

林芝市引进梨品种果实品质的综合分析与评价模型构建¹

叶彦辉, 王秀, 柳羽, 韩艳英*, 张西哲, 陶江, 周玉柳

(西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏林芝 860000)

摘要:【目的】西藏自治区地理位置和气候条件特殊, 拥有一些特异品质的梨果资源。然而, 生产中梨品种的单一性及管理水平的不足限制了其市场竞争力。【方法】以在西藏林芝市引入的 9 个梨品种作为试验材料, 成熟后测定其 12 项果实品质指标。通过相关性分析和因子分析, 建立基于因子分析、主成分分析、线性回归分析以及相似性分析的综合品质评价模型, 并根据综合品质得分进行优良度排序, 筛选出适宜林芝市种植的优良梨品种。【结果】9 个梨品种的果实品质性状变异系数有所不同, 其中果形指数的变异系数较大, 单果质量、果实硬度、可滴定酸含量、固酸比和石细胞含量的变异系数均中等, 果实横径、果实纵径、果心横径、果心比、可溶性固形物和维生素 C 含量的变异系数均相对较小。9 个梨品种的 12 项果实品质性状的因子分析得知, 前 4 个公因子的累计方差贡献率达 89.120%, 其中, 第 1 公因子的贡献率为 37.240%, 主要反映果实大小和酸甜口感品质的高低, 第 2 公因子的贡献率为 20.658%, 主要反映了梨果实的软硬程度, 第 3 个公因子的贡献率为 17.760%, 主要反映了果实形状和维生素 C 含量的高低, 第 4 个公因子的贡献率为 13.642%, 主要反映了果实可食部分大小和果实糖含量的大小。各品种间存在显著的统计差异 ($R = 0.768$, $p = 0.001$), 新梨七号和晚秋黄品种显示出最大的差异性。品种间在多维性状上的分布特点说明重量和横径被识别为分类的关键因素。经综合品质评价模型得出, 9 个梨品种在林芝种植后的果实综合品质得分的排序顺序为圆黄、华山、翠冠、中梨 1 号、初夏绿、新梨七号、翠玉、红太阳和晚秋黄。【结论】该研究结果对于指导西藏自治区内特色梨品种的选育和促进梨产业的可持续发展具有重要意义。

关键词: 梨, 林芝, 果实品质, 相关性分析, 因子分析, 主成分分析, 相似性分析

中图分类号: S661.2 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)10-0001-08

Comprehensive analysis and evaluation model construction of fruit quality for introduced pear varieties in Nyingchi City

YE Yanhui, WANG Xiu, LIU Yu, HAN Yanying*, ZHANG Xizhe, TAO Jiang, ZHOU Yuliu

(Resources & Environment College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, Xizang, China)

Abstract:【Objective】Nestled in the towering highlands of the Qinghai-Tibet Plateau, Tibet is a region blessed with an extraordinary blend of geographical and climatic conditions that have nurtured an exceptional diversity of pear varieties. These varieties, renowned for their unique flavors, textures, and adaptability to harsh environments, hold immense potential to contribute significantly to the local

收稿日期: 2024-06-06

接受日期: 2024-07-15

基金项目: 林芝市科技计划项目 (2023-XYQ-006); 西藏农牧学院研究生教育创新计划项目

(YJS2022-07, YJS2023-11); 西藏林芝苹果科技小院 (XY2024-03); 西藏自治区科技计划重点研发计划

(XZ202401ZY0032) 西藏自治区科技计划重大专项 (XZ202101ZD003N); 西藏农牧学院 2024 重点学科建设项目 (XK2024-04, XK2024-01)

作者简介: 叶彦辉, 男, 副教授, 博士, 研究方向为经济林研究。E-mail: 260383872@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: 1064336015@qq.com

agricultural economy and enhance the overall well-being of the region. However, despite their inherent advantages, the pear industry in Tibet faces several formidable challenges that threaten to hinder its growth and development. Chief among these challenges is the dearth of variety diversity within the local pear cultivation portfolio. The limited number of pear varieties grown in Tibet restricts the range of products available to consumers, limiting the market appeal and competitiveness of the fruit industry. Additionally, suboptimal production management practices, such as inadequate irrigation, fertilization, and pest management, further constrain the yield and quality of pears produced in the region. In light of these challenges, the overarching goal of this study is to introduce high-quality pear varieties from mainland China into Tibet. By diversifying the local pear cultivation portfolio with varieties that are well-suited to the unique conditions of Tibet, we aim to enhance the competitiveness of the fruit industry and lay the theoretical groundwork for fostering the sustainable growth and development of Tibet's characteristic fruit industry.

【Method】 To achieve this objective, a rigorous selection process was undertaken to identify suitable pear varieties from mainland China for introduction into Tibet. Nine diverse pear varieties, each with its unique characteristics and growth requirements, were carefully chosen as the experimental materials for this study. These varieties were then cultivated in Nyingchi, a region renowned for its favorable climatic conditions that are ideal for pear cultivation. Upon reaching maturity, a comprehensive evaluation was conducted on the cultivated pear varieties to assess their fruit quality traits. Twelve crucial fruit quality indicators were selected for evaluation, including fruit shape, weight, firmness, titratable acid content, solid-acid ratio, stone cell content, and nutritional components such as soluble solids and vitamin C. These indicators were chosen based on their importance in determining the overall quality and market appeal of pears. To facilitate an in-depth analysis of the data collected, a comprehensive quality evaluation model was developed. This model incorporated techniques such as factor analysis, principal component analysis, linear regression analysis, and similarity analysis to extract meaningful insights from the vast amount of data. Factor analysis was used to identify the underlying factors that drive variations in fruit quality traits among the different pear varieties. By decomposing the total variance in fruit quality traits into a set of independent factors, factor analysis revealed the key factors that contribute to the overall quality of pears. Principal component analysis was then applied to reduce the dimensionality of the data while retaining most of the variation in fruit quality traits. By transforming the original variables into a new set of uncorrelated variables called principal components, principal component analysis facilitated a more efficient analysis of the data. Linear regression analysis was used to examine the relationships between fruit quality traits and potential explanatory variables such as variety, cultivation conditions, and harvest time. This analysis provided insights into the factors that influence fruit quality and identified opportunities for improvement in production management practices. Finally, similarity analysis was employed to assess the similarity and dissimilarity among the

