

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2021.10085

陈美艳, 赵婷婷, 刘小莉, 韩飞, 张鹏, 钟彩虹. 猕猴桃品种‘金艳’果实品质因子分析与综合评价[J]. 植物科学学报, 2021, 39(1): 85~92
 Chen MY, Zhao TT, Liu XL, Han F, Zhang P, Zhong CH. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of ‘Jinyan’ kiwifruit (*Actinidia eriantha* × *Actinidia chinensis*) [J]. Plant Science Journal, 2021, 39(1): 85~92

猕猴桃品种‘金艳’果实品质因子分析与综合评价

陈美艳^{1,2#}, 赵婷婷^{1,2#}, 刘小莉^{1,2}, 韩飞^{1,2}, 张鹏^{1,2}, 钟彩虹^{1,2*}

(1. 中国科学院猕猴桃产业技术工程实验室, 武汉 430074; 2. 中国科学院武汉植物园, 中国科学院植物种质创新与特色农业重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 以四川省 53 家果园的猕猴桃(*Actinidia*)品种‘金艳’(*A. eriantha* × *A. chinensis* ‘Jinyan’)果实为材料, 测定其软熟时的单果重、色彩角、硬度、可溶性固体物含量、总糖含量、总酸含量、糖酸比、软熟率、病果率及采收时的干物质含量等 10 个品质指标, 并进行主成分分析, 对‘金艳’果实品质评价中的主要影响因子以及适合的果实品质评价方法进行分析。结果显示: 按方差贡献率大小前 6 个成分的特征根大于 0.8, 累计方差贡献率为 88.57%; 综合分值排名前 3 位的果园分别为 DJY1、GY4 和 GY1。主成分分析法提取并分析了前 6 个贡献率较高的主成分, 结果表明该方法适合‘金艳’果实以采收干物质、软熟色彩角、硬度、可溶性固体物含量、总糖、糖酸比等为基础的综合果实品质评价。

关键词: ‘金艳’猕猴桃; 果实品质; 综合评价; 主成分分析

中图分类号: S663.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2021)01-0085-08

Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of ‘Jinyan’ kiwifruit (*Actinidia eriantha* × *Actinidia chinensis*)

Chen Mei-Yan^{1,2#}, Zhao Ting-Ting^{1,2#}, Liu Xiao-Li^{1,2}, Han Fei^{1,2},
 Zhang Peng^{1,2}, Zhong Cai-Hong^{1,2*}

(1. Engineering Laboratory for Kiwifruit Industrial Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China;
 2. Key Laboratory of Plant Germplasm Enhancement and Specialty Agriculture, Wuhan Botanical Garden,
 Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Ten indices of fruit quality of the ‘Jinyan’ kiwifruit (*Actinidia eriantha* × *A. chinensis*) were measured from 53 orchards in Sichuan Province, China, and included fruit weight, hue angle, firmness, soluble solids content, dry matter, total sugar, total acid, sugar-acid ratio, ripening rate, and diseased fruit rate. These indices were analyzed by principal component analysis (PCA) to identify the major factors and establish a fruit quality evaluation system for ‘Jinyan’. Results showed that the first six principal components (PC1 – PC6) all had characteristic roots of more than 0.8 and showed a cumulative contribution proportion of 88.57%. The top three orchards with the highest comprehensive scores were DJY1, GY4, and GY1, respectively. Thus, PCA was suitable for the comprehensive quality evaluation of

收稿日期: 2020-07-05, 修回日期: 2020-08-19。

基金项目: 中国科学院科技服务网络计划(KFJ-STS-ZDTP-026); 湖北省技术创新重大专项(2016ABA109); 国家自然科学基金(31570678); 农业部作物种质资源保护项目(111821301354051002)。

This work was supported by grants from the Science and Technology Service Network Plant of the Chinese Academy of Sciences (KFJ-STS-ZDTP-026), Technological Innovation Project of Hubei Province (2016ABA109), National Natural Science Foundation of China (31570678), and Protection Project of Crop Germplasm Resources of Ministry of Agriculture (111821301354051002).

作者简介: 陈美艳(1980-), 女, 高级工程师, 研究方向为果树栽培及采后生理学(E-mail: 634254060@qq.com); 赵婷婷(1987-), 女, 高级工程师, 研究方向为果树栽培学(E-mail: polly828830@126.com)。

共同第一作者。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: 604805481@qq.com)。

‘Jinyan’ and provided important information for cultivation, management, and quality improvement.

