

## 基于主成分分析枇杷果实品质评价预测模型建立

邵梅<sup>1</sup>,孙超<sup>2</sup>,殷益明<sup>1</sup>,王伟中<sup>3</sup>,赵兴根<sup>2</sup>,史星云<sup>1\*</sup>

1. 湖州市农业科学研究院,浙江 湖州 313000

2. 雷甸镇农业农村办公室,浙江 湖州 313219

3. 德清县雷甸镇福云家庭农场,浙江 湖州 313219

**摘要:** 为了明确枇杷果实主要品质指标特征及建立其品质评价模型,以23份枇杷样本为试验材料,测定其单果重和维生素C等15项品质指标,采用主成分分析等进行综合评价,然后运用逐步回归分析构建枇杷果实品质评价预测模型。结果表明,果实品质在不同枇杷样本间有所差异,且各品质指标变异系数不同,其范围为4.68%~66.27%。相关性分析表明品质指标间存在正相关或负相关。通过主成分分析,提取了特征值大于1的5个主成分,累计方差贡献率达到了87.486%,且评价结果可以明显区分不同枇杷样本间果实品质差异。最终,运用逐步回归分析方法构建了枇杷果实品质评价预测模型,该模型中包含了单果重等6项关键指标。基于本试验,单果重、 $a^*$ 、VC、TS、 $h^*$ 和纵径是评价枇杷果实品质的重要指标,编号PPT、PPQ、PPA、PPU和PPD等综合品质较好,可作为当地优先考虑栽培品种和重要的种质资源。

**关键词:** 枇杷; 品质; 主成分分析; 评价模型; 回归分析

中图法分类号: S667.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2026)02-0306-09

## Establishment of a Predictive Model for Loquat Fruit Quality Evaluation Based on Principal Component Analysis

SHAO Mei<sup>1</sup>, SUN Chao<sup>2</sup>, YIN Yi-ming<sup>1</sup>, WANG Wei-zhong<sup>3</sup>, ZHAO Xing-gen<sup>2</sup>, SHI Xing-yun<sup>1\*</sup>

1. Huzhou Academy of Agricultural Science, Huzhou 313000, China

2. Leidian Town Agriculture and Rural Office, Huzhou 313219, China

3. Deqing County Leidian Town Fuyun Family Farm, Huzhou 313219, China

**Abstract:** To clarify the characteristics of key quality indicators of loquat fruits and establish a quality evaluation model, using 23 loquat fruit samples as experimental materials, this study measures 15 quality indicators including single fruit weight and VC. It employs principal component analysis for comprehensive evaluation, and subsequently constructs a predictive model for loquat fruit quality assessment by stepwise regression analysis. The results show that fruit quality varies among different loquat samples, with the variation coefficients of the quality indicators ranging from 4.68% to 66.27%. Correlation analysis reveal positive or negative relationships among the quality indicators. Through principal component analysis, this study extracts five principal components with eigenvalues greater than 1, with a cumulative variance contribution rate of 87.486%. The evaluation results clearly distinguish differences in fruit quality among the loquat samples. Finally, a stepwise regression analysis method is applied to construct a prediction model for loquat fruit quality evaluation, which include six key indicators, such as single fruit weight. Based on this study, single fruit weight,  $a^*$ , VC, TS,  $h^*$  and longitudinal diameter are key indicators for evaluating loquat fruit quality. Samples numbered PPT, PPQ, PPA, PPU and PPD exhibit superior overall quality and can be prioritized as local cultivars and important germplasm resources.

**Keywords:** Loquat; quality; principal component analysis; evaluation model; regression analysis

枇杷原产中国,是我国南方一种特色常绿乔木果树,隶属于蔷薇科(Rosaceae)枇杷属(*Eriobotrya*),其口感脆嫩多汁、酸甜细腻和风味独特,有“早春第一果”的美誉,深受市场青睐和

消费者喜爱<sup>[1]</sup>。枇杷果实营养丰富,富含糖类、有机酸、氨基酸、胡萝卜素、维生素、矿物质以及酚类、黄酮类等物质<sup>[2-5]</sup>,具有促进食物消化、解暑消渴、增进食欲、抗氧化、提高人体免疫力和

收稿日期: 2025-05-31

修回日期: 2026-03-06

基金项目: 湖州市科技特派员项目(2023KT35)

第1作者简介: 邵梅(1976-),硕士,农艺师,研究方向:农业栽培技术与推广。Email: 754672517@qq.com

\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: shixingyunlove@163.com

延缓衰老等功效<sup>[6-8]</sup>。除鲜食和药用外,枇杷还可加工成果酱、果汁、果酒和蜜饯等<sup>[9,10]</sup>,有着极为广阔的市场空间和应用前景。