different pear varieties based on their fruit quality traits. By comparing the profiles of fruit quality traits among varieties, similarity analysis revealed patterns and clusters that facilitated the classification and ranking of pear varieties. The comprehensive quality evaluation model served as a robust framework for categorizing and ranking the pear varieties based on their overall quality scores. By integrating the insights from factor analysis, principal component analysis, linear regression analysis, and similarity analysis, the model provided a holistic understanding of the strengths and weaknesses of each variety, enabling informed decision-making in variety selection and cultivation strategies. **【Result】** The cultivation of nine diverse pear varieties in Nyingchi yielded results that offered valuable insights into the fruit quality traits of these varieties. A detailed analysis of the results revealed substantial variations in fruit quality traits among the different varieties. Firstly, the coefficient of variation (CV) for the fruit shape index was conspicuously high, indicating a broad spectrum of fruit shapes among the pear varieties. This diversity in shape not only adds visual appeal to the fruits but also reflects unique growth patterns and physiological characteristics that contribute to their overall quality. The variety of fruit shapes observed in this study highlights the potential for diversifying the local pear cultivation portfolio with varieties that offer a wider range of products to consumers. In contrast to the fruit shape index, the CVs for single fruit weight, fruit firmness, titratable acid content, solid-acid ratio, and stone cell content exhibited moderate variations. These moderate variations suggest that while there are differences in these attributes among the different pear varieties, they are generally within a similar range. This consistency in these fruit quality traits indicates that the pear varieties evaluated in this study possess comparable levels of maturity and ripeness, enabling a more meaningful comparison of their overall quality. On the other hand, the CVs for fruit dimensions (both transverse and longitudinal diameters), core dimensions, soluble solids, and vitamin C content were relatively low. This low variability in these parameters suggests a certain level of uniformity across the different pear varieties in terms of size, core size, sweetness, and nutritional value. While this consistency may limit the range of products available to consumers, it also indicates a high level of maturity and ripeness among the pear varieties evaluated in this study. Factor analysis revealed four primary factors that collectively explained 89.120% of the total variance in fruit quality traits among the pear varieties. Each factor represented distinct characteristics that contribute to the overall quality of pears, including size, firmness, shape, and nutritional value. The identification of these underlying factors provides insights into the key attributes that drive variations in fruit quality among the different pear varieties and enables targeted improvements in production management practices to enhance fruit quality. Statistical analysis demonstrated significant differences among the pear varieties evaluated in this study ($R = 0.768$, $P = 0.001$). In particular, Xinli No.7 and Wanqiu Huang exhibited the most notable disparities in terms of their fruit quality traits. This finding highlights the importance of variety selection in determining the overall quality and market appeal of pears produced in Tibet. Based

on the comprehensive quality evaluation model developed in this study, the nine pear varieties were ranked in terms of their overall quality scores. Yuanhuang emerged as the top performer, followed by Huashan and Cuiguan in descending order. This ranking provides valuable insights into the relative strengths and weaknesses of each variety and enables informed decision-making in variety selection and cultivation strategies. In addition to the overall quality scores, the comprehensive quality evaluation model also revealed patterns and clusters among the different pear varieties based on their fruit quality traits. Weight and transverse diameter emerged as crucial factors for variety classification based on a multidimensional trait analysis. These factors are important indicators of fruit size and shape, which are crucial determinants of market appeal and consumer preferences. **【Conclusion】** The findings of this study have profound implications for the pear industry in Tibet and offer valuable insights into the potential for introducing high-quality pear varieties from mainland China to enhance the competitiveness of the local fruit industry. Firstly, the introduction of diverse pear varieties from mainland China can enrich the local pear cultivation portfolio and expand the range of products available to consumers. The variety of fruit shapes, sizes, and flavors offered by these varieties has the potential to attract a wider range of customers and enhance the market appeal of pears produced in Tibet. Secondly, the comprehensive quality evaluation model developed in this study provides a robust tool for assessing and ranking pear varieties based on their overall quality scores. By integrating advanced analytical techniques such as factor analysis, principal component analysis, linear regression analysis, and similarity analysis, the model enables a holistic understanding of the strengths and weaknesses of each variety. This information is crucial for making informed decisions in variety selection and cultivation strategies to optimize fruit quality and yield. Furthermore, the identification of key factors that drive variations in fruit quality traits among the different pear varieties offers insights into potential areas for improvement in production management practices. By targeting these factors through improvements in irrigation, fertilization, pest management, and other agricultural practices, farmers in Tibet can enhance the yield and quality of pears produced in the region. Finally, this research lays the theoretical foundation for fostering the sustainable development of Tibet's unique fruit industry and enhancing its market competitiveness in the global market. By introducing high-quality pear varieties and optimizing production management practices, Tibet can position itself as a leading producer of high-quality fruits that meet the demands of discerning consumers worldwide. This not only contributes to the economic growth and development of the region but also enhances the overall well-being of its residents through improved access to nutritious and delicious fruits.

Keywords: Pear, Nyingchi, Fruit quality, Correlation analysis, Factor analysis, Principal component analysis, Similarity analysis

梨 (*Pyrus* spp.) 是蔷薇科 (Rosaceae) 梨属 (*Pyrus* L.) 的一种多年生落叶果树。中国作为梨的原产地之一, 拥有丰富的梨属资源, 为深入研究梨种质资源的多样性提供了宝贵的

材料^[1]。在西藏地区，因其独特的地理和气候条件，梨果富含花青苷和 SOD，深受消费者和游客的喜爱。但长期以来，区内存在梨品种结构和分布不合理、品种单一、生产管理水平低下以及产销贮藏体系不完善等问题，难以满足消费者的多样化需求^[2-4]。因此，为解决上述问题，笔者计划引进国内外的优良新品种，并结合本地资源，以期筛选出既适应西藏地区生长环境又具备独特特色的梨品种，对于推动区内特色林果业的发展，以及调整西藏果树种植结构具有重要的意义。目前，已经有关于西藏梨品种的引进^[5-9]、产业化推广示范^[10]以及发展现状^[2,4]的研究报道。然而，西藏栽培的梨品种果实品质性状进行品种优选的研究尚未见报道。

本研究以 2017 年从内地引进的 9 个不同成熟期的梨品种为试验材料，并对其 12 项果实品质指标进行了测定。通过运用相关性分析和因子分析的方法，建立了一个基于因子分析的综合品质评价模型，筛选出适应西藏特殊气候条件的优良梨品种，为区内特色梨品种的选育和推动本地区林果业的可持续发展提供技术依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选用从内地引进林芝栽培的初夏绿、圆黄、中梨 1 号、翠冠、红太阳、华山、翠玉、新梨七号和晚秋黄 9 个梨品种果实作为研究材料。其中，梨树于 2017 年按照株行距 3 m×4 m 定植在西藏自治区林芝市米林县羌纳乡（北纬 29° 36′，东经 94° 43′）的试验地。2020 年开始稳定结果。实验过程中，为确保数据准确性，于 2023 年 8—11 月按果实成熟期分批次采摘梨果。

1.2 试验方法

在试验区中，排除边行树，随机选择树势基本一致的梨树各 3 株。待果实成熟后，分别从每株树的向东面上、中、下三个高度采集内膛和外围的无病虫害、无损伤且完全成熟的 6 个果实。采集后的果实被装入自封袋并带回实验室进行各项指标的测定。

根据《梨种质资源描述规范和数据标准》^[11]，确定果实的外形，并使用精度为 0.01 g 的天平称量单果质量，使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量果实的横纵径。每个指标均重复测定 3 次，并通过果实纵径与果实横径的比值计算出果形指数。

果实的内在品质指标包括硬度、果心横径、可溶性固形物、石细胞含量、可滴定酸、维生素 C 含量以及固酸比。果实硬度使用数显式水果硬度计（GY-4，艾德堡，8 mm）进行测定；将果实横切后，用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量果心横径，并通过果心横径与果实横径的比值计算出果心比；果实可溶性固形物含量采用手持高精度数显糖度计进行测定；可滴定酸采用 NaOH 滴定法进行测定^[12]，并通过可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值计算出固酸比；维生素 C 采用 2,6-二氯靛酚滴定法进行测定^[12]；石细胞含量则通过冷冻法进行测定^[11]。每个指标 3 次重复。

1.3 数据处理

在数据预处理阶段，品质指标间的关系采用 SPSS 和 Origin 2022 进行相关性分析、因子分析、主成分分析、相似性、差异性和回归效应分析。

其中，在进行因子分析之前，为确保数据的规范性和一致性，对原始数据进行了标准化的纯量处理^[13]。具体而言，果实单果质量、果实横径、果实纵径、果形指数、果实硬度、可溶性固形物含量、固酸比以及维生素 C 含量这些指标与品质正相关，依据公式（1）进行计算。果心横径、果心比以及可滴定酸含量与品质负相关，依据公式（2）进行计算。

$$U_{in} = \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (1)$$

$$U'_{in} = 1 - \frac{X_{in} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} = 1 - U_{in} \quad (2)$$