Key words: ‘Jinyan’; Fruit quality; Comprehensive evaluation; Principal component analysis

猕猴桃(*Actinidia*)品种‘金艳’(*A. eriantha* × *A. chinensis* ‘Jinyan’)是中国科学院武汉植物园于1984年采用毛花猕猴桃(*A. eriantha* Ben-tham)作母本、中华猕猴桃(*A. chinensis* var. *chinensis*)作父本,从杂交F₁代中选育的晚熟、耐贮的优质黄肉品种^[1],也是首个实现商业化栽培的种间杂交品种。自2007年在四川省成都市蒲江县开始种植,因果大丰产、品质佳和耐贮运而迅速在该县和周边县市得到发展。随着栽培面积不断扩大,因栽培管理不当和早采导致的果实品质下降问题严重影响了其商业价值。果实品质评价是猕猴桃生产中的重要环节,果实品质状况影响其市场销售,提高果实品质是提高猕猴桃产业经济效益的重要基础。

目前有关果实品质评价的主要方法为主成分分析法,已在多种水果果实品质评价中得到应用^[2-6]。钟彩虹等^[7]采用主成分分析法对位于武汉的国家猕猴桃种质资源圃44个栽培品种的果实进行了综合评价,表明果实成熟时间、果肉质地、果面毛被、果实后熟天数和果肉颜色是区分果实品种(系)的主要特征;牟红梅等^[8]采用该方法对烟台地区西洋梨(*Pyrus communis* L.)的果实品质进行了综合评价;沈碧薇等^[9]进行了不同砧木条件下‘瑞都红玉’葡萄(*Vitis vinifera* L.)果实品质的差异分析。贺娜等^[10]也通过该方法对云南主栽油橄榄(*Olea europaea* L.)的果实品质进行了综合评价。曲雪艳等^[11]基于6个品质指标对野生毛花猕猴桃的果实品质进行主成分分析和评价;刘科鹏等^[12]对江西省奉新县的15个‘金魁’猕猴桃果园的果实品质进行了综合评价。陈璐等^[13]利用聚类分析与主成分分析法对21个黄肉猕猴桃品种(系)主要果实性状进行了综合评价。‘金艳’虽然在四川、江西、湖北等地得到快速发展,但各果园在生产管理水平上参差不齐,导致果实品质差异较大,而对其果实品质评价的研究鲜有报道。

本研究以猕猴桃品种‘金艳’主要推广区域四川省的53家果园的果实为材料,对果实软熟时

单果重、色彩角、硬度、可溶性固形物含量、总糖含量、总酸含量、糖酸比、软熟率、病果率及采收当天的干物质含量等10个品质指标进行测定,并采用主成分分析法简化果实品质的评价指标,选取重要主成分构建猕猴桃科学的果实品质评价体系,以期为猕猴桃果园的科学种植提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验地区包括四川省成都市青白江区(QBJ1-4)、青羊区(QY1-2)和蒲江县(PJ1-14)及都江堰市(DJY1-5)、广元市(GY1-14)、乐山市(LS1-3)、彭州市(PZ1-3)、邛崃市(QL1-6)和雅安市(YA1-2)等9个市县(区)的53家‘金艳’猕猴桃果园,每个果园面积约为2.00~3.33 hm²,猕猴桃果树为6~10年生,株行距3 m×5 m。根据前期研究,‘金艳’猕猴桃在四川省的最佳采收期为10月下旬至11月上旬。本研究在2015年10月25~30日统一采集果实样品。在每个果园南、北、中部分别随机选取长势一致的5个植株,于每株树上随机采集14个果实,即每个果园采集210个果实。其中,60个果实(每个重复20个,3个重复)在6 h内用于干物质含量的测定。剩余150个按3个重复(每个重复50个)将果实放入水果塑料筐中置于常温实验室(15°C~20°C)条件下保存30 d,自然软熟后测定各项生理指标,并统计软果率、病果率。

1.2 实验方法

采收当天测定果实干物质含量,果实软熟后主要测定单果重、色彩角、硬度、可溶性固形物含量、总糖含量、总酸含量。干物质含量取果实中部位置带皮横切片约3 mm厚,放置在60°C恒温干燥箱中烘干约24 h至恒重,干重与鲜重的比值即为果实干物质含量^[14]。单果重使用电子天平。色彩角用CR-400色差仪C光源测定,色差仪先用标准白板校正,用刮皮刀去掉果实中部位置约2~3 mm厚果皮,探孔对准新鲜果肉进行果肉颜色测

定,直接读取记录 h 值^[14]。硬度用 GY-4 硬度计测定,用刮皮刀去掉果实中部两侧相对位置果皮约 1 mm 厚,将果实放置在坚硬的平面上,用直径 7.9 mm 的探头压入果肉至探头环圈处,读取记录数据,取两个数据平均值为硬度值。可溶性固形物含量用 ATAGO (PR-32α) 折光仪测定,在果实中部位置横切,用花柱端一半果实,挤横切面果肉果汁 2~3 滴于折光仪凹槽内进行测定,直接读数记录数据^[15]。总糖含量按照国标(GB5009.7-2016)直接滴定法中的反滴定法测定。总酸含量参照国标(GB/T 12456-2008)酸碱滴定法测定。糖酸比为总糖含量与总酸含量的比值。

