

## 鲜食橄榄品质综合评价模型的建立与验证

池毓斌<sup>1</sup>,朱丽娟<sup>2</sup>,黄敏杰<sup>1</sup>,彭真汾<sup>1</sup>,叶清华<sup>1</sup>,张静芳<sup>1</sup>,陈清西<sup>1\*</sup>,许长同<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>福建农林大学园艺学院,福州 350002;<sup>2</sup>福建农林大学植物保护学院,福州 350002;<sup>3</sup>福州市经济作物站,福州 350003)

**摘要:**【目的】建立鲜食橄榄品质的评价模型,为今后鲜食橄榄的种质资源研究、品种改良和优质栽培提供依据。【方法】以12个橄榄品种(系)为材料,依照箱线图法剔除异常数据后,利用相关性分析、主成分分析、层次分析等建立鲜食橄榄品质的评价模型,并结合感官审评进行验证分析。【结果】(1)对12个橄榄品种(系)的品质指标进行变异系数、相关性分析、主成分分析,以挑选出4个核心指标:可溶性总糖、总多酚、可滴定酸、总游离氨基酸含量,再用层次分析法构建了鲜食橄榄品质评价综合模型:  $Y(\text{综合值}) = 0.417 \times \text{总多酚含量} + 0.417 \times \text{可溶性总糖含量} + 0.109 \times \text{可滴定酸含量} + 0.056 \times \text{总游离氨基酸含量}$ 。(2)综合评价模型对8个样品的果实评分与感官审评得分结果有较高的拟合程度,证明了利用该模型进行鲜食橄榄品质评价的可行性。【结论】建立的鲜食橄榄品质综合模型可作为模糊综合评价用于挖掘橄榄资源,减少人为主观因素的影响,提高对鲜食橄榄品质综合评判的科学性和有效性。

**关键词:** 鲜食橄榄;感官审评;层次分析法;综合评价;分析模型

中图分类号:S667.5

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2017)08-1051-10

## Establishment and verification of a comprehensive evaluation model for quality of fresh Chinese olive

CHI Yubin<sup>1</sup>, ZHU Lijuan<sup>2</sup>, HUANG Minjie<sup>1</sup>, PENG Zhenfen<sup>1</sup>, YE Qinghua<sup>1</sup>, ZHANG Jingfang<sup>1</sup>, CHEN Qingxi<sup>1\*</sup>, XU Changtong<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Fujian University of Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, Fujian, China; <sup>2</sup>College of Plant Protection, Fujian University of Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, Fujian, China; <sup>3</sup>Fuzhou Economic Crop Station, Fuzhou 350003, Fujian, China)

**Abstract:** 【Objective】Chinese olives are one of the local produces in Fujian province. As of 2015, the area of olive cultivation and production of Fujian province accounts for about 60% of all the country, planting area up to 10 070 hectares, with an annual output of up to 88 000 tons, the vast majority of olive varieties because of bitter taste are not suitable for direct eating and can only be used for processing, there's a great shortage of varieties with good quality for fresh eating. It is an important part of breeding and fruit selection to make a reasonable evaluation of fruit quality. How to evaluate the quality of different varieties of fresh Chinese olive is an urgent problem to be solved. Therefore, through the analysis of the quality of fresh Chinese olive, the evaluation model was established to evaluate the quality of fresh Chinese olive. 【Methods】With the 12 Chinese olive varieties as materials: 'Changying' 'Zilaiyuan' 'Deshi' 'Matouzhong' 'Qinglan No.1' 'Meipu No.2' 'Linfengzhong' 'Zhulan' 'Ajiangzhong' 'Gongben' 'Liuzuben' and 'Xiaxiben', based on boxplot method to eliminate the abnormal data, quality indicators of evaluation fresh olives were selected according to the coefficient of variation, correlation analysis, and principal component analysis, and also established fresh olive quality models by using AHP, and combined with sensory evaluation to verify the analysis. 【Results】(1) As for 12 Chinese olive varieties of the 11 quality indicators, the coefficient of variation is greater than 10% of the index of fruit weight, fruit shape index, titrat-

收稿日期: 2017-03-01 接受日期: 2017-04-20

基金项目: 农业科技园区花果良种选育及集约化种植技术研究与示范(2013NZ0002-4)