式中： U_{in} 和 U'_{in} 分别为正相关和负相关指标第 n 个样品第 i 个指标的原始值经转化后的隶属函数值； X_{in} 指第 n 个样品第 i 个指标的原始测定值； X_{imax} 和 X_{imin} 分别指样品组中第 i 个指标的最大值和最小值。

2 结果与分析

2.1 9 个梨品种果实品质分析

由表 1 可以看出，9 个梨品种的 12 项果实品质指标均表现出不同程度的变异。在这些指标中，果形指数的变异系数最大，达到了 95.35%。在这 9 个品种中，红太阳的果形指数最高，为 1.02，紧随其后的是新梨七号的 0.97，而圆黄、翠玉和晚秋黄的果形指数最低，均为 0.79。石细胞含量的变异系数次之，为 56.82%。在梨果中，石细胞含量越少品质越好。在这 9 个品种中，新梨七号的石细胞含量最低，仅为 0.10%，圆黄次之，为 0.19%。而红太阳和晚秋黄的石细胞含量相对较高，均在 0.80% 以上。

单果质量、果实硬度、可滴定酸含量和固酸比这四项果实品质指标的变异系数较为接近，范围在 30.00~33.56% 之间。其中，晚秋黄的硬度最大，为 20.31 kg·cm⁻²；翠玉的固酸比最高，为 66.57；圆黄的单果质量与可滴定酸含量也均为最高，分别为 232.65 g 和 0.48%。而初夏绿、中梨 1 号、翠冠和华山的单果质量、果实硬度、可滴定酸含量和固酸比整体均处于中等水平。相比之下，晚秋黄的单果质量最小，为 90.83 g；圆黄的固酸比最小，为 25.45；而新梨七号的果实硬度和可滴定酸含量均为最低。维生素 C 含量的变异系数为 14.18%。在这 9 个品种中，华山的维生素 C 含量最高，为 33.33 mg·kg⁻¹，晚秋黄次之，为 31.32 mg·kg⁻¹，而翠冠的维生素 C 含量最低，为 22.56 mg·kg⁻¹。

另外，果实横径、果实纵径、果心横径、果心比和可溶性固形物含量这五项果实品质指标在 9 个品种间的变异系数均较低，介于 9.14% 和 10.93% 之间。圆黄的果实横径最大，为 77.65 mm；红太阳的果实纵径最大，为 61.56 mm。而初夏绿、翠冠和新梨七号的可溶性固形物含量相对较低，介于 9.19% 与 10.18% 之间。相比之下，圆黄、红太阳、华山和晚秋黄的可溶性固形物含量均较高。此外，梨果的果心越小，果肉比率越高，因此果心比最小的为翠冠 (0.34)，而最大的为红太阳 (0.45)。

表 1 9 个梨品种果实品质

Table 1 Fruit quality of 9 pear cultivars

果实品质指标 Fruit quality indicators	9 个梨品种										标准 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient/%
	初夏绿 Chuxialü	圆黄 Yuanhuang	中梨 1 号 Zhongli No. 1	翠冠 Cuiguan	冠红 Guangong	太阳 Taiyang	华山 Huashan	翠玉 Cuiyu	新梨七号 Xinli No. 7	晚秋 Wanqiu		
单果质量 Single fruit mass/g	141.76±23.31	232.65±42.72	154.13±28.50	140.20±25.22	128.00±24.04	192.52±51.90	126.26±23.29	121.28±7.21	90.83±19.17	144.18	45.43	31.51
果实横径 Fruit diameter/mm	65.16±3.68	77.65±4.21	67.33±4.33	63.64±4.23	61.69±4.17	74.70±6.31	64.80±4.07	55.78±2.64	57.78±4.95	65.40	7.15	10.93
果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	57.28±2.57	61.54±4.33	54.21±4.03	57.26±4.17	61.56±5.12	59.57±6.12	51.01±3.38	53.74±1.10	45.67±3.40	55.76	5.21	9.34
果形指数	0.88±0.28	0.79±0.03	0.81±0.03	0.88±0.60	1.02±0.04	0.80±0.60	0.79±0.04	0.97±0.04	0.79±0.04	0.86	0.82	95.35

Fruit shape index													
果心横径	24.81±2.55	27.75±2.73	24.46±2.84	21.36±1.95	27.42±3.14	28.16±3.5	27.29±2.90	26.07±1.32	23.07±2.83	25.60	2.34	9.14	
Core transverse diameter/mm	3												
果心比	0.38±0.03	0.36±0.04	0.36±0.03	0.34±0.03	0.45±0.05	0.38±0.04	0.42±0.04	0.43±0.14	0.40±0.05	0.39	0.04	10.26	
Fruit-to-heart ratio													
果实硬度	10.24±1.02	13.25±1.16	10.41±1.07	9.27±0.86	14.71±2.02	11.98±1.7	8.43±0.97	7.35±0.82	20.31±3.57	11.77	3.95	33.56	
Fruit firmness/(kg·cm ⁻²)	2												
w(可溶性固形物)	9.19±0.56	12.09±1.21	11.03±0.85	10.18±0.97	12.50±0.86	12.20±0.9	12.40±0.88	10.17±0.54	11.91±1.01	11.30	1.20	10.62	
Soluble solid content/%	7												
w(可滴定酸)	0.28±0.06	0.48±0.05	0.32±0.07	0.29±0.05	0.33±0.15	0.29±0.09	0.22±0.11	0.15±0.20	0.29±0.08	0.30	0.09	30.00	
Titrateable acid content/%	20												
固酸比	33.06±7.58	25.45±3.51	35.89±8.36	36.34±7.20	39.37±18.06	45.82±14	66.57±30.11	66.22±7.97	45.24±16.12	43.78	14.22	32.48	
Solid-acid ratio	20												
w(维生素C)	30.04±3.93	25.57±2.73	25.13±2.77	22.56±3.78	23.99±7.45	33.33±4.5	23.51±4.75	25.54±3.71	31.32±4.97	26.81	0.04	14.18	
Vitamin C content/(mg·kg ⁻¹)	3												
石细胞含量	0.48±0.9	0.19±0.10	0.40±0.09	0.47±0.12	0.81±0.27	0.32±0.16	0.37±0.20	0.10±0.10	0.84±0.84	0.44	0.25	56.82	
Amount of stone cells/%													

2.2 9个梨品种果实品质性状的相关性分析

根据表 2, 单果质量与果实横径、果实纵径、可滴定酸含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与果心比、固酸比呈显著负相关关系 ($p < 0.05$), 即单果质量越大, 果实横径、果实纵径和可滴定酸含量越高, 果心比和固酸比越小; 果实横径与果实纵径呈显著正相关 ($p < 0.05$), 与可滴定酸含量呈极显著相关 ($p < 0.01$), 与果心比、固酸比呈显著负相关 ($p < 0.05$), 即果实横径越大, 果实纵径越大, 可滴定酸含量越高, 果心比和固酸比越小; 果形指数与果心比呈显著正相关 ($p < 0.05$), 即果形指数越大, 果心比越大; 果心比与固酸比呈显著正相关 ($p < 0.05$), 即果心比越大, 固酸比越大; 果实硬度与石细胞含量呈显著正相关关系 ($p < 0.05$), 即果实硬度越大, 石细胞含量越高; 可滴定酸含量与固酸比呈极显著负相关 ($p < 0.05$), 即可滴定酸含量越高, 固酸比越小。综上, 12 项指标间存在着普遍的相关性, 如进行综合评价, 则应除去指标间的信息重复, 避免结果出现偏差^[14]。