果实放入常温实验室条件下 1 个月后,以硬度 1.5 kg/cm²以下为可食用标准,统计软果数,计算软果率,即每个果园内软果数占总果数的比例;同时统计腐烂果,计算病果率,即每个果园内病果数占所有果实的比例。

1.3 数据分析

主成分分析前,采用隶属函数法对数据进行转化^[16]:正相关指标(单果重、硬度、可溶性固形物含量、干物质含量、总糖含量和糖酸比)依据公式(1);负相关指标(色彩角、总酸含量、软熟率和病果率)依据公式(2)。使用 SPSS19.0 软件进行主成分分析,取方差累计贡献率大于 85% 的前几个主成分用于后续分析。根据主成分特征向量计算各主成分的得分 F_{jn} ,以主成分贡献率 E_j 为权重,通过公式(3)得到每个果园的综合分值 D_n 。

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

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

$$D_n = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j \quad (3)$$

式中, U_{in} 指第 n 个样品第 i 个品质指标原始数据经转化后的隶属函数值; X_{in} 指第 n 个样品第 i 个品质指标的原始测定数据; X_{imax} 和 X_{imin} 分别指所有样品中第 i 个品质指标原始数据的最大值和最小值; D_n 为主成分分析法得到的各果园果实品质的综合分值; F_{jn} 为第 n 个样品第 j 个主成分分值; m 为提取的主成分个数; E_j 为第 j 个主成分的贡献率。

2 结果与分析

2.1 ‘金艳’果实品质分析

本研究对 53 家‘金艳’猕猴桃果园的果实品质进行了测定(表 1)。结果显示,果实的平均单果重、色彩角、硬度、可溶性固形物含量、干物质含量、总糖含量、总酸含量、糖酸比、软熟率、病果率等 10 个指标的平均值分别为: 91.38 g、96.48 (°h)、0.82 kg/cm²、13.26%、15.62%、91.92 g/kg、11.41 g/kg、8.08%、70.02% 和 6.39%。各项指标平均值均达到了商业品果的要求,详见附表¹。其中,色彩角、可溶性固形物含量、干物质含量、总酸含量等 4 个果实品质变异系数(分别为 3.31%、5.45%、5.25% 和 5.45%)较小,软果率的变异系数较大(28.90%),病果率的变异系数最大(79.32%),其它果实品质的变异系数范围为 10.59%~38.84%。说明不同管理水平下的‘金艳’果实品质变异范围较广,特别是贮藏品质在不同果园差异最大。大部分果实品质(硬度除外)数据符合正态分布(图 1)。由于果实品质指标较多,各指标分别从不同侧面评价果实特性,因此需要对其进行综合评价。

各果实品质间的相关系数及显著性研究结果表明(表 1),色彩角与可溶性固形物含量呈极显著负相关性(相关系数平均值 $r = -0.388$),与干物质含量呈显著负相关($r = -0.290$)。可溶性固形物含量与干物质含量、总糖含量和糖酸比呈极显著相关($r = 0.506 \sim 0.781$),与软熟率显著相关。干物质含量与总糖含量、糖酸比和软熟率呈极显著相关($r = 0.434 \sim 0.555$)。糖酸比与总糖含量和总酸含量都呈极显著相关。因此,可溶性固形物含量、干物质含量、总糖含量和糖酸比等 4 个品质指标之间彼此互相呈极显著相关。

2.2 ‘金艳’果实品质的主成分分析

不同果实品质指标的计量单位不同,数据量纲也不一致,因此需对原始数据进行转化。本研究将转化后的数据进行主成分分析,结果表明,前 6 个主成分的特征根大于 0.8(表 2),且累计方差贡献率达 88.57%,即这 6 个主成分所含信息占总体信息的 88.57%,可被用来进行后续分析。第一主成

¹如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站(<http://www.plantscience.cn>)查看本期文章附表。

表1 果实品质性状之间的 Pearson 相关系数
Table 1 Correlations among fruit quality traits

性状 Trait	单果重 FW	色彩角 HA	硬度 Firmness	可溶性固形物 SSC	干物质 DM	总糖 TS	总酸 TA	糖酸比 TS/TA	软熟率 Rr	病果率 DFR
单果重	1									
色彩角	-0.044	1								
硬度	-0.114	0.036	1							
可溶性固形物	0.122	-0.388 **	0.041	1						
干物质	-0.065	-0.290 *	-0.038	0.781 **	1					
总糖	0.050	0.024	0.087	0.656 **	0.555 **	1				
总酸	0.158	-0.072	0.138	0.178	-0.052	-0.040	1			
糖酸比	-0.027	0.043	0.015	0.506 **	0.522 **	0.896 **	-0.475 **	1		
软熟率	-0.066	-0.133	-0.120	0.276 *	0.434 **	0.232 *	-0.089	0.243 *	1	
病果率	0.061	0.091	-0.013	0.130	0.087	0.232 *	0.026	0.185	-0.078	1

