Federatsii]. Metodicheskiye rekomendatsii). Krasnodar: North Caucasian Research Institute of Horticulture and Viticulture; 2016. [in Russian] (Организация технологических процессов в промышленном плодоводстве (Северо-Кавказский регион Российской Федерации). Методические рекомендации. Краснодар: СКЗНИИСиВ; 2016).

Pacheco R.M., Duarte J.B., Vencovsky R., Pinheiro J.B., Oliveira A.B. Use of supplementary genotypes in AMMI analysis. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;110(5):812-818. DOI: 10.1007/s00122-004-1822-6

Schattman R.E., Smart A., Birkel S., Jean H., Barai K., Zhang Y.J. Strawberry growth under current and future rainfall scenarios. *Water*. 2022;14(3):313. DOI: 10.3390/w14030313

Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPK, 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).

Sharma S.P., Sharma N. Evaluation of strawberry cultivars for growth and yield characteristics in plain region of Chattisgarh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018;7(2):2835-2840. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.702.345

Snegireva M.S. Fractality of the species structure of parasitic communities of small mammals, reptiles, and insects (Fraktalnost vidovoy struktury parazitarnykh soobshchestv melkikh mlekopitayushchikh, reptilii y nasekomykh)

- [dissertation]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University; 2010. [in Russian] (Снегирева М.С. Фрактальность видовой структуры паразитарных сообществ мелких млекопитающих, рептилий и насекомых: дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет; 2010).
- Vieira S.D., de Souza D.C., Martins I.A., Ribeiro G.H.M.R., Resende L.V., Ferraz A.K.L. et al. Selection of experimental strawberry (*Fragaria × ananassa*) hybrids based on selection indices. *Genetics and Molecular Research*. 2017;16(1):gmr16019052. DOI: 10.4238/gmr16019052
- Zubov A.A. Theoretical foundations of strawberry breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii zemlyaniki). Michurinsk; 2004. [in Russian] (Зубов А.А. Теоретические основы селекции земляники. Мичуринск; 2004).

Информация об авторах

Вадим Игоревич Лапшин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, lavai@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9343-1082>

Валентина Владимировна Яковенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, yakovenko_valent@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4075-2130>

Information about the authors

Vadim I. Lapshin, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, lavai@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9343-1082>

Valentina V. Yakovenko, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, yakovenko_valent@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4075-2130>

Вклад авторов: Лапшин В.И. – 60%. Яковенко В.В. – 40%.

Contribution of the authors: Lapshin V.I. – 60%. Yakovenko V.V. – 40%.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023; одобрена после рецензирования 19.06.2023; принята к публикации 04.09.2023. The article was submitted on 14.02.2023; approved after reviewing on 19.06.2023; accepted for publication on 04.09.2023.