

УДК 634.23:581.19:631.52

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ПЛОДА ВИДОВ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ВИШЕН
КАК КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ
ПРИЗНАК ПРИ ИЗУЧЕНИИ
ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ**

Коваленко Наталья Николаевна
канд. с.-х. наук

*ОП «Светлогорское» СКЗНИИСиб,
Краснодарский край, Россия*

Волчков Юрий Андреевич
д-р биол. наук, профессор

*Кубанский государственный
университет, Краснодар, Россия*

С использованием математико-статистических методов дана классификация дальневосточных вишен по комплексу характеристик химического состава плода. По результатам кластерного анализа выделены 4 группы образцов дальневосточных вишен с целью направленного использования в скрещиваниях при селекции зимостойких сортов, устойчивых к грибным заболеваниям.

Ключевые слова: СЕЛЕКЦИЯ, ВИДЫ ВИШЕН, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ

UDC 634.23:581.19:631.52

**CHEMICAL COMPOSITION OF
FRUITS OF SPECIES FAR EASTERN
CHERRIES AS A CLASSIFICATION
CRITERION AT THE STUDY OF
SOURCE MATERIAL FOR BREEDING**

Kovalenko Natalia
Cand. Agr. Sci.

*PG "Svetlogorskoe" NCRRIH&V
Krasnodar, Russia*

Yuriy Volchikov
Dr. Sci. Biol., Professor

Kuban State University, Krasnodar, Russia

Classification of the Far Eastern cherries on complex characteristics of fruit chemical composition is given, with use of mathematical and statistical methods. Four groups of samples Far Eastern cherries for use in crossing in the breeding of winter-hardy varieties resistant to fungal diseases are identified according to the results of cluster analysis.

Keywords: BREEDING, SPECIES OF CHERRIES, CHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS, CLASSIFICATION

Введение. Важной задачей селекции вишни является получение зимостойких сортов, устойчивых к грибным заболеваниям [1-5]. Донорами этих признаков считаются некоторые виды, объединяемые в группу дальневосточных вишен: вишня сахалинская (*Cerasus sachalinensis* Koid.), вишня Максимовича (*Cerasus Maximoviczii*), вишня курильская (*Cerasus kurilensis*), вишня Маака (*Cerasus Maakii*), вишня пенсильванская (*Cerasus pensilvanica*). Их скрещивание с видами рода *Cerasus*, отличающимися вы-

сокими качествами плода, рассматривается поэтому как перспективный путь создания исходного материала для селекции [2, 3].

Работу по межвидовой гибридизации можно сделать более целенаправленной и рациональной, если предварительно классифицировать образцы селекционных коллекций, разделив их на некоторое количество отличающихся друг от друга групп. Отдельные представители групп и могут быть использованы в скрещиваниях. Наиболее важно выделить эти группы на основе признаков качества плода, прежде всего по характеристикам его химического состава. Такая классификация селекционных образцов, имеющих на Крымской опытно-селекционной станции, и входила в задачу данной работы.

В анализе данных естественно выделились 2 этапа. На первом из них выявлялась структура совокупности образцов, то есть, выделялись группы наиболее сходные по комплексу характеристик химического состава плода. На втором – выяснялись основные различия между группами.

Объекты и методы исследований. Описанию подлежали выборки растений 6 видов дальневосточных вишен (*Cerasus sachalinensis*, *Cerasus Maximoviczii*, *Cerasus Maakii*, *Cerasus pensilvanica*, *Cerasus kurilensis*, *Cerasus subhirtella*) в количестве 3, 10, 9, 4, 1, 1 образцов соответственно и восточно-азиатский гибрид.

Учитывали следующий комплекс признаков химического состава плода вишен [6, 7]:

- масса сухого вещества, % (SV);
- суммарное содержание сахаров, % (SS);
- суммарное содержание свободных кислот, % (SK);
- содержание аскорбиновой кислоты, мг на 100 г (AK);
- общая кислотность, pH;
- суммарное содержание полифенолов, мг на 100 г (PF);
- суммарное содержание пектинов, % (SP).