Notes: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$. FW: Fruit weight; HA: Hue angle; SSC: Soluble solids content; DM: Dry matter; TS: Total sugar; TA: Total acid; TS/TA: Total acid/Total sugar; Rr: Ripening rate; DFR: Diseased fruit rate. Same below.

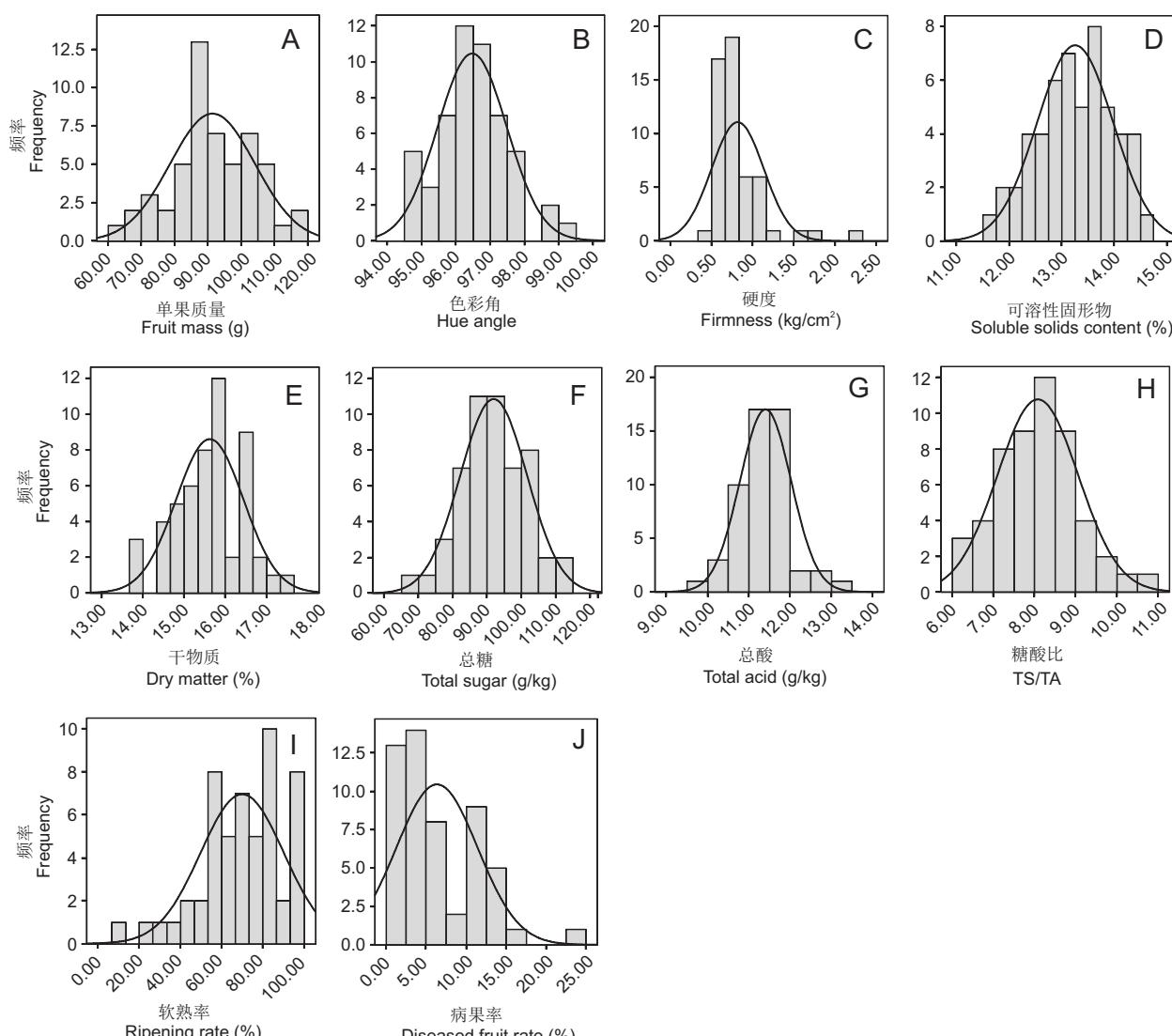


图1 ‘金艳’10个果实品质指标的范围和频率

Fig. 1 Range and frequency of 10 fruit quality indices of ‘Jinyan’