表 2 9 个梨品种果实品质指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of fruit quality indexes of 9 pear cultivars

果实品质指标 Fruit quality indicators	单果质量 Single fruit mass	果实横径 Fruit diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	果心横径 Core transverse diameter	果心比 Fruit-to-heart ratio	果实硬度 Fruit firmness	可溶性固形物含量 Soluble solid content	可滴定酸含量 Titrateable acid content	固酸比 Solid-acid ratio	维生素 C 含量 Vitamin C content	石细胞含量 Amount of stone cells
单果质量 Single fruit mass	1											
果实横径 Fruit diameter	0.985**	1										
果实纵径	0.753**	0.713*	1									

Fruit longitudinal diameter 果形指数	-0.444	-0.517	0.229	1								
Fruit shape index 果心横径	0.268	0.177	0.349	0.215	1							
Core transverse diameter 果心比	-0.662*	-0.735*	-0.374	0.592*	0.534	1						
Fruit-to-heart ratio 果实硬度	-0.047	0.012	-0.211	-0.288	-0.127	-0.112	1					
Fruit firmness 可溶性固形物	0.258	0.239	0.114	-0.188	0.439	0.090	0.469	1				
Soluble solid content 可滴定酸含量	0.808**	0.762**	0.535	-0.401	0.258	-0.494	0.350	0.328	1			
Titratable acid content 固酸比	-0.694*	-0.698*	-0.516	0.368	0.131	0.722*	-0.364	-0.031	-0.844**	1		
Solid-acid ratio 维生素 C 含量	0.112	0.263	-0.115	-0.515	-0.381	-0.470	0.432	-0.089	-0.036	-0.171	1	
Vitamin C content 石细胞含量	-0.438	-0.398	-0.267	0.180	-0.295	0.101	0.722*	0.231	-0.096	-0.163	0.173	1
Amount of stone cells												

注: **表示在 0.01 水平上显著相关; *表示在 0.05 水平上显著相关。

Note: “**” means significant correlation at 0.01 level; “*” means significant correlation at 0.05 level.

2.3 9 个梨品种果实品质性状的公因子分析

为了更深入地分析 9 个梨品种的果实品质, 根据其 12 项品质指标的影响, 将这些指标分为正相关指标 (包括单果质量、果实横径、果实纵径、果形指数、可溶性固形物、固酸比、维生素 C 含量) 和负相关指标 (包括果心横径、果心比、可滴定酸和石细胞含量)。随后, 对这些数据进行了标准化处理, 并进行公因子分析。经过最大方差正交旋转后, 得到公因子载荷矩阵, 如表 3 所示。前 4 个公因子的累计方差贡献率达到了 89.120%, 且其特征根值均大于 1, 这表明它们包含了梨果实品质性状的大部分信息。

第 1 公因子的贡献率为 37.240%, 是所有公因子中贡献最大的。它主要由单果质量、果实横径、果实纵径、可滴定酸含量和固酸比 5 个因子决定。这个公因子主要反映了果实的大小以及酸甜口感品质的高低, 是评估梨果实品质的重要指标。第 2 公因子的贡献率为 20.658%, 主要由果实硬度和石细胞含量 2 个因子决定, 这个公因子主要反映了梨果实的软硬程度, 对于消费者的口感体验有重要影响。第 3 个公因子的贡献率为 17.760%, 由果心横径和可溶性固形物含量 2 个因子决定, 这个公因子主要反映了果实不可食用部分的大小以及果实糖含量的大小, 对于果实的食用价值和甜度有直接关联。第 4 个公因子的贡献率为 13.642%, 由果形指数和维生素 C 含量 2 个因子决定, 这个公因子主要反映了果实的形状以及维生素 C 含量的高低, 对于果实的外观营养品质有所体现。

结合相关性分析、因子分析的结果及 GB/T 10650—2008《鲜梨》标准的要求^[14], 在第 1 公因子中, 单果质量、果实横径、果实纵径和可滴定酸含量指标极显著相关, 其中单果质量包含果实横径和果实纵径信息, 固酸比包含可滴定酸信息, 且两者更为方便测定, 所以单果质量和固酸比代替, 第 2 公因子、第 3 公因子和第 4 公因子中, 指标间不存在相关。因此, 将 9 个梨品质评价因子简化为: 单果质量、固酸比、果实硬度、石细胞含量、果心横径、可溶性固形物、果形指数和维生素 C 含量, 即用该 8 项指标基本可以反映 9 个梨品种的各项品质要求。

表 3 9 个梨品种果实品质指标的公因子分析

Table 3 Common factor analysis of fruit quality indexes of 9 pear cultivars

果实品质指标 Fruit quality indicators	公因子 Common factor			
	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄
单果质量 Single fruit mass/g	0.913	0.275	0.228	0.191
果实横径 Fruit diameter/mm	0.849	0.287	0.274	0.326
果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	0.737	0.203	0.243	-0.525
果形指数 Fruit shape index	-0.245	-0.094	-0.044	-0.924
果心横径 Core transverse diameter/mm	-0.177	-0.261	-0.920	0.026
果心比 Fruit-to-heart ratio	0.654	0.199	-0.610	0.336
果实硬度 Fruit firmness/ (kg·cm ⁻²)	0.115	-0.900	0.134	0.328
w (可溶性固形物) Soluble solid content/%	0.119	-0.328	0.796	0.244
w (可滴定酸) Titratable acid content/%	-0.903	0.285	-0.106	-0.109
固酸比 Solid-acid ratio	-0.864	0.340	0.324	0.047
w (维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	0.009	-0.204	0.059	0.610
石细胞含量 Amount of stone cells/%	0.133	0.934	0.065	0.063
特征根 Characteristic root	4.469	2.479	2.131	1.615
贡献率 Contribution rate/%	37.240	20.658	17.760	13.462
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	37.240	57.898	75.658	89.120

2.4 梨品种差异性的综合效应分析

利用 ANOSIM (分析相似性的多变量统计方法) 对 9 个不同梨品种的数据相似性进行了分析, 结果如图 1 所示。计算得到的组间 R 值为 0.768, p 值为 0.001。这一结果表明, 不同梨品种间的数据分布存在显著的统计差异。为了进一步展示不同梨品种之间的数据变异情况, 绘制了箱线图。通过对比各品种的箱线图, 可以清晰地看到新梨七号和晚秋黄品种之间的差异最为显著。这一结果为进一步探讨梨品种间的差异提供了有力依据。