枇杷果实品质指标众多,包括形状、大小、色泽、糖酸、硬度、氨基酸、维生素、矿物质、蛋白质和酚类等,且指标间存在信息交叉和关联,不仅很难科学、客观和合理地评价其质量高低,而且也缺乏相应的适用品质评价体系,这些问题一定程度上阻碍了枇杷产业的可持续健康发展。近几年来,有关枇杷的研究主要聚焦在新品种选育<sup>[11-13]</sup>、栽培管理措施<sup>[14-16]</sup>、遗传特性<sup>[17,18]</sup>、种质资源评价<sup>[19]</sup>、病虫害防治<sup>[20]</sup>、贮藏保鲜<sup>[21,22]</sup>、分子机制<sup>[23]</sup>、抗逆性<sup>[24,25]</sup>及药用功效<sup>[26]</sup>等方面,而针对枇杷果实品质评价预测模型方面的研究相对空白。目前,主成分结合聚类或回归分析等方法,应用在园艺作物种质资源和品质评价上的报道逐步增多,比如在果桑<sup>[27]</sup>、蝴蝶兰<sup>[28]</sup>、荔枝<sup>[29]</sup>、火龙果<sup>[30]</sup>、辣椒<sup>[31]</sup>和切花百合<sup>[32]</sup>等上已有报道。同时,赵双等人<sup>[33]</sup>基于相关性和主成分分析对23个白沙枇杷11项指标分析后筛选出了得分前3的品种;同时,李檐堂等人<sup>[34]</sup>采用主成分和聚类分析方法评价了10个引进日本枇杷品种,筛选出了排名前3的品种,并将10个品种聚为5类。但前人研究主要采用主成分结合相关性或聚类分析等方法,且只针对白沙品种或者样本范围小;还未见运用主成分联合相关性和回归分析对同一地区不同基地内不同枇杷进行果实品质综合评价与评价预测模型建立的相关报道。

本研究以浙江省湖州市德清县雷甸镇4个枇杷种植基地内23份枇杷果实为样本,测定单果重、纵横径、果皮色泽参数和维生素C等15项品质指标,采用多元统计进行评价分析,旨在为枇杷良种筛选和果实品质综合评价体系建立提供一定技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点和材料

选取23份枇杷成熟果实,包括红肉、白肉两种类型,采摘于浙江省湖州市德清县雷甸镇4家枇杷种植基地内(表1),常规管理。果实成熟时上午8:00~10:00,每个品种随机选取8棵枇杷树,从植株东西南北中五个方向分别采摘2个果

表1 试验样品名称及代号

Table 1 Names and codes of the experimental samples

序号 Number	名称 Names	类型 Type	来源地 Origin	代号 Code
1	硬条白沙	白肉		PPA
2	软条白沙	白肉		PPB
3	白玉	白肉		PPC
4	红种3	红肉	基地1	PPD
5	红种2	红肉		PPS
6	老白沙	白肉		PPT
7	地方种1	白肉		PPU
8	红毛丫头1	红肉		PPE
9	老白沙	白肉		PPF
10	红毛丫头2	红肉		PPG
11	硬条白沙	白肉	基地2	PPH
12	红种1	红肉		PPI
13	软条白沙	白肉		PPJ
14	大叶杨墩	红肉		PPW
15	杨墩白沙	白肉		PPX
16	软条白沙	白肉	基地3	PPK
17	红种4	红肉		PPL
18	二早	红肉		PPM
19	浙白28号	白肉		PPN
20	软条白沙	白肉	基地4	PPO
21	硬条白沙	白肉		PPP
22	杨墩种优系	红肉		PPQ
23	红毛丫头	红肉		PPR

实,要求果实大小外观均匀一致、无病虫害和机械损伤,共计80个果实,带回实验室用于品质指标测定。

### 1.2 测定方法

1.2.1 果实形态指标测定 从样品中随机选取9粒果实,每粒果实1重复,分别测定单果重和纵横径指标,去除种子后测定果肉重。单果重/果肉重(g)采用电子天平测定,纵横径(mm)采用数显式游标卡尺测定。

1.2.2 果皮颜色指标测定 从样品中随机选取9粒果实,每粒果实1重复,使用色差计沿着每粒果实赤道部位分别测量果实的阴阳两面果皮色泽参数,取其平均值。果皮色泽参数 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 采用NR10QC色差计进行测定,然后再根据史星雲等人<sup>[35]</sup>方法计算色泽饱和度 $C^*$ 、色调角 $h^*$ (rad)和CRIG。