表2 各主成分的特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率

Table 2 Eigenvector, eigenvalue, contribution rate, and cumulate contribution rate of six principal components

性状 Traits	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
单果重	0.012	0.248	0.330	-0.599	0.557	0.083
色彩角	0.139	0.513	-0.299	0.020	-0.172	0.613
硬度	-0.001	0.019	0.329	0.754	0.252	0.105
可溶性固形物	0.470	0.323	0.094	0.036	-0.001	0.061
干物质	0.470	0.165	-0.148	0.060	-0.119	-0.049
总糖	0.483	-0.155	0.257	0.037	0.159	-0.076
总酸	0.084	-0.586	-0.381	-0.121	0.079	0.445
糖酸比	0.466	-0.387	0.054	-0.021	0.172	0.133
软熟率	-0.259	-0.070	0.442	0.044	0.013	0.614
病果率	-0.120	0.144	-0.503	0.223	0.721	-0.037
特征值	3.226	1.523	1.308	1.126	0.855	0.819
贡献率(%)	32.261	15.226	13.077	11.265	8.547	8.190
累计贡献率(%)	32.261	47.487	60.564	71.829	80.376	88.566

分(PC1)方差贡献率高达32.26%，载荷值较大的品质指标是可溶性固形物、干物质、总糖含量和糖酸比等4个；PC2 贡献率为15.23%，起主要作用的品质指标是色彩角和总酸含量；PC3 主要代表软果率和病果率；PC4 中单果重和硬度的载荷值较大；PC5 中单果重和病果率的载荷值较大；PC6 主要代表色彩角和软熟率。

2.3 ‘金艳’果实品质的综合评价

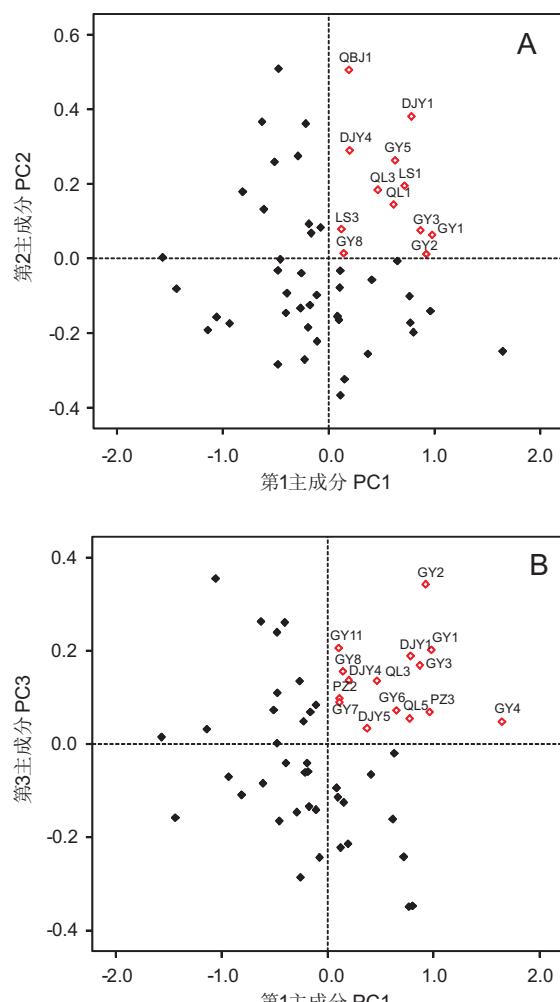
本研究根据主成分特征向量分别计算各果园各主成分的得分形成散点图(图2)，以评价不同‘金艳’猕猴桃果园的果实品质状况。

以主成分贡献率为权重，计算各果园前6个主成分的分值与相应权重之积的累加和，得到综合分值 D_n 。综合分值排名前10位的果园分别为DJY1、GY4、GY1、GY5、QL3、PZ33、QL5、GY3、LS1和GY2。说明这些果园具有较好的光照条件和管理水平。

53个果园中，成都市青白江区、都江堰市、邛崃市、蒲江县和广元市等5个地区的猕猴桃果园数量大于3个，果实品质综合分值平均值分别为0.019、0.399、0.344、-0.771和0.404(表3)。除蒲江县猕猴桃果园与其余地区果园的果实品质具有显著差异外，其它4个地区猕猴桃果园果实品质间没有显著差异。

2.4 ‘金艳’果实品质评价因素的聚类分析

本研究基于前6个主成分的各特征向量，对果实品质指标进行系统聚类(图3)。结果显示，总糖含量与糖酸比聚为一类，它们的相关系数最大($r =$



虚心框表示横坐标与纵坐标均为正值的果园。Hollow box represents orchard with positive abscissa and ordinate values.