作者简介: 池毓斌,男,在读硕士研究生,主要从事果树生理生态研究。Tel:15060537559, E-mail:453215007@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0591-83789299, E-mail:cqx0246@163.com

able acid, total soluble sugar, total polyphenols, total flavonoids, total free amino acid. In order to make the analysis of the quality index more reasonable, the box line graph method was used to eliminate all the quality indexes of 'Zilaiyuan' 'Changying' 'Meipu No.2' and 'Zhulan'. (2) From the relevant data analysis, fruit shape indexes and total soluble sugars were negatively correlated ( $r=-0.714$ ), fruit shape indexes and total polyphenols were positively correlated ( $r=0.762$ ), although the coefficient of variation of fruit shape indexes was 11.61%. But the different olive varieties of the fruit indexes evaluation criteria are inconsistent, so fruit shape indexes from this study are not as a fresh olive core indicator. There was a significant positive correlation between edible rate and soluble total sugar ( $r=0.786$ ), significant negative correlation between edible rate and total polyphenol ( $r=-0.714$ ). The edible rates can reflect that whether the fruit of the variety is suitable for processing and has no effect on the olive flavors. The total polyphenols and the soluble total sugar have a very significant negative phase ( $r=-0.976$ ). In summary, total polyphenols and soluble sugars are suitable as a judge of fresh olive varieties indicators. The results of the principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first four main components was 82.303% and the characteristic were more than 1, indicated that the first four principal components could represent the vast majority of original information of the original 11 quality indexes. The first principal components are mainly fruit shape indexes, edible rates, soluble solids, soluble total sugars and total polyphenols information in the fruits, the second is mainly the hue angle, total flavonoids and total free amino acids information, the third is mainly the moisture content information, the fourth is mainly the single fruit weight and the titration acids information. When the coefficient of variation less than 10% is not suitable as the core indexes of the evaluation, the total flavonoids belong to a class of total polyphenols, so we regard the total polyphenols as an evaluation index, single fruit weight has little effect on the quality of fresh olives. In summary, the final selection of four fresh olive evaluation of the core indicators are soluble sugar, total polyphenols, total free amino acids and titratable acids. A comprehensive evaluation model for quality of fresh Chinese olives was established by using AHP. The results were as follows:  $Y=0.417^*$  total polyphenol  $+0.417^*$  soluble total sugar  $+0.109^*$  titratable acid  $+0.056$  total free amino acid. (3) The use of force determines the weight of each factor of fresh Chinese olive method to determine the fruit scar (0.1), fruit uniformity (0.1), fruit shape (0.05), fruit color (0.05), crisp (0.1), sweet after taste (0.15), acerbity (0.15), slag (0.1), delicate (0.1) and aroma (0.1). The above 10 factors were evaluated for fresh Chinese olives. The results showed that the fruit scales of the eight samples had a high degree of fitting with the results of the sensory evaluation, and the feasibility of using the model for the evaluation of fresh olives quality was proved. 【Conclusion】The comprehensive model of the quality of fresh Chinese olives can be used as a fuzzy integrated evaluation for the mining of olive resources, which can also effectively reduce the influence of subjective factors and improve the quality of fresh Chinese olive.

**Key words:** *Canarium album*; Sensory evaluation; Analytic hierarchy process; Comprehensive evaluation; Analysis model

橄榄[*Canarium album* (Lour.) Raeusch.]是一种亚热带常绿果树,主要分布在福建、广东等省。福建省的橄榄种植面积和产量约占全国的60%,主要分布在闽侯、闽清、南安、诏安、福安、永泰和仙游等地。其中,闽侯、闽清是福建省最大的橄榄产区,种植面积约占全省的60%,产量约占70%。截至2015

年,福建省橄榄种植面积达1.07万 $\text{hm}^2$ ,年产量达8.8万t。我国橄榄多以实生苗繁殖,后代变异较大,绝大部分品种因口味苦涩,只能用于加工,缺少品质优良、适宜鲜食的品种<sup>[1]</sup>。橄榄的营养价值高,粗提取物或单体化合物具有抗氧化、抑菌、抗癌、保肝等药理活性<sup>[2]</sup>。许长同等<sup>[3-4]</sup>根据多年的生产实践,结