1.2.3 内在品质指标测定 从样品中随机选取27粒果实,每3粒1组,去除种子后,分成2份,

1 份挤出汁液用于测定可溶性固形物(SSC)和可滴定酸(TA),重复 9 次;另 1 份液氮处理后送机构测定总糖(TS)和维生素 C(VC),重复 3 次。可溶性固形物(%)采用便携式糖度计(ATAGO, 日本)测定,可滴定酸(%)采用便携式酸度计(ATAGO, 日本)测定,固酸比为 SSC 与 TA 的比值,维生素 C( $\mu\text{g/gFW}$ )采用菲咯啉比色法测定,总糖( $\text{mg/gFW}$ )采用 DNS 显色法测定,以上测定方法参照曹建康等<sup>[36]</sup>人的方法。

VC 和 TS 指标由诺敏科达(武汉)生物科技有限公司测定,其余指标在浙江省湖州市农业科学研究院农业种质资源创新与应用重点实验室自行测定。

### 1.3 数据处理

数据采用软件 WPS Office 2019 和 IBM SPSS Statistics19.0 进行整理分析,并且利用 Pearson 双侧检验法进行相关性分析,利用逐步线性回归法进行回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本统计分析

对 23 份枇杷种质资源 15 项品质指标描述性统计分析结果如表 2。单果重范围为 9.64~69.09 g,平均单果重为 33.99 g,变异系数 31.83%;纵径范围为 27.04~53.58 mm,平均纵径为 40.60 mm,变

异系数 13.12%;横径范围为 24.43~51.31 mm,平均横径为 38.91 mm,变异系数 12.24%;果肉重范围为 3.99~45.44 g,平均果肉重为 21.85 g,变异系数 35.74%;果皮颜色  $L^*$  范围为 49.46~62.81,平均果皮颜色  $L^*$  为 56.38,变异系数 4.69%;果皮颜色  $a^*$  范围为 3.10~18.62,平均果皮颜色  $a^*$  为 9.06,变异系数 34.49%;果皮颜色  $b^*$  范围为 21.79~39.70,平均果皮颜色  $b^*$  为 33.32,变异系数 8.65%;果皮色泽饱和度  $C^*$  范围为 23.47~43.08,平均果皮色泽饱和度  $C^*$  为 34.63,变异系数 9.40%;果皮色调角  $h^*$  范围为 1.11~1.48 rad,平均果皮色调角  $h^*$  为 1.31 rad,变异系数 5.92%;果皮颜色 CRIG 范围为 1.74~2.35,平均果皮颜色 CRIG 为 1.97,变异系数 5.19%;SSC 范围为 7.79~20.41%,平均 SSC 为 12.30%,变异系数 20.83%;TA 范围为 0.13~2.11%,平均 TA 为 0.85%,变异系数 43.85%;固酸比范围为 4.49~93.58,平均固酸比为 18.56,变异系数 66.26%;VC 范围为 43.62~138.06  $\mu\text{g/gFW}$ ,平均 VC 为 69.18  $\mu\text{g/gFW}$ ,变异系数 25.18%;TS 范围为 51.51~165.14  $\text{mg/gFW}$ ,平均 TS 为 93.63  $\text{mg/gFW}$ ,变异系数 24.71%。

从表 2 可以看出,15 项品质指标变异系数在 4.68%~66.27% 之间,其中固酸比变异系数最大,高达 66.26%;其次为 TA,变异系数为 43.85%;紧接着为果肉重、果皮颜色  $a^*$ 、单果重,其变异系数

表 2 基本统计分析结果  
Table 2 Basic statistical analysis results

项目 Item	极大值 Maximum	极小值 Minimum	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation
单果重/g	69.08	9.65	33.99	10.82	31.83
纵径/mm	53.57	27.05	40.60	5.33	13.12
横径/mm	51.30	24.44	38.91	4.76	12.24
果肉重/g	45.43	4.00	21.85	7.81	35.74
$L^*$	62.80	49.47	56.38	2.65	4.69
$a^*$	18.61	3.11	9.06	3.12	34.49
$b^*$	39.69	21.80	33.32	2.88	8.65
$C^*$	43.07	23.48	34.63	3.26	9.40
$h^*/\text{rad}$	1.47	1.12	1.31	0.08	5.92
CRIG	2.34	1.75	1.97	0.10	5.19
SSC/%	20.40	7.80	12.30	2.56	20.83
TA/%	2.10	0.14	0.85	0.37	43.85
固酸比	93.57	4.50	18.56	12.30	66.26
VC/( $\mu\text{g/gFW}$ )	138.05	43.63	69.18	17.42	25.18
TS/( $\text{mg/gFW}$ )	165.13	51.52	93.63	23.14	24.71

分别为35.74%、34.49%和31.83%;而VC、TS、SSC、纵径和横径这五个品质指标变异系数在12.23%~25.19%范围内;其余指标变异系数均在10%以下,且果皮颜色 $L^*$ 变异系数最小,仅为4.69%。