图2 53家‘金艳’猕猴桃果园果实品质第1、2主成分(A)和第1、3主成分(B)的二维排序图
Fig. 2 Scatter-plot based on first and second PCA (A) and first and third PCA (B)

表3 各区域‘金艳’猕猴桃果园的果实品质综合分值与气候因子

Table 3 Comprehensive values of fruit quality and meteorological factors of orchards from five regions

地理区域 Region	综合分值 Comprehensive score D_n	年降水量 Annual rainfall (mm)	年日照时数 Annual sunshine hours (h)	年平均温度 Mean annual temperature (°C)	无霜期 Frost-free period (d)
成都市青白江区 QBJ	0.019B	1023	1239.1	16.2	278
都江堰市 DJY	0.399B	1245	1017	15.2	280
邛崃市 QL	0.344B	1117	1108	16.3	285
蒲江县 PJ	-0.771A	1280	1122	16.4	302
广元市 GY	0.404B	1080	1389	16.1	263

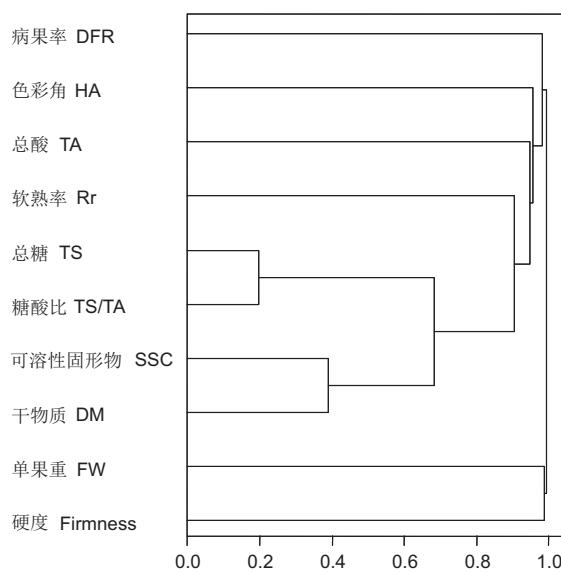
注：不同字母表示差异极显著($P < 0.01$)；相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。Notes: Different superscript letters within a column indicate significant difference, $P < 0.01$; Same superscript letters within a column indicate no significant difference, $P > 0.05$.

图3 10个果实品质指标的聚类谱系

Fig. 3 Clustering dendrogram of 10 evaluation factors

0.896)；可溶性固形物与干物质含量聚为一类($r = 0.781$)，说明果实采收时干物质含量与果实软熟后的可溶性固形物含量有极显著相关性。这4个品质指标聚在一起，然后再相继与其它果实品质指标聚类。总体上，各果实品质指标的系统聚类关系与它们之间的 r 值相对应。

3 讨论

3.1 果实品质数据分析

由于果实品质性状原始数据的计量单位不一样，数据量纲也不一致，因此需要对原始数据进行转化。在果实品质评价时，一般使用的数据转换方法有0~1标准化法和零均值化等^[18, 19]。然而，有些品质指标对综合品质评价有负面影响，因此，原

始数据的转化还需要考虑指标对评价体系的正、负影响。本研究中，色彩角、总酸含量、软熟率和病果率分别与果实的后熟和衰老、风味、货架期和抗逆有关，其测定数据被认为对果实品质评价有负面影响，因此使用公式(2)进行数据转化。

本研究中，可溶性固形物含量、干物质含量、总糖含量和糖酸比等4个品质指标之间彼此呈极显著相关性，该结果与冬枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)^[16]、芒果(*Mangifera indica* L.)^[20]、梨(*Pyrus pyrifolia* (Burm. F.) Nakai.)^[21]等水果及猕猴桃另一品种‘金魁’^[12]的研究结果相似。在系统聚类分析中，这4个品质指标由于相关性强而聚在一起，也与其他水果的研究结果相似。

3.2 果实品质评价的主成分分析

主成分分析可将原来众多的多组变量信息重新组合成某几个综合指标(主成分)中，达到减少数据集维数的目的。主成分分析已被广泛用于苹果(*Malus pumila* Mill.)^[22]、冬枣^[14]、芒果^[18]、梨^[19]、杏(*Armeniaca vulgaris* Lam.)^[21]和软枣猕猴桃(*A. arguta*(Siebold and Zuccarini) Planchon ex Miquel)^[23]等果实品质的评价中。一般选取特征值大于1的主成分进行分析。本研究中，前4个主成分的特征值都大于1，但累计方差贡献率只有71.83%，因此选取前6个主成分进行分析(累计贡献率为88.57%)，其中第6主成分的特征值为0.819。第一主成分方差贡献率最高，主要代表可溶性固形物含量、采收时干物质含量、总糖含量和糖酸比等，这几个品质指标之间呈极显著相关性。它们之中，只有干物质含量是果实采收时测定，其它各指标均在果实软化后测定。综合分析53家果