合橄榄的外观品质和内在质地分析,初步提出鲜食橄榄品质评价指标:内质与外观2部分,内质包括果实肉质粗细、韧脆、回甘和甜香;外观包括果实疤痕、整齐度、形状与大小、色泽;理化指标有可溶性固形物、膳食纤维、单宁、总糖、氨基酸、有机酸、挥发油、可食率等;以上述工作为基础起草了福建省地方标准《橄榄种质资源鉴定技术规章》。吴如健等<sup>[5]</sup>利用主成分分析和聚类分析研究了橄榄资源的16项表型指标。作为育种工作和果品选优的重要环节,评价不同鲜食橄榄品种(系)的优劣是亟待解决的问题。果实品质的评价方法之一是利用可溶性固形物、糖酸比、可滴定酸等理化指标,结合主成分分析法<sup>[6-7]</sup>、层次分析法<sup>[8]</sup>等数理统计,以减少人为主观因素的影响。陈思聪等<sup>[9-10]</sup>用模糊数学方法分析鲜食橄榄的感官指标和基础理化指标。董月菊等<sup>[11]</sup>通过系统聚类分析和主成分分析等方法表明,影响苹果品质的主要有单果质量、果形指数、果肉硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量。

目前,对鲜食橄榄的研究多集中于果实营养成分分析和加工工艺,而在加工过程中往往会添加食品添加剂等,几乎完全改变其鲜食品质的呈现方式,较少利用感官评审和理化指标相结合建立评价模型的研究。笔者利用主成分分析和层次分析法对鲜食橄榄品种(系)进行综合评判,既可为鲜食橄榄品质评价方法的选择提供基础数据,也可为鲜食橄榄育种和生产提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

2016年11月28日采集于福建省福州市闽清县梅城镇城关村久源橄榄合作社(白石山),北纬(N)26°14'43",东经(E)118°51'58",海拔74 m。

采集品种(系):‘长营’‘自来圆’‘德仕’‘码头种’‘清榄1号’‘梅埔2号’‘林峰种’‘竹榄’‘阿姜种’‘公本’‘刘族本’‘霞溪本’,共12个。各橄榄品种(系)随机选取3株,选择东南西北4个方向,挑选若干个大小相近、无病虫害的成熟果实。

### 1.2 方法

1.2.1 鲜食橄榄果实外观品质测定 选取各品种(系)的30个橄榄果实,依次进行外观品质测定。果形指数测定:用游标卡尺分别测量果实纵径和横径,果形指数=果实纵径/横径;单果质量测定:用电子分

析天平测量,并取平均值;果皮色泽测定<sup>[12]</sup>:用AD-Cl-60-C型全自动测色色差计测定每个果实赤道面上相对4个部位的a值和b值,根据公式 $h^{\circ}=180+\arctan(b/a)$ 计算色调角;可食率测定:用电子分析天平分别测定果实和果核质量,可食率/%=(果实质量-果核种)/果实质量×100;含水率测定:将30个去核果肉用冷冻干燥机冻干至恒质量,含水率/%=(冻干前果实质量-冻干后果实质量)/冻干前果实质量×100。

1.2.2 鲜食橄榄果实营养成分指标的测定 可溶性固形物含量测定:选取各品种(系)的30个果实,去核果肉粉碎后将果汁用手持式测糖仪测定,每个处理3次重复。可溶性总糖、可滴定酸、游离总氨基酸含量测定参照王学奎<sup>[13]</sup>《植物生理生化实验原理和技术》并根据实际情况略有改进。总黄酮、总多酚含量测定参照林玉芳<sup>[14]</sup>和谢倩<sup>[15]</sup>的紫外分光光度计法。

1.2.3 鲜食橄榄的感官评审 通过视觉、嗅觉和味觉来评定鲜食橄榄的感官品质。组织28人的评审小组,评审小组由6名多年从事橄榄育种评价研究的专家和橄榄种植专业人员、22名园艺学院果树专业的学生通过相应的培训组成。本试验是根据《橄榄鲜食果品质的感观与理化评价初探》等文献<sup>[3-5,12,16-18]</sup>来筛选鲜食橄榄品质指标,并利用强制法定法确定各感官品质指标的权重,即疤痕(0.1)、整齐度(0.1)、果形(0.05)、果色(0.05)、脆度(0.1)、回甘(0.15)、涩味(0.15)、化渣(0.1)、细嫩(0.1)、香气(0.1)。去除评审小组成员数据中最高分和最低分,所得平均值即为该品种(系)的最终感官评价得分。

1.2.4 鲜食橄榄评价模型的建立 (1)异常数据的剔除。为使品质指标的分析更加合理,需将存在异常值的样品进行剔除后再进行分析。基于超出箱线图边缘线则视为异常值的原理,剔除样本间存在的异常值。