## 2.2 相关性分析

由表3指标间相关性分析可以看出,枇杷15项品质指标间有的呈正相关,有的呈负相关;其中11对指标间呈显著相关( $P<0.05$ ),45对指标间呈极显著相关( $P<0.01$ ),并且单果重与纵径、横径和果肉重,纵径与果肉重, $a^*$ 与 $h^*$ , $b^*$ 与 $C^*$ 、CRIG等指标间相关系数绝对值都在0.85以上,说明枇杷品质指标间有较强的相关性。

## 2.3 适用性分析

由表4可以看出,KMO数值为0.649;同时,Bartlett检验近似卡方值为5323.549,且显著性值小于0.01,这也说明该组数据适合进行主成分分析。

## 2.4 主成分分析

对23份枇杷果实的15项品质指标进行主成分分析,结果见表5。选取特征值大于1的主成分共计5个,它们的特征值分别为4.002、3.516、2.995、1.609和1.001,对应方差贡献率分别为26.683%、23.439%、19.965%、10.729%和6.670%;累计方差贡献率87.486%,能够反映枇杷15项品质指标的大部分信息。

由表6主成分载荷矩阵可以看出,第1主成分中主要包含单果重、横径、果肉重和纵径等指标,其中单果重载荷值最高,为0.918,可以命名为质量形状因子;第2主成分中包含果皮色泽饱和度 $C^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 等代表性指标,其中果皮色泽饱和度 $C^*$ 载荷值最高,为0.902,可以命名为颜色因子;第3主成分中包含果皮颜色 $L^*$ 和CRIG等重要指标,其中果皮颜色 $L^*$ 载荷绝对值最高,为0.769,可以命名为亮度因子;第4主成分中包含总糖、VC和SSC等代表性品质指标,其中总糖载荷值最高,为0.689,可以命名为糖度因子;第5主成分中主要包含固酸比等品质指标,其中固酸比载荷值为0.598,可以命名为风味因子。

首先,计算 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 和 $F_5$ 的相对方差贡献率,以其为权重,构造枇杷果实综合品质评价函数 $F=0.305F_1+0.268F_2+0.228F_3+0.123F_4+$

$0.06F_5$ , $F$ 值越高表明其综合品质越好,反之则差。由表7可知,23份枇杷样品中果实综合品质得分较高的依次是PPT、PPQ、PPA、PPU和PPD,得分较低的依次为PPH、PPJ、PPF、PPG和PPE,其中排名前12的综合得分均为正值,剩余的则为负值。主成分分析结果可以明显将不同枇杷种质资源间果实品质差异区别,表明基于主成分评价枇杷果实综合品质是可行的、科学的和客观的。

## 2.5 品质评价预测模型构建

以15项品质指标作为自变量,23份枇杷种质资源果实品质综合得分作为因变量 $Y$ ,采用逐步回归分析方法构建枇杷果实品质的理论预测模型。由表8可以得出, $Y=-10.928+0.059\times$ 单果重 $+0.185\times a^*+0.009\times VC+0.006\times TS+3.865\times h^*+0.024\times$ 纵径(1式),调整 $R^2=0.992$ , $P=0.017$ ;单果重、 $a^*$ 、VC、TS、 $h^*$ 和纵径6个指标是其重要评价因子。然后将单果重、 $a^*$ 、VC、总糖、 $h^*$ 和纵径6个指标相应原值代入(1式)计算各样本 $Y$ 值, $Y$ 与 $F$ 线性相关性计算得出 $R=0.995$ ,这充分说明该模型不仅将原先的15项指标简化成6个指标,且与实际结果基本一致,具有良好的准确度和科学性,可以应用该模型预测生产中枇杷果实品质。

## 3 讨论

枇杷作为起源于我国且在南方广为栽培的特色常绿果树,秋萌冬花,春实夏熟<sup>[37]</sup>。我国枇杷种质资源丰富,育种工作者通过实生选种、杂交育种、引种、生物技术创制等方法,使其种类更加齐全<sup>[38]</sup>。浙江省湖州市德清县雷甸镇栽培枇杷历史悠久,已有1400年的历史,在唐武德年间为“贡品”。但本地以传统枇杷品种种植为主,栽培管理水平高低不等,品质产量参差不齐,因此开展雷甸镇枇杷果实品质评价,筛选优质良种,对本地枇杷产业可持续发展具有重要作用。不同枇杷间果实品质存在差异,除受品种自身遗传特性决定外,还受环境条件<sup>[39,40]</sup>、土肥水<sup>[14,41]</sup>、栽培措施<sup>[15,16]</sup>、植物生长调节剂<sup>[42]</sup>和微生物<sup>[43]</sup>等诸多外在因素影响。本研究选取的23份材料果实品质指标间存在差异,主要是品种本身造成的,这是因为所有样本均来自德清县雷甸镇4个