Таблица 1 – Происхождение образцов видов дальневосточных вишен

Образец	Происхождение
<i>C. kurilensis</i>	Россия, Курильские острова
<i>C. Subhirtella</i>	Польша, Познань
<i>C. sachalinensis</i> , X-13	Россия, Приморский край
<i>C. sachalinensis</i> , X-24	Россия, Приморский край
<i>C. sachalinensis</i> , Попова 1	Россия, Приморский край
<i>C. pensilvanica</i> , 1-24-1	Канада
<i>C. pensilvanica</i>	Канада
<i>C. pensilvanica</i> , 1-24-1	Канада
<i>C. pensilvanica</i> , 1-24-1	Канада
<i>C. Maximoviczii</i> , Рикорда 2	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , Рикорда 7	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , Рикорда 8	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , БГ-2	Приморский край
<i>C. Maximoviczii</i> , БГ-2	Приморский край
<i>C. Maximoviczii</i> , БИС	Приморский край
<i>C. Maximoviczii</i> , 99 Д 2	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , Минск	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , БГ-6	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maximoviczii</i> , К-2	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i>	Приморский край
<i>C. Maakii</i> , № 2	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 4	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 7	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 7	Юго-Восточная Азия
<i>C. 4Maakii</i> , Владивосток 16	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 18	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 22	Юго-Восточная Азия
<i>C. Maakii</i> , Владивосток 25	Юго-Восточная Азия
Восточноазиатский гибрид	Курильские острова

Видовая принадлежность изучаемых образцов коллекции, как видно в табл. 1, различна, но с позиции селекции все они объединяются в единую группу дальневосточных вишен по критерию общности тех селекционно-ценных признаков, донорами которых они могут являться при создании исходного материала за счет гибридизаций. Именно на этом основании 29

образцов коллекции, наиболее полно изученных по химическому составу плода, объединены в данном исследовании в единую группу, внутреннюю структуру которой и следовало изучить.

Круг использованных математико-статистических методов определен решаемой в работе задачей. В генетико-статистических понятиях ее можно определить как выявление и оценка генетической гетерогенности исходных сортов по результатам исследования структуры фенотипической изменчивости.

Для определения информативного комплекса признаков использованы такие разделы многомерного статистического анализа, как факторный и дискриминантный анализы.

Задача факторного анализа состоит в исследовании системы связей признаков корреляционной структуры. Факторный анализ основан на переходе из исходного пространства признаков, как правило, косоугольного, в силу их корреляций, в новые ортогональные пространства их линейных комбинаций. Значение линейных комбинаций, вычисленные для каждого объекта выборки, выступают в качестве его координат в новом пространстве. Если точки, соответствующие каким-либо признакам, в новом пространстве близко расположены, это означает, что признаки тесно коррелированы. Когда ряд признаков образует тесно коррелированную группу, появляется основание полагать, что за их изменчивостью стоит некоторая общая причина – фактор.

Дискриминантный анализ также построен на переходе из исходного пространства признаков в ортогональное пространство их линейных комбинаций – дискриминантных функций. Выбор направления осей нового пространства производится по критерию максимума отношения межгрупповой дисперсии к внутригрупповой. В результате этого расстояние (степень различия) между группами оценивается на фоне сведенной к минимуму внутригрупповой дисперсии наиболее объективно.

Для кластеризации использована одна из агломеративных иерархических процедур – метод Уорда (Ллойд, Лидерман, 1990). Этот метод кластерного анализа, в котором объединение двух классов минимизирует приращение общей дисперсии, приводит к формированию дендрита, разрезание которого на выбранном уровне и позволяет выделить группы.

Выбор метода Уорда определился критерием, положенным здесь в основу кластеризации – минимум внутрикластерной дисперсии учтенного комплекса признаков. Поскольку цель кластерного анализа состояла в объединении генетически однотипных растений, именно этот критерий представлялся наиболее адекватным.

Под структурой изменчивости мы понимаем компонентный состав фенотипической дисперсии признака (или признаков). В связи с этим основную роль в статистической обработке данных выполнил дисперсионный анализ. Основная идея метода заключается в изучении источников изменчивости зависимой переменной (отклика) и разложении общей дисперсии наблюдаемых значений отклика на составляющие – дисперсию, обусловленную влиянием изучаемых факторов, и остаточную дисперсию, являющуюся следствием действия случайных причин и неучтенных факторов.

Обсуждение результатов. Структура совокупности образцов селекционной коллекции дальневосточных вишен, выявляемая в анализе изменчивости комплекса характеристик химического состава плода. Оценка парных связей учтенных признаков с использованием статистики выборочного коэффициента корреляции Пирсона выявила целый ряд статистически достоверных корреляций (табл. 2).

Статистически достоверные корреляции установлены между содержанием сухих веществ (SV) и общей кислотностью (pH); содержанием свободных кислот (SK) и аскорбиновой кислоты (AK); суммой сахаров

(SS) и полифенолами (PF); свободными кислотами (SK) и полифенолами (PF); аскорбиновой кислотой (AK) и полифенолами (PF).