(2)鲜食橄榄核心指标的筛选。首先进行相关性分析,找出各指标之间的相关性,再结合主成分分析进行鲜食橄榄核心指标的筛选。然后通过主成分分析得到特征值和因子载荷矩阵,为更好解释指标与因子之间的关系,将所有提取的主成分因子进行旋转处理,目的在于使一个变量在较少的几个因子上有较高的载荷,其载荷值大小反映了各变量在主成分中的重要程度,载荷绝对值越大其相关程度也



越高。鉴于主成分分析理论遵循特征值大于1和累计方差贡献率超过80%,即说明这几个主成分已提供原始数据足够的信息<sup>[19]</sup>。

(3)层次分析法确定权重系数。评价指标数据标准化处理。各品质指标的特性不同,需根据其特性确定理想值( $X_0$ ),如可溶性总糖含量、总游离氨基酸含量均为正向指标,测定值越大越好;可滴定酸含量为中性指标,取其平均值;总多酚含量为负向指标,测定值越小越好。

品质指标初始化。为了消除不同量纲和数量级对品质评价的影响,对品质指标进行初始化,初始化方法为各品质指标值与理想值间距离的绝对值:

$$X_i' = \left| 1 - \frac{X_i}{X_0} \right| \quad (1)$$

品质指标经过初始化后的规律为:原始指标值越接近理想值,其初始化后值越小,其中 $X_i' \geq 0$ 。

正向化和归一化。经过初始化的各品质指标值范围为 $X_i' \geq 0$ ,原始指标值越接近理想值,其初始化后值越小。为方便综合评价需要对其正向化处理,同时为避免不同数量级对综合评价的影响,需要对其进行归一化。正向化和归一化方法为:

$$X_i = 1 - \frac{X_i'}{X_{i\max}} \quad (2)$$

品质指标正向化和归一化后的规律为:原始指标值从正负2个方向越接近理想值其正向化和归一化后越接近1,其中 $0 \leq X_i \leq 1$ 。

评价指标权重的确定。筛选出的核心品质指标经过归一化后,为了判断不同指标对综合评价的重要性,需要确定各个核心指标的权重系数,通过建立判断矩阵来检验其一致性是否符合要求。根据园艺专家对影响鲜食橄榄果实品质各因素之间重要性的定性评价,运用1~9比例标度法建立判断矩阵<sup>[20-21]</sup>,并计算各指标权重 $W_i$ 。

① 计算判断矩阵每一行元素的乘积 $M_i$

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i=1, 2, 3, 4, 5 \quad (3)$$

② 计算 $M_i$ 的 $n$ 次方根 $\bar{W}_i$

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (4)$$

③ 对向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1 \bar{W}_2 \dots \bar{W}_n]^T$ 正规化

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (5)$$

则 $\bar{W} = [\bar{W}_1 \bar{W}_2 \dots \bar{W}_n]^T$ 即为所求的特征向量。

④ 计算判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (6)$$

其中 $(AW)_i$ 为 $AW$ 的第 $i$ 元素。

检验判断矩阵一致性, $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ ,  $CR = CI/RI$ ,当 $CR < 0.1$ ,说明判断矩阵具有满意的一致性,并得出各品质指标的权重。

(4)鲜食橄榄综合评价。对筛选出的核心指标利用公式建立判断矩阵,得到鲜食橄榄综合值评分模型。

$$Y = \sum_{i=1}^n X_i \cdot W_i \quad (7)$$

(5)统计分析。采用SPSS17.0软件对测定的各指标数据进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜食橄榄品质指标的变异系数

鲜食橄榄的品质指标在各品种(系)间差异性可通过变异系数体现,当变异系数大于10%时,说明该品质指标存在显著性差异<sup>[22]</sup>。果实外观和内在品质决定了其经济价值,不同品种(系)的橄榄在各个基础理化指标上存在差异。果实果皮颜色是评价外观品质上重要指标之一<sup>[23]</sup>,橄榄果实果皮颜色较统一,多呈青绿色、黄绿色,不同品种(系)的橄榄果皮呈不同程度的青绿色,其中‘竹榄’呈青绿色的程度较深。‘自来圆’的果实较大,单果质量为14.69~19.38 g,属大果型橄榄品种;‘林峰种’‘码头种’单果质量为9.65~12.23 g,属中果型橄榄品种;较小果型的橄榄有‘清榄1号’‘竹榄’‘刘族本’,单果质量为4.98~7.66 g。果形也是果实外观品质的重要指标,橄榄果实的果形通常呈梭形或椭圆形,果形指数在1.52~2.25(表1)。