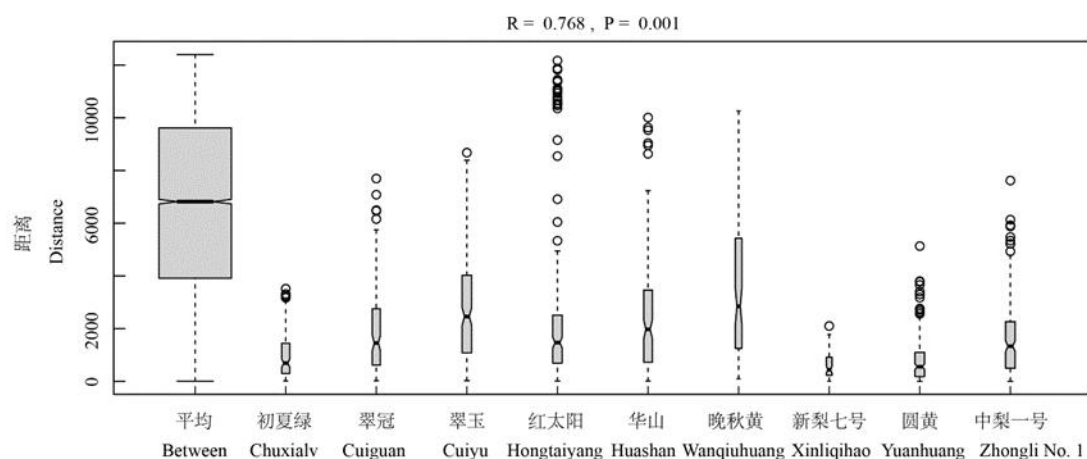


图 1 9 个梨品种的相似性分析
Fig. 1 Similarity analysis of nine pear varieties

PCA (主成分分析) 的结果揭示了各梨品种在两个主要成分 (PC1 和 PC2) 上的分布特点。其中, 第一主成分 (PC1) 解释了 29.20% 的变异, 而第二主成分 (PC2) 解释了 16.60% 的变异 (图 2)。从图中可以看出, 部分品种如圆黄和华山在 PC1 和 PC2 的正方向上聚集,

这表明它们在主成分空间中有一定的相似性。相比之下，新梨七号和晚秋黄则在 PC1 的负方向上明显分离出来，显示出与其他品种的独特位置。这种分布模式反映了不同品种在主成分空间中的独特位置和变异程度。

此外，通过品种间的聚类情况，可以进一步揭示品种间在主成分空间中的聚集趋势。例如，新梨七号和中梨品种的数据点在 PCA 分析中形成了相对紧密的聚类，这表明它们在主成分空间中有较高的相似性。同时，新梨七号品种则形成了一个相对独立的聚类区域，这进一步强调了其与其他品种的差异。通过 PCA 分析，不仅能够了解各品种在主要成分上的分布特点，还能够揭示品种间在主成分空间中的聚集趋势和差异。这些结果对于梨品种的选育和栽培具有重要的指导意义。

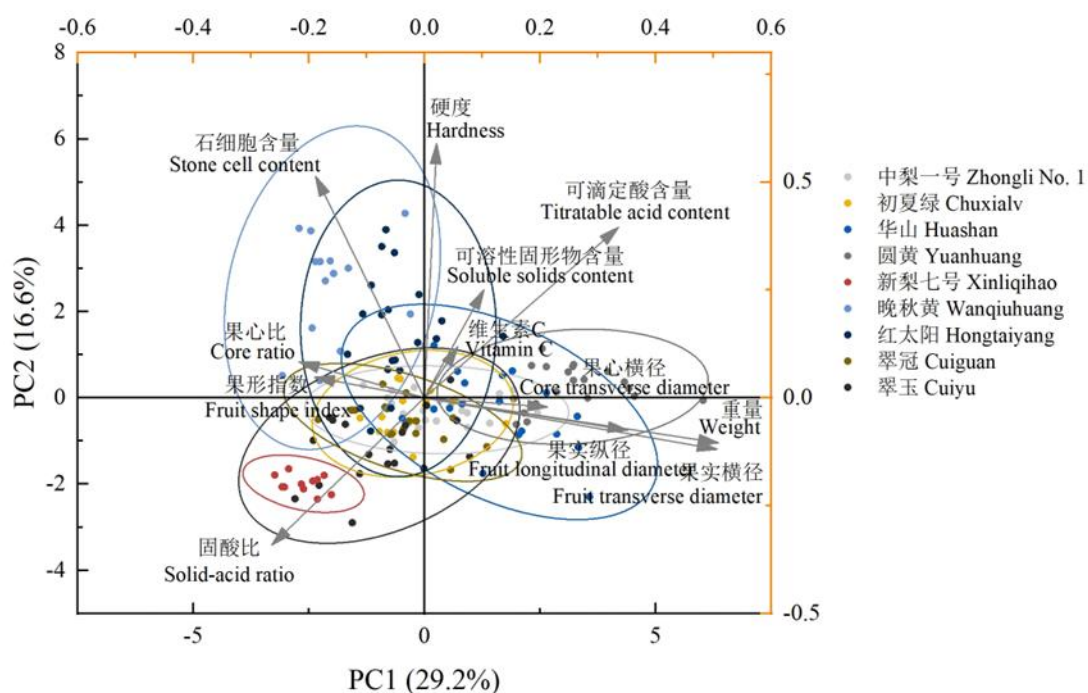


图 2 9 个梨品种的主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis of nine pear varieties

分析结果显示, 在所有考察的特征中, 固酸比和果心比对于梨品种分类的影响最为显著, 其 R 方值分别为 0.220 9 和 0.220 8, 这意味着这两个特征各自能够解释超过 22% 的品种间差异 (图 3)。相比之下, 质量、横径、可滴定酸含量和纵径的影响较小, 但仍然具有一定的解释力, 其 R 方值分别为 0.061 4、0.042 4、0.039 7 和 0.039 7。可溶性固形物含量、硬度、果心横径、维生素 C 含量和石细胞含量的影响相对较低, 其 R 方值均低于 0.0350。