Значения коэффициента корреляции Пирсона для перечисленных пар признаков варьировали в пределах 0,46-0,81, что соответствует категориям средних или сильных корреляций.

Таблица 2 – Матрица парных корреляций характеристик химического состава плода дальневосточных вишен

Имя признака	SV	SS	SK	AK	PH	PF	SP
SV	1,00	0,27	-0,29	0,09	0,81*	0,02	0,01
SS	0,27	1,00	-0,20	-0,22	-0,05	-0,47*	-0,11
SK	-0,29	-0,20	1,00	0,67*	-0,27	0,46*	0,01
AK	0,09	-0,22	0,67*	1,00	0,20	0,68*	-0,12
PH	0,81*	-0,05	-0,27	0,20	1,00	0,23	-0,14
PF	0,02	-0,47*	0,46*	0,68*	0,23	1,00	-0,16
SP	0,01	-0,14	0,01	-0,12	-0,14	-0,16	1,00

Наличие связей между характеристиками химического состава плода оправдывало объединение их в линейную комбинацию как интегральную характеристику качества плода. Линейные комбинации получены с использованием метода главных компонент. Ортогональное пространство главных компонент обеспечило объективную попарную оценку сходства образцов по комплексу учтенных признаков. Показателем сходства в данном случае выступили евклидовы расстояния между соответствующими точками в пространстве главных компонент. Измерения расстояний, в свою очередь, создало необходимую основу для кластерного анализа, который был выполнен с использованием метода Уорда (рис. 1).

Результат кластеризации, судя по рис. 1, представляется вполне однозначным. Ясно выделяются четыре группы образцов в составе: (19, 13, 20, 12, 11), (18, 16, 15, 9, 14, 8, 17, 10, 7), (29, 27, 28, 24, 26, 22, 23, 25, 21), (6, 5, 4, 3, 2,1).

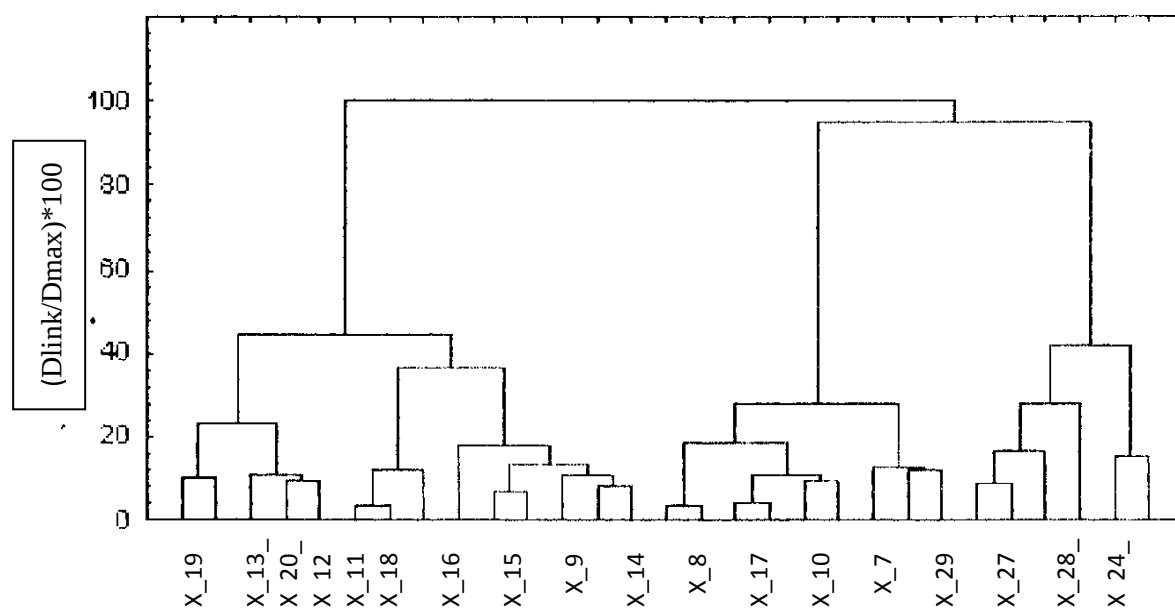


Рис. 1. Результаты кластерного анализа коллекции образцов дальневосточных вишен по комплексу коррелированных характеристик химического состава плода

Примечание: Абсцисса – порядковые номера образцов;
ордината – евклидовы расстояния (условные единицы),
на которых образцы объединяются в группы (кластеры)

Характерно, что состав кластеров не обнаружил тесной связи с видовой принадлежностью образцов. Так, например, в составе кластера 2 объединились представители вида *Cerasus Maximoviczii* (14-18) и *Cerasus pensilvanica* (7-9). В составе четвертого кластера – представители *Cerasus sachalineensis* (4-6), *Cerasus subhirtella* (3), восточноазиатский гибрид (2) и *Cerasus kurilensis* (1).