果实内在品质主要通过一些基础的理化指标体现,如可溶性固形物、总糖、总多酚、可滴定酸含量等,各品种(系)的橄榄理化指标也存在差异,各橄榄品种(系)的含水率和可溶性固形物含量没有明显差异,其变异系数分别为1.79%、9.87%均小于10%;而可滴定酸、总糖、总多酚、总黄酮、总氨基酸含量存在明显差异,变异系数分别为13.73%、39.22%、17.14%、22.44%、22.36%,不同橄榄品种(系)之间除与基因型有关,还与温度、光照时数和栽培管理技术不同而表现出较大差异,其中‘林峰种’的总糖质量分数达228.33  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,而‘长营’的总糖质量分数为70.07  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;‘刘族本’‘霞溪’的总多酚质量分数达152.73、151.48  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,‘梅埔2号’的总多酚质量分

表1 12个橄榄样品的品质分析

Table 1 The analysis of quality values in 12 Chinese olives

指标 Index	变化范围 Variation range	平均值 Average	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV/%
单果质量 Single fruit mass/g	5.61~16.50	8.78	10.89	2.91	33.17
果形指数 FSI	1.52~2.25	1.78	0.73	0.21	11.61
可食率 Edible rate/%	71.21~82.54	79.44	11.30	0.03	4.12
含水率 Moisture content/%	80.80~85.80	82.97	5.00	0.01	1.79
色调角 Hue angle/ $^{\circ}$	120.33~151.49	132.78	31.16	8.24	6.21
$\omega$ (可溶性固形物) Soluble solid content/%	8.13~11.97	10.95	3.84	1.08	9.87
$\omega$ (可滴定酸) Titratable acid content/%	1.02~1.57	1.31	0.55	0.18	13.73
$\omega$ (总糖) Total sugar content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	70.07~228.33	127.28	158.26	49.92	39.22
$\omega$ (总多酚) Total phenolic content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	87.09~152.73	122.10	65.64	20.93	17.14
$\omega$ (总黄酮) General flavone content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	23.76~48.44	34.42	24.68	7.73	22.44
$\omega$ (总氨基酸) Total amino acid content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	45.30~85.53	58.11	40.23	13.00	22.36

数较低,为  $87.09 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (表1)。

## 2.2 鲜食橄榄品质指标的相关性分析

### 2.2.1 异常样品数据剔除 利用箱线图方法分析

11项指标数据,如图1所示单果质量、可食率、色调角、可溶性固形物含量等指标中存在异常值,因此将存在异常值样品‘自来圆’‘长营’‘竹榄’‘梅埔2号’