表 3 品质指标相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of quality indicators

指标 Index	单果重 Fruit weight	纵径 Longitudinal diameter	横径 Transverse diameter	果肉重 Pulp weight	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^*$	CRIG	SSC	TA	固酸比 Solid acid ratio	VC	TS
单果重 Fruit weight	1														
纵径 Longitudinal diameter	0.878**	1													
横径 Transverse diameter	0.954**	0.828**	1												
果肉重 Pulp weight	0.960**	0.859**	0.899**	1											
$L^*$	0.051	0.036	0.078	0.047	1										
$a^*$	0.053	0.123	0.019	-0.005	-0.255**	1									
$b^*$	0.004	0.027	0.003	-0.085	0.331**	0.410**	1								
$C^*$	0.016	0.052	0.009	-0.076	0.223**	0.614**	0.971**	1							
$h^*$	-0.051	-0.127	-0.015	-0.016	0.369**	-0.955**	-0.136	-0.363**	1						
CRIG	-0.036	-0.054	-0.047	0.030	-0.731**	-0.269**	-0.868**	-0.823**	0.026	1					
SSC	-0.208**	-0.283**	-0.212**	-0.206**	-0.392**	0.090	-0.142*	-0.105	-0.142*	0.302**	1				
TA	0.053	0.068	0.085	0.05	0.337**	-0.451**	-0.013	-0.125	0.481**	-0.104	-0.166*	1			
固酸比 Solid acid ratio	-0.196**	-0.235**	-0.198**	-0.201**	-0.238**	0.353**	0.059	0.144*	-0.351**	0.039	0.362**	-0.753**	1		
VC	0.184**	0.133	0.162*	0.220**	-0.264**	0.134	0.111	0.129	-0.103	0.051	0.342**	-0.041	0.102	1	
TS	-0.143*	-0.180**	-0.145*	-0.105	-0.136*	0.166*	0.137*	0.162*	-0.132	-0.030	0.529**	-0.111	0.292**	0.448**	1

注: \*\*与\*分别表示在0.01水平极显著相关和0.05水平显著相关。  
Note: \*\* and \* indicate statistically significant correlation and significant correlation at the 0.01 level and 0.05 level, respectively.

表 4 KMO 和 Bartlett 检验  
Table 4 Test of KMO and Bartlett

检验方法 Testing method	指标 Index	数值 Value
Kaiser-Meyer-Olkin 检验	KMO 值	0.649
	近似卡方	5 323.549
Bartlett 球形度检验	自由度	105
	显著性	0.000

表 5 主成分特征值和方差贡献率  
Table 5 Eigenvalue and variance contribution of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累积方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate
1	4.002	26.683	26.683
2	3.516	23.439	50.121
3	2.995	19.965	70.086
4	1.609	10.729	80.816
5	1.001	6.670	87.486

表 6 载荷矩阵  
Table 6 Loading matrix

指标 Indicator	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
单果重	0.918	0.143	0.310	0.048	0.097
纵径	0.877	0.173	0.267	-0.047	-0.028
横径	0.901	0.119	0.271	0.058	0.111
果肉重	0.898	0.068	0.343	0.078	0.118
$L^*$	0.274	0.079	-0.769	0.067	0.342
$a^*$	-0.130	0.829	0.305	-0.275	-0.307
$b^*$	0.030	0.795	-0.496	0.176	-0.015
$C^*$	-0.008	0.902	-0.353	0.080	-0.091
$h^*$	0.150	-0.650	-0.477	0.358	0.337
CRIG	-0.151	-0.669	0.694	-0.102	-0.140
SSC	-0.460	0.015	0.475	0.501	0.031
TA	0.310	-0.401	-0.506	0.367	-0.482
固酸比	-0.468	0.381	0.414	-0.115	0.598
VC	0.052	0.236	0.391	0.682	-0.118
TS	-0.325	0.271	0.255	0.689	0.083

枇杷种植基地内,其气候条件和生态环境因子等大体一致,对品种间品质造成的差异影响极小;同时基地为传统枇杷种植区,其栽培措施和种植者管理水平也相对接近,对品质有一定影响。

变异系数可以反映出指标的稳定程度,其值越大,指标越容易变异,越不稳定,反之亦然。本研究对枇杷的 15 个指标变异系数统计分析发现,其变异系数范围为 4.68%~66.27%,其中固酸比是变异系数最大的一个品质指标,高达 66.26%;其值由 SSC 和 TA 比值决定,这两项指