园采收时干物质含量与其后熟后可溶性固形物含量,表明‘金艳’采收时干物质含量必须达到14.85%及以上时,其后熟可溶性固形物含量才能达到12.9%及以上,此时食用,果实风味才体现该品种应有的风味特性,因此采收时果实干物质含量是预判果实后熟风味品质的重要指标,也是果实品质评价的重要因素。

3.3 果实品质的环境影响因子分析

猕猴桃果实品质性状的优劣主要取决于品种^[24]、遗传^[25]、立地条件^[26]、栽培技术和管理措施^[27]等多方面的综合作用。在本研究中,选取的‘金艳’猕猴桃果园涉及多个县,分布范围广,各果园的立地条件和管理措施不尽相同,因此本研究结果可为‘金艳’猕猴桃的栽培区域选择和田间管理提供有效的指导和参考。在本研究选取的各个地区中,蒲江县猕猴桃果园的果实品质相对较差,原因可能与该地区的气候条件和土壤因子有关。通过对多地气象因子分析,发现蒲江县年降水量最多而年日照时数偏低,因而影响其干物质、总糖等品质指标的积累;结合同时期对土壤的分析结果(未发表),发现该地区较差的果实品质也可能与土壤偏酸、粘重、有机质缺乏和地下水位较高有关;此外,部分果园施肥不科学,如果实生长后期追施氮肥等,也可能是导致品质较差的原因;后期应继续加强这些因素的系统研究。因此该地区果园需要加强园区冬夏季修剪,改善园区光照条件,增施有机肥,改善土壤透气性。同时,还需要科学施肥、追肥,重视花前平衡肥及坐果期磷钾肥施用,正常结果树谢花坐果50 d后禁施氮肥。

参考文献:

- [1] Zhong CH, Wang SM, Jiang ZW, Huang HW. ‘Jinyan’, an interspecific hybrid kiwifruit with brilliant yellow flesh and good storage quality [J]. *HortScience*, 2012, 47 (8): 1187–1190.
- [2] Abbott JA. Quality measurement of fruits and vegetables [J]. *Postharvest Biol Technol*, 1999, 15 (3): 207–225.
- [3] Liu HF, Wu BH, Fan PG, Li SH, Li LS. Sugar and acid concentrations in 98 grape cultivars analyzed by principal component analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 86 (10): 1526–1536.
- [4] Ruiz D, Egea J. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm [J]. *Euphytica*, 2008, 163 (1): 143–158.
- [5] Rajkumar P, Wang N, Elmasry G, Raghavan GSV, Gariepy Y. Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging [J]. *J Food Eng*, 2012, 108 (1): 194–200.
- [6] Silva BM, Andrade PB, Martins RC, Valentao P, Ferreres F, et al. Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit characterization using principal component analysis [J]. *J Agr Food Chem*, 2005, 53 (1): 111–122.
- [7] 钟彩虹, 李大卫, 韩飞, 刘小莉, 张鹏, 黄宏文. 猕猴桃品种果实性状特征和主成分分析研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17 (1): 92–99.
- [8] Zhong CH, Li DW, Han F, Liu XL, Zhang P, Huang HW. Fruit characters and principal component analysis of different ploidy of kiwifruit cultivars (*Actinidia Chinensis* Planch.) [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17 (1): 92–99.
- [9] 牟红梅, 于强, 李庆余, 王义菊, 姜福东, 等. 基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价 [J]. 果树学报, 2019, 36 (8): 1084–1092.
- [10] Mu HM, Yu Q, Li QY, Wang YJ, Jiang FD, et al. Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas [J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36 (8): 1084–1092.
- [11] 沈碧薇, 魏灵珠, 崔鹏飞, 程建徽, 向江, 吴江. 不同砧木对‘瑞都红玉’葡萄生长结果与果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2020, 37 (3): 350–361.
- [12] Shen BW, Wei LZ, Cui PF, Cheng JH, Xiang J, Wu J. Effects of different rootstocks on the growth and berry quality in ‘Ruidu Hongyu’ grapevines [J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37 (3): 350–361.
- [13] 贺娜, 张艳丽, 宁德鲁, 耿树香. 云南主栽油橄榄品种果实品质综合评价. 西南林业大学学报 [J]. 2019, 38 (2): 181–184.
- [14] He N, Zhang YL, Ning DL, Gen SX. Comprehensive evaluation on fruit quality of main olive varieties in Yunnan [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2018, 38 (2): 181–184.
- [15] 曲雪艳, 郎彬彬, 钟敏, 朱博, 陶俊杰, 等. 野生毛花猕猴桃果实品质主成分分析及综合评价 [J]. 中国农学通报, 2016, 32 (1): 92–96.
- [16] Qu XY, Lang BB, Zhong M, Zhu B, Tao JJ, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of *Actinidia eriantha* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32 (1): 92–96.
- [17] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 陈葵, 严玉平, 等. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价 [J]. 果树学报, 2012, 29 (5): 867–871.