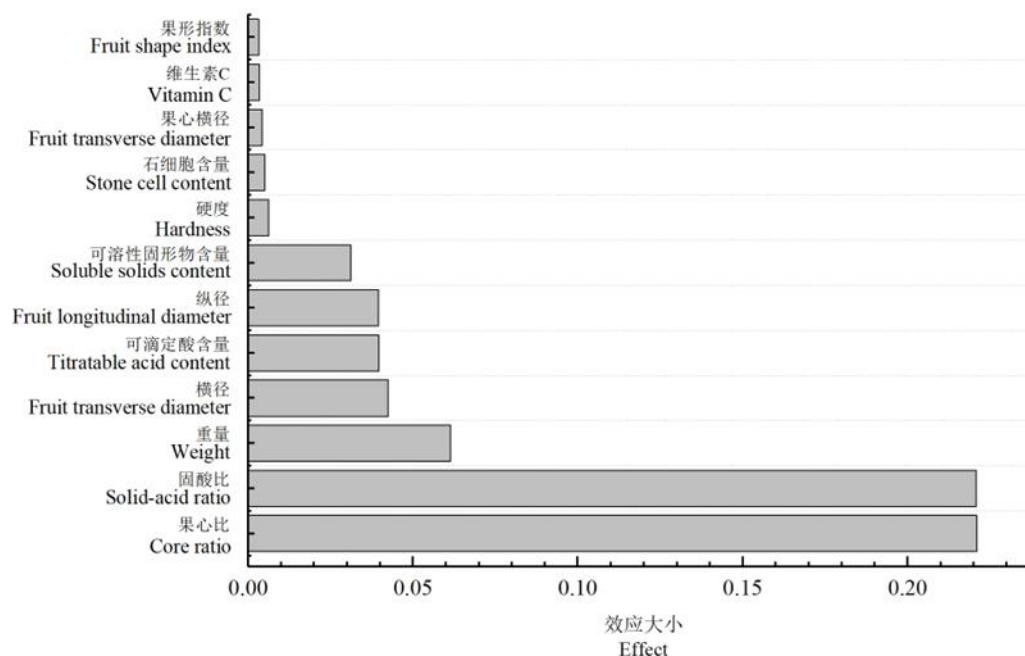


图 3 9 个梨品种对于种类的效应分析
Fig. 3 Effects of nine pear varieties on species

2.5 9 个梨品种果实品质性状的综合评价

通过因子分析, 12 项指标间的相关程度高, 累计方差贡献率达到 85% 以上, 公因子承载信息量足够进行综合评价^[15], 因此, 计算前 4 个公因子的得分 (f_i), 并以各公因子的贡献率为权重, 建立果实品质综合得分 (F) 的数学模型: $F = (37.240 * f_1 + 20.658 * f_2 + 17.760 * f_3 + 13.462 * f_4) / 89.120$ 。根据这个模型, 计算了 9 个梨品种的果实品质综合得分, 并根据得分进行了优良度排序。从表 4 可以看出, 综合得分排序依次为圆黄、华山、翠冠、中梨 1 号、初夏绿、新梨七号、翠玉、红太阳和晚秋黄。对比 9 个梨品种的 4 个公因子, 可以发现: 圆黄的第 2 公因子位于第 1, 第 2 公因子和第 3 公因子排序均在第 2, 表明其包含的 10 个指标表现较为优良, 第 4 公因子位于第 8, 其果形指数和维生素 C 含量的表现偏差。华山的第 1 公因子和第 4 公因子排序在第 1, 第 2 公因子和第 3 公因子均排序在第 5, 说明其 12 项品质指标中有 8 项均比较优异, 4 项表现良好。翠冠的第 1 公因子位于第 3, 第 2 公因子排序在第 2, 第 3 公因子和第 4 公因子排序均为第 4, 所包含的果实品质指标均良好。中梨 1 号第 2 公因子排序在第 2, 第 1 公因子和第 3 公因子排序均在第 6, 表明其果实硬度和石细胞含量表现优良, 果实的大小以及酸甜口感品质适中; 然而其第 4 公因子排序在第 7, 果形指数和维生素 C 含量表现较差。初夏绿第 2 公因子和第 4 公因子排序较好, 分布表位于第 4 和第 3, 表明其包含的 4 个指标表现良好, 而第 1 公因子和第 3 公因子排序较靠后, 分别位于第 7 和第 8, 表明其包含的 8 个指标表现较差。新梨七号的第 4 公因子排序在第 2 位, 说明其果形指数和维生素 C 含量两项果实品质指标表现优良。同时, 其第 1 公因子和第 2

公因子所包含的果实品质指标较适中。然而，其第3公因子排序为第9，说明其包含的果心横径和可溶性固形物2项果实品质指标均较差。翠玉的第1公因子排在第4位，第3公因子排序在第7，第2公因子和第4公因子均排在第9位，说明其第1公因子包含的6项指标表现适中。然而，其于6项指标表现较差。红太阳第3公因子的排序分别位列第1，表明其果心横径和可溶性固形物表现优良，第4公因子排序在第5，其包含的2项指标比较适中，然而，其第1公因子和第2公因子排序均为第8，其包含的8项指标相对较差。晚秋黄的第1公因子排序在第9位，第2公因子排序在第7，第4公因子排序在第6，说明其包含的果实品质指标较差。然而，其第3公因子的排序为第3，果心横径和可溶性固形物含量偏好。综上所述表明，9个梨品种中圆黄表现最好，其次是华山和翠冠，而晚秋黄表现最差，与各品种的实际生长表现基本匹配。

表4 9个梨品种果实品质的各项公因子得分和综合得分

Table 4 Common factor scores and comprehensive scores of fruit quality of 9 pear cultivars

品种名称 Cultivar name	公因子1 排		公因子2 排		公因子3 排		公因子4 排		综合得分 排	
	Common factor 1	Sort	Common factor 2	Sort	Common factor 3	Sort	Common factor 4	Sort	Comprehensive score	Sort
初夏绿 Chuxialü	0.488	7	0.294	4	-0.077	8	0.239	3	0.293	5
圆黄 Yuanhuang	1.137	2	1.202	1	0.409	2	-0.062	8	0.826	1
中梨1号 Zhongli No. 1	0.570	6	0.368	3	0.242	6	-0.059	7	0.363	4
翠冠 Cuiguan	0.895	3	0.473	2	0.305	4	0.082	4	0.557	3
红太阳 Hongtaiyang	0.176	8	-0.220	8	0.579	1	0.080	5	0.150	8
华山 Huashan	1.508	1	0.264	5	0.300	5	0.380	1	0.808	2
翠玉 Cuiyu	0.684	4	-0.528	9	0.186	7	-0.213	9	0.168	7
新梨七号 Xinli No. 7	0.575	5	-0.183	6	-0.141	9	0.281	2	0.212	6
晚秋黄 Wanqiu Huang	-0.656	9	-0.188	7	0.324	3	-0.047	6	-0.260	9

根据《梨种质资源描述规范和数据标准》^[11]中的感官评价标准，将感官评价分为外观综合评价和肉质综合评价，其中，以满分10分为评价，外观综合评价为单果质量3分，形状2分，色泽3分，光洁度2分；肉质综合评价为果肉质地和果肉类型3分，汁液2分，风味4分，香气1分。参考《梨种质资源描述规范和数据标准》中的术语对各感官指标进行赋分（表5），调查品尝过果实样品的9人，依据表5和对单果质量与形状的喜好进行主观打分，将其所有结果进行10分满分进行换算。结果如表6所示，将内外感官综合评分进行综合，由高到低排序为：圆黄、中梨1号、华山、翠冠、初夏绿、新梨七号、翠玉、红太阳和晚秋黄。

表5 感官描述词及相应分值

Table 5 Sensory descriptors and their corresponding scores

分值参考	色泽	光洁度	果肉质地	果肉类型	汁液	风味	香气
------	----	-----	------	------	----	----	----

Score reference	Color	Finish	Fleshy texture	Pulp type	Juice	Flavor	Aroma
1~2	极差 Extremely poor	粗糙 Rough	极粗 Extremely rough		极少 Extremely little	酸（酸味重、无或几乎无甜味） Sour (Strong sour taste, no or almost no sweetness)	
3						微酸（稍有酸味、无或几乎无甜味） Slightly sour (Slightly sour, no or almost no sweetness)	无或几乎无 None or almost none
4	差 Poor		粗 Rough	疏松、紧密 Loose, Tight	少 Little	酸甜适度（酸甜味相当） Moderately sweet and sour (Equal sweetness and sourness)	
5						酸甜（酸少甜多） Sweet and sour (Less sour, more sweet)	
6	中等 Moderate	中等 Moderate	中 Medium		中 Medium	淡甜（甜味淡、无或几乎无酸味） Sweet (Slightly sweet, no or almost no sourness)	微香 Slightly aromatic
7				沙面、脆、软 Sandy, Crispy, Soft	多 Plenty	甜（味甜、无或几乎无酸味） Mildly sweet (Slightly sweet, no or almost no sourness)	香 Aromatic
8	好 Good		细 Fine		多 Plenty	甘甜（甜味较重，无或几乎无酸味） Sweet (Strongly sweet, no or almost no sourness)	浓香 Strongly aromatic
9~10	极好 Excellent	平滑 Smooth	极细 Extremely fine	软溶 Soft and melting	极多 Plenty		