标变异系数也较大,分别为 20.83% 和 43.85%,该结果中 TA 变异系数与赵双<sup>[33]</sup>等人研究结果一致,但 SSC 的变异系数不一致,这主要是因为选取样本范围和样本生长环境不同等因素造成的。同时,固酸比、果肉重、TA 和单果重等指标变异系数大,其值均在 30% 以上;说明选取的样本范围广,某些指标之间差异大,这样更能提高后续品质评价模型建立的科学性和合理性。单果重是衡量水果外观品质和产量的关键因子,影响果实的营养价值和经济效益<sup>[44,45]</sup>。本研究表明,单

表 7 主成分评价结果  
Table 7 Principal component evaluation results

代号 Code	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	综合得分 $F$ Comprehensive score	排名 Ranking
PPA	2.569	0.253	-0.09	1.252	0.797	1.045	3
PPB	-1.112	0.299	1.474	2.636	-0.494	0.363	7
PPC	-2.344	-1.201	0.296	0.412	2.060	-0.762	18
PPD	-0.374	0.859	1.662	0.903	-0.657	0.556	5
PPE	-2.528	-0.237	-1.481	-1.986	-0.712	-1.470	23
PPF	-1.631	-1.662	-0.722	0.573	-0.523	-1.077	21
PPG	-4.607	1.943	-0.632	-0.893	0.080	-1.132	22
PPH	0.698	-2.149	-1.805	-0.509	-0.198	-0.852	19
PPI	0.273	0.917	0.492	-1.125	-1.153	0.215	8
PPJ	-0.413	-1.098	-2.867	0.323	0.355	-1.008	20
PPK	-0.79	0.249	-0.282	2.413	-0.118	0.048	10
PPL	0.821	0.801	0.473	-0.755	-0.748	0.423	6
PPM	0.479	0.699	-0.475	-1.394	-0.227	0.036	11
PPN	0.044	0.214	-1.839	0.571	0.001	-0.279	17
PPO	-0.737	-1.042	1.596	0.839	0.009	-0.036	14
PPP	1.765	-1.620	-1.150	-0.222	0.435	-0.152	15
PPQ	0.447	4.003	1.855	-0.087	-0.186	1.607	2
PPR	-0.741	1.164	0.082	-1.151	0.619	0.011	12
PPS	1.136	-0.181	-0.725	-0.211	-0.095	0.099	9
PPT	3.886	2.709	0.175	-0.327	0.432	1.944	1
PPU	2.398	-1.276	0.947	0.366	0.105	0.659	4
PPV	1.739	-2.140	1.269	-2.187	-0.019	-0.023	13
PPW	-0.979	-1.501	1.748	0.557	0.237	-0.215	16

表 8 预测模型回归系数  
Table 8 Regression coefficients of prediction model

模型 Model	常量 Constant	单果重 Fruit weight	$a^*$	VC	TS	$h^*$	纵径 Longitudinal diameter	
非标准化系数	$B$	-10.928	0.059	0.185	0.009	0.006	3.865	0.024
	标准误差	1.677	0.004	0.027	0.001	0.001	1.082	0.009
标准系数	试用版		0.707	0.622	0.189	0.161	0.323	0.141
	$t$	-6.516	13.514	6.858	8.331	6.905	3.571	2.667
显著性		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.017

果重范围 9.64~69.09 g, 变异系数 33.89%。这与陈秀萍等人<sup>[46]</sup>研究结果基本一致, 而与赵双等人<sup>[33]</sup>研究结果不一致。这主要是选取的样本范围、管理水平和生长环境等因素差异造成的。

目前, 应用于枇杷品质评价的方法较多, 比如隶属函数值法<sup>[3]</sup>、高光谱成像<sup>[47]</sup>、赋值综合评价法<sup>[48]</sup>和主成分分析法<sup>[33,34,46]</sup>等方法, 相比较于传统评价方法, 其可以排除主观感受、个人喜好和利益等人为干扰因素, 做到客观、公正和科学评价, 并且高光谱成像可以做到无损检测, 越来

越多的应用到品质评价工作中。本研究主成分分析选取的 5 个主成分累计方差贡献率达到 87.486%, 能够反映出枇杷果实品质指标的绝大部分信息。而赵双等人<sup>[33]</sup>、李檐堂等人<sup>[34]</sup>和陈秀萍等人<sup>[46]</sup>均提取了 4 个主成分, 但累计方差贡献率不同, 原因是选取样本、指标范围及数量等不同。主成分分析结果可以明显将不同枇杷种质资源间果实品质差异区别, 依据本研究编号 PPT、PPQ、PPA、PPU 和 PPD 的综合品质较好。在主成分分析的基础上, 本试验又采用逐步回归