Иными словами, межвидовые различия в химических характеристиках плода у дальневосточных вишен выражены не столь ясно в сравнении с индивидуальной изменчивостью. Часты случаи, когда образцы из различных видов оказываются более сходными, чем принадлежащие к одному и тому же таксону. На сравнительный анализ выделенных четырех кластеров образцов и был ориентирован анализ данных о химическом составе плода.

Межгрупповые различия образцов коллекции дальневосточных вишен по характерам химического состава плода. Прежде всего, следовало оценить уровень межгрупповых различий на фоне индивидуальной изменчивости. Это представлялось тем более важным, что в состав групп в большинстве случаев вошли представители различных видов.

Лучшим решением этой задачи было проведение дисперсионного анализа по каждой из учтенных характеристик. Использована модель однофакторного дисперсионного анализа, где в качестве фактора выступала принадлежность образца к одному из четырех выделенных кластеров (табл. 3).

Таблица 3 – Дисперсионный анализ изменчивости характеристик химического состава плода в коллекции образцов дальневосточных вишен

Изменчивость	df	mS	F	Дисперсия	Доля в общей дисперсии, %
Содержание сухих веществ (SV)					
Между группами	3	74,0	4,8*	8,10	34,4
Индивидуальная	25	15,4	-	15,40	65,6
Сумма сахаров (SS)					
Между группами	3	46,0	3,6*	4,50	26,0
Индивидуальная	25	12,7	-	12,70	73,9
Содержание свободных кислот (SK)					
Между группами	3	2,0	82,9*	0,27	93,1
Индивидуальная	25	0,02	-	0,02	6,9
Содержание аскорбиновой кислоты (AK)					
Между группами	3	118,0	15,6*	15,20	67,1
Индивидуальная	25	7,5	-	7,50	32,9
Кислотность (pH)					
Между группами	3	2,0	35,2*	0,20	66,6
Индивидуальная	25	0,1	-	0,10	33,4
Содержание полифенолов (PF)					
Между группами	3	2018439,0	10,7*	252365,10	57,2
Индивидуальная	25	188791,4	-	188791,40	42,8
Сумма пектинов (SP)					
Между группами	3	1,0	4,8*	0,10	50,0
Индивидуальная	25	0,1	-	0,10	50,0

Статистически достоверные межгрупповые различия выявлены по всем, без исключения, учтенным признакам. Варьировал лишь вклад межгрупповой дисперсии в общую – от 34,4 до 93,1%. В этом первое из свидетельств в пользу высокого качества кластерного решения.

Дисперсионный анализ завершен сравнением межгрупповых средних (табл. 4).

Таблица 4 – Средние по группе значения характеристик химического состава плода и результаты оценки достоверности их различий

Кластеры	Имя признака						
	SV	SS	SK	AK	pH	PF	SP
1	25,35000	13,76000	1,454000	18,37400	3,690000	2458,000	0,552000
2	24,68556	10,40000	1,217778	14,83,889	3,454444	2013,333	1,223333
3	31,16222	10,37778	0,693333	14,95000	4,540000	2302,222	0,793333
4	26,23000	15,53333	0,271667	7,62500	3,608333	1165,000	0,881667
Среднее	27,12966	12,03448	0,900000	13,99034	3,894828	2004,138	0,903448

Судя по данным табл. 4, картина межгрупповых различий достаточно сложна. Действительно, при наличии достоверных различий между конкретными кластерами по одной из характеристик, по другой такие различия отсутствуют.

В этой ситуации следовало, во-первых, изучить корреляционную структуру характеристик химического состава плода, во-вторых, выявить те из них, которые в первую очередь определили группировку образцов коллекции в кластеры. Первая задача решена в факторном анализе, вторая – в дисперсионном [8].