表 6 9 个梨品种果实品质的感官评价得分

Table 6 Sensory evaluation of fruit quality of nine pear cultivars

品种名称 Cultivar name	单果质量 Single fruit quality	形状 shape	色泽 Color	光洁度 Finish	外观综合评价 Comprehensive evaluation of appearance	果肉质地 Fleshy texture	果肉类型 Pulp type	汁液 juice	风味 flavor	香气 aroma	肉质综合评价 Comprehensive evaluation of meat quality	内外感官综合评分 Comprehensive score of internal and external senses	
												Comprehensive score of internal	and external senses
初夏绿 Chuxialü	6.07	8.11	8.33	8.33	7.61	8.33	8.56	8.44	8.22	6.00	6.98	7.30	
圆黄 Yuanhuang	9.96	8.78	8.67	8.44	9.03	8.89	8.44	8.33	9.33	8.44	7.64	8.34	
中梨 1 号 Zhongli No. 1	6.60	8.89	9.22	9.11	8.35	8.56	8.56	9.11	8.00	6.00	7.03	7.69	
翠冠 Cuiguan	6.00	8.22	7.89	8.00	7.41	8.44	8.56	8.44	8.33	7.56	7.19	7.30	
红太阳 Hongtaiyang	5.48	7.44	7.44	7.11	6.79	8.11	7.22	6.56	6.89	8.67	6.14	6.46	

华 山	8.24	8.56	8.00	8.11	8.21	8.33	8.33	8.33	8.11	6.00	6.88	7.55
Huashan												
翠玉 Cuiyu	5.40	7.89	8.11	8.11	7.25	8.44	8.44	8.56	7.78	6.00	6.82	7.04
新梨七号	3.91	8.44	8.89	8.33	7.19	9.00	8.89	8.78	8.67	6.67	7.36	7.28
Xinli No. 7												
晚秋黄	3.89	7.56	7.22	7.11	6.27	6.56	6.33	7.56	6.56	6.00	5.78	6.03
Wanqiu Huang												

通过对比表 4 与表 6 可知, 感官评价与因子分析的结果基本一致, 两种评价方法都具有可行性。并且感官评价操作简单, 但不能客观的、全面的进行综合评价, 并且变动性很大。而因子分析虽然较为复杂, 但比感官评价更客观、合理, 其排名结果更能减少主观因素, 与各品种的实际表现更加符合。

3 讨论

果实品质是决定果品市场竞争力的主要因素, 其又分为了外在品质和内在品质, 构成因素包括了果实大小、果形、质地、风味及功能成分等。其中, 最直接评判果实大小的品质指标为单果质量, 它可以直观地反映果实的大小。果实硬度是评价果实口感和耐贮性的重要品质指标之一。糖酸作为梨果实生长发育过程中的重要基础物质, 也是决定果实内在品质的关键指标。同时, 维生素 C 与果实硬度一同作为梨果实贮藏性的相关品质指标之一, 不同果实中维生素 C 含量存在着一定的差异。另外, 石细胞在梨果实中尤为突出, 与其他果实相比比较少见, 也是判定梨果实口感的重要因素之一, 尤其在接近果核部分表现得尤为粗糙^[16-17]。本研究在林芝引进了 9 个梨品种, 并以单果质量、果实硬度、固酸比、维生素 C 含量及石细胞等 12 项指标作为评价梨果实的关键品质指标进行研究。结果表明, 9 个梨品种的 12 项果实品质指标的变异系数大小不一, 且差异性均较大, 具有一定的广泛性和代表性^[1]。其中, 果形指数间的差异最大, 变异系数为 95.35%, 在品种选育时其果形的选择空间较大。石细胞含量变异系数为 56.82%, 在品种选育中应加以重视。9 个梨品种间果心横径的变异系数最小, 变异系数为 9.14%, 品种选育时其选择的余地最小。相关性分析结果显示, 除了梨果实少部分品质指标间存在显著相关性外, 大部分品质指标间的相关性未达到显著水平, 说明在进行综合评价时没有必要剔除评价指标间的重复信息^[18]。

梨果实性状的组成因素众多, 这些性状与品质紧密相关, 既各自独立, 又相互关联。因子分析作为一种多指标评价的多元统计方法, 其核心思想在于通过降维处理, 将原始信息压缩为少数几个独立的新指标(即主成分)。这些主成分既能反映各因子的信息, 又互不相关, 从而简化了指标因子, 使得果实品质的评价更为合理有效^[1]。郭欣欣等^[19]对云南美人酥、满天红、火把梨和葫芦梨等 14 个梨品种进行研究, 且通过对果实品质进行变异分析、主成分分析和聚类分析等方法, 筛选出单果质量、果实横径、果实纵径、糖酸比、固酸比和可滴定酸 5 项指标作为云南砂梨品种(资源)果实品质比较的主要指标。评价梨果实品质差异; 牛佳佳等^[20]以单果质量、果形指数、果实硬度、糖酸比、石细胞及维生素 C 含量等 29 个指标, 对圆黄、中梨 1 号及秋月等 9 个品种进行综合品质评价, 依据不同主成分得分, 最终筛选出单果质量、香气、硬度、果心比、固酸比、好果率 1、L 值和 b* 值 7 个综合评价简化指标, 通过因子分析与逐步回归建立了梨综合评价预测模型。证明了该方法的可行性。

笔者在本研究中参考了上述方法, 采用隶属函数法对梨果实品质指标进行标准化处理, 随后进行公因子分析, 并计算出综合品质得分, 根据得分进行了优良度排序。结果将 12 项梨果实品质指标简化为 4 个主要因子。其中, 第 1 公因子, 主要反映了果实大小和酸甜口感品质的高低。第 2 公因子, 主要反映了梨果实的软硬和质地高低。第 3 个公因子, 主要反映

了果实形状和维生素 C 含量的高低。第 4 个公因子，主要反映了果实可食部分大小和果实糖含量的大小。同时结合相关性分析，简化的单果质量、固酸比、果实硬度、石细胞含量、果心横径、可溶性固形物、果形指数和维生素 C 含量基本可作为 9 个梨品种果实品质的主要指标。

通过主成分分析 (PCA) 和 ANOSIM 方法，深入探讨了 9 个梨品种在关键性状上的差异性及其对品种分类的影响。研究发现，新梨七号和晚黄秋品种两个品种在遗传背景或表型性状上可能存在显著差异，这对于育种和分类工作具有重要的指导意义。进一步地，PCA 分析显示，第一和第二主成分共解释了 45.8% 的变异性，展示了品种间在多维空间的分布模式。结果显示，圆黄和华山在某些关键性状上具有相似性，而新梨七号和晚秋黄品种也具有它们的独特性。这些结果强调了尽管所有品种均属于同一物种，但在农艺性状上的差异显著，可能与它们在不同生态环境下的适应性演化有关。

为了更深入地理解影响品种分类的变量，进行了效应分析。结果表明，重量和横径是影响梨品种分类的最重要因素，其 R 方值高达 0.22。这一发现与市场 and 消费者的偏好相符，即果实的大小和形状是评价农产品的重要指标。值得注意的是，果形指数、果心横径和果心比等其他性状虽然效应较小，但仍具有一定的分类解释力。这提示笔者在进行梨品种鉴定和选择时，应综合考虑多个性状，而非仅关注单一性状。另外，硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量等品质相关指标的效应较低。这可能是因为这些性状在品种间的差异性较小，或者在品种决定过程中的作用不如形态性状明显。尽管如此，这些品质属性在消费者偏好和果品加工特性上仍发挥着关键作用，因此在品种改良中应予以适当关注。

综上所述，笔者在本研究中不仅为梨品种的分类提供了科学依据，而且有助于深入理解不同梨品种间的遗传和表型多样性。这些发现将为未来的梨育种工作和品种改良策略的制定提供重要参考。同时，研究强调了在进行梨品种鉴定和选择时，应综合考虑多个性状，而非仅关注单一性状。此外，尽管品质相关指标的效应较低，但在品种改良中仍应关注这些品质属性，以满足消费者偏好和果品加工的需求。