分析方法构建了枇杷果实品质评价预测模型,该模型将原先的15项品质指标简化为6项,最终模型得分与主成分得分一致。这说明基于主成分分析法评价枇杷果实品质和构建其评价模型是可行的。本研究只测定了枇杷果实的15项主要品质指标,但未将枇杷果实黄酮、硬度、酚类、胡萝卜素和氨基酸等指标考虑进去,同时样本数量也有待进一步提高,下一步将扩大样本数量和检测指标范围,为构建枇杷科学的品质评价体系提供基础依据。

#### 4 结论

综上所述,依据本研究编号老白沙、杨墩种优系、硬条白沙、地方种1和红种3的枇杷果实综合品质较好,评价模型为: $Y = -10.928 + 0.059 \times \text{单果重} + 0.185 \times a^* + 0.009 \times \text{VC} + 0.006 \times \text{TS} + 3.865 \times h^* + 0.024 \times \text{纵径}$ ,且单果重、 $a^*$ 、VC、TS、 $h^*$ 和纵径是重要评价因子。该结果对指导当地枇杷生产和完善枇杷果实评价体系具有重要理论意义。

#### 参考文献

- [1] 许奇志,邓朝军,蒋际谋,等. 避雨设施葡萄对套种枇杷生长与结果的影响[J]. 果树学报,2023,40(10):2149-2159.
- [2] 罗吉庆,张永杰,江丽慧,等. 枇杷营养价值和功能价值的应用研究[J]. 农产品加工,2021(04):83-87.
- [3] 朱作艺,姜遥,姚佳蓉,等. 浙江枇杷营养品质分析[J]. 浙江农业科学,2021,62(12):2360-2362.
- [4] 林素英,谢文燕,何松涛. 不同品种枇杷果实酚类物质及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技,2016,37(18):149-152.
- [5] Ercisli S, Gozlekci S, Sengul M, et al. Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant capacity of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) fruits from Turkey[J]. Scientia Horticulturae (Amsterdam),2012,148:185-189.
- [6] 王寸寸,蒋亚林,张孝飞,等. 强力枇杷露对慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者的临床疗效及肺功能和IL-6、CRP、PCT水平的影响[J]. 广州中医药大学学报,2024,41(03):569-575.
- [7] Atul D, Rajat S, Dhruv T, et al. Current status of loquat (*Eriobotrya Japonica* Lindl.): bioactive functions, preservation approaches, and processed products[J]. Food Reviews International,2022,38(S1):286-316.
- [8] Sagar N A, Pareek S, Bhardwaj R, et al. Bioactive compounds of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) L.) [J]. Bioactive Compounds in Underutilized Fruits and Nuts,2020:123-143.
- [9] 刘金,郭洁平,姚晓云,等. 枇杷果酒研究进展[J]. 食品工业,2023,44(05):291-293.
- [10] 张相钊,邓鑫峰,马靖雯,等. 不同品种枇杷制汁适宜性分析[J]. 食品研究与开发,2024,45(02):58-64.
- [11] 徐红霞,李晓颖,葛航,等. 晚熟白肉枇杷新品种迎雪的选育[J]. 果树学报,2023,40(10):2291-2295.
- [12] 王君秀,李晓林,何桥,等. 早熟大果无核白肉枇杷新品种'无核早玉'[J]. 园艺学报,2024,51(S2):67-68.
- [13] 蒋际谋,邓朝军,许奇志,等. 优质大果中熟白肉枇杷新品种中白的选育[J]. 果树学报,2024,41(10):2139-2143.
- [14] 徐雅欣. 腐植酸水溶肥对枇杷生长、养分吸收及果实品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2024.
- [15] 刘小英,张游南,吴碧君,等. 避雨栽培对福建山地枇杷物候期及产量品质的影响[J]. 中国果树,2024(12):87-96.
- [16] Zhi C, Ali M M, Zhang J Y, et al. Effect of paper and aluminum bagging on fruit quality of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) [J]. Plants, 2021, 10(12):2704-2704.
- [17] 朱启轩,李晓颖,葛航,等. 宁海白和大房枇杷F1代叶、花和果抗氧化活性分析与评价[J]. 果树学报,2024,41(09):1716-1730.
- [18] 周甲云,张坤,王羊,等. '果真好1号'与其亲本'大五星'枇杷果实苹果酸代谢差异比较[J]. 四川农业大学学报,2024,42(03):546-553.
- [19] 江旭升,杨勇胜,李庆宏,等. 47份枇杷种质资源树体生长型分析及其亲和力鉴定[J]. 江苏农业科学,2021,49(07):135-141.
- [20] 吴聪,陈镓豪,朱思怡,等. 大棚枇杷上木虱发生规律及5种杀虫剂的防治效果[J]. 中国南方果树,2024,53(05):91-94+100.
- [21] 郑现容,鲜双,谢鸿林,等. 梯度预冷复合低温贮藏对大五星枇杷采后品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2024,50(22):254-260.
- [22] Cai Z H, Huang W N, Zhong J H, et al. Methyl jasmonate-loaded composite biofilm sustainably alleviates chilling lignification of loquat fruit during postharvest storage[J]. Food Chemistry,2024,444:138602.
- [23] Li J, Chen D, Jiang G L, et al. Molecular cloning and expression analysis of EjsWEET15, encoding for a sugar transporter from loquat[J]. Scientia Horticulturae, 2020,272:109552.