Факторный анализ позволяет исследовать распределение признаков в ортогональном пространстве и по критерию близости соответствующих точек выделить группы наиболее тесно коррелированных, такие группы принято называть факторными плеядами. Факторный анализ начинается с построения ортогонального пространства главных компонент, где координатами признаков служат их коэффициенты в соответствующих линейных комбинациях главных компонент.

Однако стандартная процедура факторного анализа предполагает еще и вращения (ротацию) осей нового пространства с целью сделать вклады признаков в линейные комбинации более контрастными. Когда вклады одних признаков становятся больше, а другие – меньше, чем в главные компоненты, выделение факторных плеяд существенно облегчается. Точки тесно коррелированных признаков оказываются ближе, а слабо коррелированных признаков – дальше друг от друга.

Графический результат факторного анализа, выполненный с вращением типа "varimax normalized" представлен на рис. 2.

Ясно выделяются три факторные плеяды признаков в составе (АК, PF, SK), (PH, SV), (SP, SS). Разделение признаков на три ясно различимых плеяды уже однозначно свидетельствует о том, что вклад признаков в разделение кластеров неодинаков. Определение этого вклада обеспечил дискриминантный анализ. Этот метод из категории многомерных основан на построении такого пространства с ортогональными осями, в котором внутригрупповая дисперсия минимизируется, и на этом фоне межгрупповые различия становятся более ясными и поддаются объективной оценке.

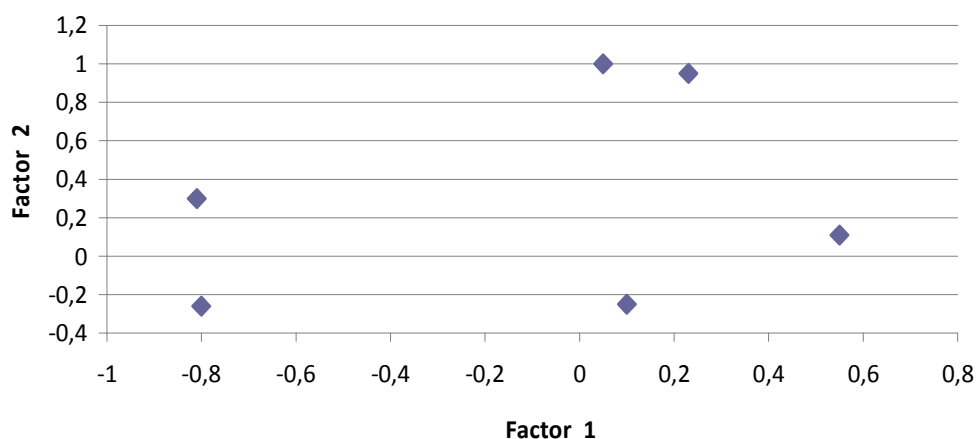


Рис. 2. Ординация характеристик химического состава плода вишен в пространстве двух первых факторов

В этом смысле дисперсионный анализ оказывается наилучшим способом оценки качества ранее полученного кластерного решения. Если это решение верно, в пространстве дискриминантных функций объекты из различных кластеров удалены друг от друга, а объекты одного кластера образуют компактную группу точек. Именно такая ситуация и была зафиксирована по результатам дисперсионного анализа (рис. 3).

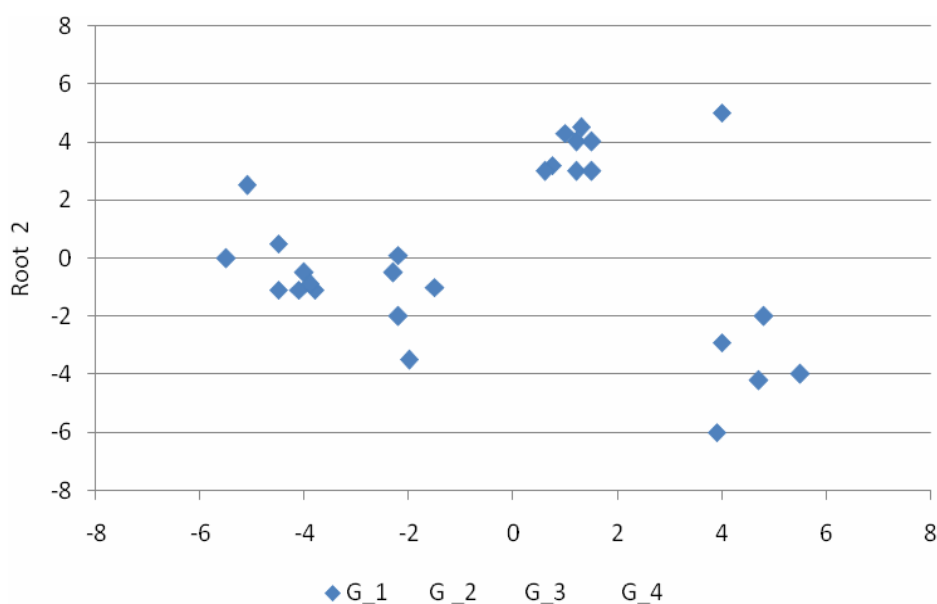


Рис. 3. Распределение объектов четырех кластеров дальневосточных вишен в пространстве двух первых дисперсионных функций