4 结 论

本研究对林芝引入的 9 种梨进行品质评估，发现单果质量和果实横径为关键分类指标。经主成分分析，圆黄、华山和中梨 1 号表现优异，适林芝种植；晚秋黄和新梨七号表现不佳，需谨慎栽培。果实品质指标在品种选育中起关键作用。

参考文献 References:

- [1] 木合塔尔·扎热, 阿卜杜许库尔·牙合甫, 故丽米热·卡克什, 马合木提·阿不来提, 哈地尔·依沙克. 新疆地方品种梨果实品质性状综合评价[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 278-285.
Muhtar·Zari, Abduxukur·Yakup, Mahmut·Ablat, Gulmira·Kakix, Kadir·Esah. Comprehensive evaluation of fruit quality traits of local pear cultivars in Xinjiang Region of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(7): 278-285.
- [2] 路贵龙, 代安国, 崔永宁, 张凯, 土旦吉热, 李艳锋. 西藏梨发展现状及展望[J]. 西藏农业科技, 2018, 40(3): 68-71.
LU Guilong, DAI Anguo, CUI Yongning, ZHANG Kai, Tudanjiere, LI Yanfeng. Current situation and prospects of pear in Tibet[J]. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 2018, 40(3): 68-71.
- [3] 胡颂杰. 西藏农业概论[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1995.
HU Songjie. Introduction to Tibetan Agriculture[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1995.
- [4] 柳羽, 王宇桃, 韩艳英, 叶彦辉. 西藏水果产业发展现状及对策建议[J]. 南方农业, 2022, 16(18): 172-174.

- LIU Yu, WANG Yutao, HAN Yanying, YE Yanhui. Current situation, problems and countermeasures of fruit industry development in Xizang[J]. South China Agriculture, 2022, 16(18): 172-174.
- [5] 李艳锋, 朱荣杰, 王喜龙, 王永坡. 西藏水果类果树新品种引进与试验[J]. 西藏科技, 2010(1): 10-11.
- LI Yanfeng, ZHU Rongjie, WANG Xilong, WANG Yongpo. Introduction and trial of new fruit tree varieties in Tibet[J]. Xizang Science and Technology, 2010(1): 10-11.
- [6] 蔡盛华, 蔡子坚. 西藏林芝地区果树新品种引种概况及绿色生态栽培技术[J]. 福建农业科技, 2007, 38(3): 17-18.
- CAI Shenghua, CAI Zijian. Introduction of new fruit tree varieties and green ecological cultivation techniques in Nyingchi, Tibet[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2007, 38(3): 17-18.
- [7] 王国伟, 韩艳英, 南吉斌, 段少荣, 于美佳, 叶彦辉. 四个梨品种在西藏林芝的生长表现及光合特性[J]. 北方园艺, 2021(4): 17-25.
- WANG Guowei, HAN Yanying, NAN Jibin, DUAN Shaorong, YU Meijia, YE Yanhui. Growth and photosynthetic characteristics of four pear cultivars in Tibet[J]. Northern Horticulture, 2021(4): 17-25.
- [8] 韩艳英, 刘成凤, 高毅, 叶彦辉. 西藏林芝市 6 个梨品种的光合特性研究[J]. 高原农业, 2020, 4(4): 363-369.
- HAN Yanying, LIU Chengfeng, GAO Yi, YE Yanhui. Study on photosynthetic characteristics of 6 pear varieties in Nyingchi, Tibet[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2020, 4(4): 363-369.
- [9] 叶彦辉, 高毅, 韩艳英, 王国伟, 大布穷, 朗杰, 德庆措姆. 5 个梨品种在西藏林芝的引种表现及光合特性[J]. 高原农业, 2019, 3(6): 615-622.
- YE Yanhui, GAO Yi, HAN Yanying, WANG Guowei, DA Buqiong, LANG JIE, DEQINGCUOMU. Performance and photosynthetic characteristics of five pear varieties in Nyingchi Tibet[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2019, 3(6): 615-622.
- [10] 蔡子坚. 西藏林芝地区果树新品种引进开发及产业化[Z]. 福建省, 福建省农业科学院果树研究所, 2007-11-15.
- CAI Zijian. Introduction, development and industrialization of new varieties of fruit trees in Nyingchi Tibet[J]. Institute of Pomology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, 2007-11-15.
- [11] 曹玉芬. 梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- CAO Yufen. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [12] 饶远林. 五个日韩梨品种在雅安地区的引种表现及性状评价[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- RAO Yuanlin. Performance and evaluation of characters of five pear varieties from Japan and Korea in Ya'an of Sichuan[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [13] 吴澎, 贾朝爽, 范苏仪, 孙玉刚. 樱桃品种果实品质因子主成分分析及模糊综合评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 291-300.
- WU Peng, JIA Chaoshuang, FAN Suyi, SUN Yugang. Principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of cherry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(17): 291-300.
- [14] 董星光, 田路明, 曹玉芬, 张莹, 齐丹. 我国南方砂梨主产区主栽品种果实品质因子分析及综合评价[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 815-822.
- DONG Xingguang, TIAN Luming, CAO Yufen, ZHANG Ying, QI Dan. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai from South China[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 815-822.

- [15] 张鹏. 基于主成分分析的综合评价研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
ZHANG Peng. Comprehensive evaluation study based on principal component analysis[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [16] 付燕, 杨芩, 林焱. 8 个蓝莓品种果实质地品质差异分析[J]. 中国南方果树, 2023, 52(3): 144-148.
FU Yan, YANG Qin, LIN Xin. Analysis of the difference in fruit quality of 8 blueberry varieties[J]. South China Fruits, 2023, 52(3): 144-148.
- [17] 王阳, 佟伟, 王文辉, 贾晓辉, 杜艳民, 王志华. 不同梨品种品质分析[J]. 中国南方果树, 2023, 52(5): 111-116.
WANG Yang, TONG Wei, WANG Wenhui, JIA Xiaohui, DU Yanmin, WANG Zhihua. Quality analysis of different pear varieties[J]. South China Fruits, 2023, 52(5): 111-116.
- [18] 古丽尼沙·卡斯木, 木合塔尔·扎热, 张东亚, 郭靖, 艾吉尔·阿布拉, 盛玮, 阿布都热西提·热合曼. 基于因子分析的无花果引进品种果实品质性状综合评价[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 99-104.
GULNISA·Kasim, MUHTAR·Zari, ZHANG Dongya, GUO Jing, AJAR·Abla, SHENG Wei, ABUDUREXIT·Rahman. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality traits of introduced fig cultivars[J]. Food Science, 2018, 39(1): 99-104.
- [19] 郭欣欣, 舒群, 刘春秀, 马伟荣, 何英云. 云南 14 个砂梨品种(资源)果实品质差异的综合评价[J]. 中国南方果树, 2023, 52(6): 162-165.
GUO Xinxin, SHU Qun, LIU Chunxiu, MA Weirong, HE Yingyun. Comprehensive evaluation of fruit quality differences of 14 pear varieties (resources) in Yunnan[J]. South China Fruits, 2023, 52(6): 162-165.
- [20] 牛佳佳, 张四普, 张柯, 徐振玉, 鲁云凤, 唐存多, 苗建银. 9 个梨品种综合品质评价分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 149-156.
NIU Jijia, ZHANG Sipu, ZHANG Ke, XU Zhenyu, LU Yunfeng, TANG Cunduo, MIAO Jianyin. Comprehensive quality evaluation and analysis of nine pear varieties[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 149-156.