- [24] 葛航,李晓颖,王志轩,等.利用寒潮后存活果穗比例评价枇杷幼果抗冻性[J].园艺学报,2024,51(12):2895-2912.
- [25] 赵双,尤伟忠,汪溢,等.基于转录组分析枇杷响应干旱胁迫的分子机制[J].江苏农业科学,2024,52(17):27-34.
- [26] Arnamalia A, Wiyarta E, Surya R, et al. Anti-proliferating and antioxidant properties of *Eriobotrya japonica* fruit in human breast cancer cells combined with in silico study[J]. CyTA-Journal of Food, 2024, 22(1): 2427-2442.
- [27] 史星雲,徐珊珊,柳丽萍,等.基于主成分分析果桑品质评价模型的建立[J].中国果树,2024(03):54-59.
- [28] 李艳冬,李运兴,殷益明,等.基于主成分分析蝴蝶兰质量评价模型建立[J].北方园艺,2024(06):61-68.
- [29] 王思威,孙海滨,常虹,等.基于主成分分析综合评价白糖罂荔枝果实品质[J].果树学报,2022,39(04):610-620.
- [30] 张亚琦,何云,李洪立,等.33份火龙果种质果实性状主成分分析及综合评价[J].热带作物学报,2024,45(08):1560-1571.
- [31] 陶兴林,朱惠霞,张玉鑫,等.基于主成分和聚类分析的加工辣椒品质特性及相关性分析[J].食品研究与开发,2024,45(14):148-156.
- [32] 史星雲,徐珊珊,李艳冬,等.基于主成分和聚类分析对切花百合品质的综合评价[J].山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(04):510-516.
- [33] 赵双,尤伟忠,黄颖宏,等.基于主成分分析综合评价23个白沙枇杷品种果实品质[J].中国南方果树,2023,52(06):114-118.
- [34] 李檐堂,霍宇航,孟瑶瑶,等.陕西安康地区10个日本引种枇杷果实品质比较[J].食品科学,2019,40(05):70-76.
- [35] 史星雲,王莉,金勤生,等.不同葡萄品种果实品质差异性分析与评价[J].中国南方果树,2022,51(04):140-145+150.
- [36] 曹建康,赵玉梅,姜微波.果蔬采后生理生化实验技术[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [37] 邱武陵,章恢志.中国果树志龙眼枇杷卷[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [38] 林顺权.新中国果树科学研究70年——枇杷[J].果树学报,2019,36(10):1421-1428.
- [39] 魏华兵,陈正洪,何华平,等.不同海拔高度气象条件对枇杷冻、热害与果实品质的影响[J].湖北农业科学,2021,60(24):130-135.
- [40] 黄霄,王化坤,薛松,等.大棚栽培对枇杷果实品质和矿质元素吸收与积累的影响[J].果树学报,2020,37(04):540-552.
- [41] 罗弦,王晓莉,罗娅,等.基于主成分分析的海藻肥对枇杷果实品质影响的综合评价[J].四川农业大学学报,2024,42(06):1212-1219.
- [42] 马松峰.叶面喷施茉莉酸甲酯对枇杷果实品质的影响[D].福州:福建农林大学,2023.
- [43] 赵宇卓,吴碧波,余朝旭,等.白枇杷微生物组及其与果实品质的关系[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2024,50(06):907-919.
- [44] 李伟静,师冬梅,曹永强.单果质量在现代果业中的重要性及其提高技术措施[J].果树资源学报,2023,4(02):85-88.
- [45] 彭珏,赵婷婷,陈美艳,等.红肉猕猴桃‘东红’平均单果质量与果实品质相关性研究[J].湖北农业科学,2022,61(24):117-122+131.
- [46] 陈秀萍,蒋际谋,邓朝军,等.106份白肉枇杷种质资源果实性状分析与评价[J].果树学报,2025,42(01):82-93.
- [47] 吴习宇,曾凯芳,郭启高,等.基于高光谱成像的枇杷果实品质检测[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(09):52-60.
- [48] 杨琴,付燕,邓洁,等.13份枇杷小种子优良单株的果实营养品质评价[J].中国南方果树,2026,55(01):95-101.