Вклады признаков в дисперсионные функции, отражающие их роль в выделении кластеров, были определены при составлении стандартизированных коэффициентов (табл. 5).

Таблица 5 – Вклады признаков в дисперсионные функции

Имя признака	Дискриминантная функция 1	Дискриминантная функция 2	Дискриминантная функция 3	Средний взвешенный модуль вклада
SV	-0,26273	-0,585846	0,215497	0,386
SS	-0,11632	-0,252914	-0,776164	0,184
SK	-0,94130	0,203744	0,041284	0,626
AK	0,21045	0,026185	-0,064973	0,134
pH	0,49319	1,407491	0,025980	0,831
PF	-0,27930	0,518497	-0,260437	0,371
SP	-0,24925	-0,230535	0,715070	0,255
Процент учтенной дисперсии	0,58	0,39	0,03	

Поскольку статистически достоверные различия между четырьмя кластерами установлены по средним значениям всех трех дисперсионных функций, при расчете среднего вклада признака в разделения кластеров были учтены коэффициенты именно трех функций. Но поскольку доля учитываемой ими дисперсии, естественно, прогрессивно падает, средний вклад был вычислен как взвешенный на долю дисперсии. Так, например, вклад признака SV вычислен следующим образом:

$$0,26 \cdot 0,58 + 0,58 \cdot 0,39 + 0,21 \cdot 0,03 = 0,386.$$

Судя по среднему взвешенному модулю вклада, наибольшую роль в разделении совокупности образцов дальневосточной вишни на кластеры сыграли две характеристики химического состава плода – содержание свободных кислот (вклад 0,626) и кислотность (вклад 0,831).

Выводы. По результатам кластерного анализа коллекции образцов дальневосточных вишен по комплексу коррелированных характеристик химического состава плода выделено четыре группы образцов, состав которых не обнаружил тесной связи с видовой принадлежностью.

Статистически достоверные различия между группами выявлены по всем без исключения характеристикам химического состава плода, но вклад межгрупповых различий в общую дисперсию варьировал от 34,4 до 93,1%.

Дискриминантный анализ выявил в качестве основных различий между группами содержание свободных кислот и величину pH. Содержание свободных кислот в образцах разных групп варьировало от 0,27 до 1,45%; величина pH – от 3,4 до 4,5.

Литература

1. Вишня. Дикорастущие косточковые плодовые растения Дальнего Востока; под ред. А.А. Юшева // Каталог мировой коллекции ВИР. – Л.: ВИР, 1991.– Вып. 573.– 140 с.
2. Денисюк, А.Л. Отдаленная гибридизация в селекции вишни /А.Л. Денисюк // Вишня и черешня. – Киев: Урожай, 1975.– С. 164-168.
3. Еремин, Г.В. Отдаленная гибридизация косточковых плодовых растений / Г.В. Еремин.– М.: Агропромиздат, 1985. – 280 с.
4. Еремин, Г.В. Дикорастущие косточковые плодовые растения России и стран Ближнего зарубежья и их использование в селекции / Г.В. Еремин // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – СПб., 2009. – Т. 166. – С. 81-87.
5. Царенко, В.П. Дикорастущие вишни острова Петрова (Приморский край) / В.П. Царенко, А.А. Таран.– Сб. научных тр. по прикл. бот., ген. и селекц.– 1984, Т. 90.– С. 26-31.
6. Ермаков, А.И. Методы биохимических исследований сельскохозяйственных растений/ А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош [и др.]. – Л.: Агропромиздат, 1987.– 430 с.
7. Запрометов, М.Н. Основы биохимии фенольных соединений/ М.Н. Запрометов.– М.: Высш. шк., 1974.– 214 с.
8. Олдендерфер, М.С. Кластерный анализ / М.С. Олдендерфер, С.К. Блешфилд // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989.– С. 139-210.