- Liu KP, Huang CH, Leng JH, Chen K, Yan YP, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of 'Jinkui' kiwifruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(5): 867–871.
- [13] 陈璐, 廖光联, 杨聪, 黄春辉, 钟敏, 等. 基于主成分分析与聚类分析的黄肉猕猴桃品种(系)主要果实性状的综合评价 [J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1231–1240.
- Chen L, Liao GL, Yang C, Huang CH, Zhong M, et al. Comprehensive evaluation of main fruit characters of yellow flesh kiwifruit cultivars (strains) based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, 40(6): 1231–1240.
- [14] 陈美艳, 赵婷婷, 韩飞, 钟彩虹. 西峡县域内"金桃"猕猴桃的果实品质研究 [J]. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 180–182.
- Chen MY, Zhao TT, Han F, Zhong CH. Study on the fruit quality of 'Jintao' kiwifruit in Xixia county [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(35): 180–182.
- [15] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理化学实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [16] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 李琴, 王海, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491–2499.
- Ma QH, Li YH, Liang LS, Li Q, Wang H, et al. Factor analysis and synthetical evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. 'Dongzao') advanced selections [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(12): 2491–2499.
- [17] 聂继云, 张红军, 马智勇, 杨振锋, 李静. 聚类分析在我国果树研究中的应用及问题分析 [J]. 果树科学, 2000, 17(2): 128–130.
- Nie JY, Zhang HJ, Ma ZY, Yang ZF, Li J. The application of cluster analysis in the fruit research in China and its problems [J]. *Journal of Fruit Science*, 2000, 17(2): 128–130.
- [18] 张海英, 韩涛, 王有年, 李丽萍. 桃果实品质评价因子的选择 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 235–239.
- Zhang HY, Han T, Wang YN, Li LP. Selection of factors for evaluating peach (*Prunus persica*) fruit quality [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 235–239.
- [19] Kurtanjek Z, Horvat D, Magdic D, Drezner G. Factor analysis and modelling for rapid quality assessment of croatian wheat cultivars with different gluten characteristics [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2008, 46(3): 270–277.
- [20] 石胜友, 武红霞, 王松标, 姚全胜, 刘丽琴, 等. 杠果种质果实品质性状多样性分析 [J]. 园艺学报, 2011, 38(5): 840–848.
- Shi SY, Wu HX, Wang SB, Yao QS, Liu LQ, et al. Fruit quality diversity of mango (*Mangifera indica* L.) germplasm [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(5): 840–848.
- [21] 田瑞, 胡红菊, 杨晓平, 张靖国, 陈启亮. 梨果实品质评价因子的选择 [J]. 长江大学学报(自然科学版), 2009, 6(3): 8–11.
- Tian R, Hu HJ, Yang XP, Zhang JG, Chen QL. Selection of factors for evaluating pear fruit quality [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2009, 6(3): 8–11.
- [22] 董月菊, 张玉刚, 梁美霞, 戴洪义. 苹果果实品质主要评价指标的选择 [J]. 华北农学报, 2011, 26(S1): 74–79.
- Dong YJ, Zhang YG, Liang MX, Dai HY. Selection of main indexes for evaluating apple fruit quality [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S1): 74–79.
- [23] Azodanlou R, Darbellay C, Luisier JL, Villettaz JC, Amadò R. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots [J]. *LWT-Food Sci and Technol*, 2003, 36(2): 223–233.
- [24] 秦红艳, 许培磊, 艾军, 刘迎雪, 范书田, 等. 软枣猕猴桃种质资源果实品质、表型性状多样性及主成分分析 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(1): 160–165.
- Qin HY, Xu PL, Ai J, Liu YX, Fan ST, et al. Diversity of fruit quality and phenotypic traits of *Actinidia arguta* Planch. germplasm resources and their principal component analysis [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* [J]. 2015, 31(1): 160–165.
- [25] Nishiyama I, Yamashita Y, Yamanaka M, Shimohashi A, Fukuda T, Oota T. Varietal difference in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(17): 5472–5475.
- [26] Huang HW, Ferguson AR. Genetic resources of kiwifruit: domestication and breeding [M]//Janick J, ed. *Horticultural Reviews*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [27] Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops [J]. *Post-harvest Biol Technol*, 2000, 20(3): 207–220.

(责任编辑: 周媛)