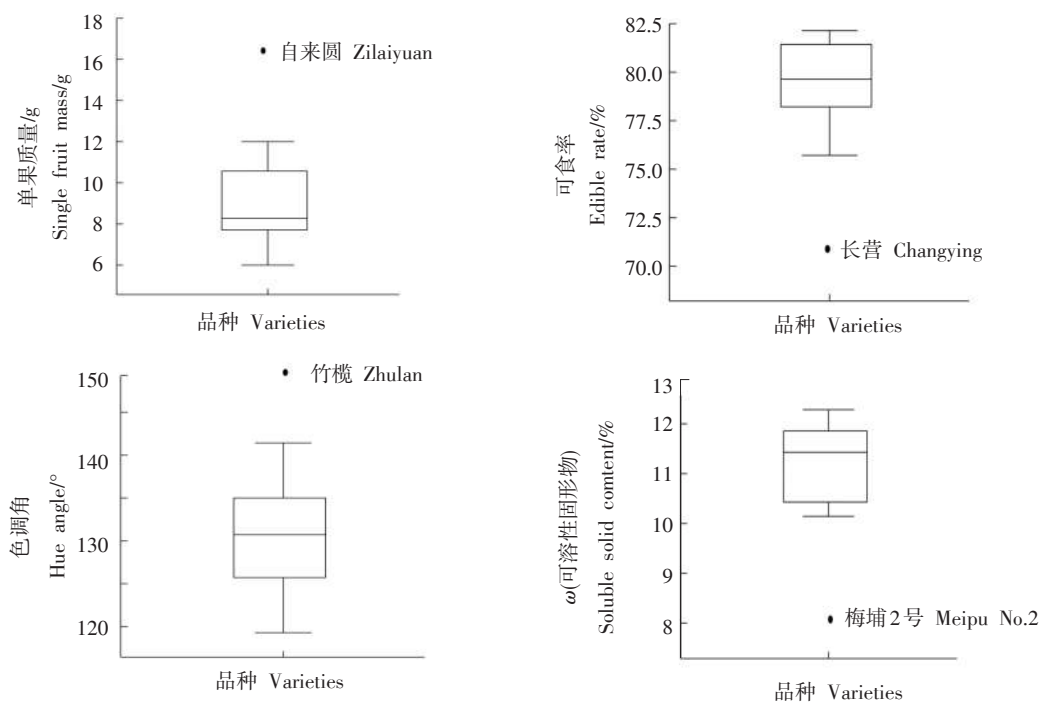


图1 异常指标数据分析

Fig. 1 The analysis of abnormal data

的全部指标数据从整体数据中剔除。

2.2.2 感官品质的相关性分析 对剔除后的品质指标进行相关性分析,如表2所示,果形指数和可溶性总糖含量呈显著负相关( $r=-0.714$ ),果形指数和总多酚含量呈显著正相关( $r=0.762$ ),虽然果形指数的变异系数为11.61%,但果形指数对橄榄鲜食品质影响较小;可食率和可溶性总糖含量呈显著正相关( $r=0.786$ ),可食率和总多酚含量呈显著负相关( $r=-0.714$ ),而可食率的变异系数4.12%;总多酚含量和

可溶性总糖含量呈极显著负相关( $r=-0.976$ );故初步认为总多酚、可溶性总糖含量适合作为评判鲜食橄榄品质的指标。

### 2.3 鲜食橄榄品质的主成分分析

品质指标的主成分分析结果(表3)显示,前4个主成分累积贡献率为82.303%,且特征根都大于1,表明前4个主成分能够表示原来11个品质指标的绝大部分原始信息。将所提取的主成分因子进行旋转处理,由各品质指标在4个主成分中的载荷值(表4)

表 2 品质的相关性分析  
Table 2 The correlation of quality characteristics

单果质量 Single fruit mass	果形指数 FSI	可食率 Edible rate	含水率 Moisture content	色调角 Hue angle	可溶性固形物含量 Soluble solid content	可滴定酸含量 Titratable acid	总糖含量 Total sugar	总多酚含量 Total phenolic	总黄酮含量 General flavone	总氨基酸含量 Total amino acid
1	-0.262	0.429	0.429	0.667	-0.156	0.190	0.571	-0.524	-0.048	-0.143
果形指数 FSI	1	-0.571	-0.214	-0.048	0.515	-0.333	-0.714*	0.762*	0.000	-0.095
可食率 Edible rate		1	-0.190	0.000	-0.096	0.357	0.786*	-0.714*	-0.143	-0.167
含水率 Moisture content			1	0.333	-0.707	0.000	0.286	-0.381	-0.333	-0.381
色调角 Hue angle				1	-0.335	-0.405	0.190	-0.071	0.524	-0.381
可溶性固形物含量 Soluble solid content					1	0.168	-0.407	0.431	-0.024	0.623
可滴定酸含量 Titratable acid						1	0.333	-0.357	-0.286	0.071
总糖含量 Total sugar							1	-0.976**	-0.071	-0.190
总多酚含量 Total phenolic								1	0.214	0.095
总黄酮含量 General flavone									1	-0.024
总氨基酸含量 Total amino acid										1

注：\*和\*\*分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。  
Note: \* and \*\* indicate significance at 0.05 and 0.01 respectively.

表 3 特征值和方差贡献率

Table 3 Eigenvalue and variance contribution rate

因子 Factor	初始特征值 Initial eigenvalue		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
1	4.169	37.903	37.903
2	2.275	20.680	58.584
3	1.608	14.614	73.197
4	1.002	9.106	82.303
5	0.959	8.719	91.022
6	0.738	6.711	97.734
7	0.249	2.266	100.000

表 4 主成分旋转成分矩阵

Table 4 Rotated component matrix of principle components

变量 Variable	因子 Factor			
	1	2	3	4
单果质量 Single fruit mass	-0.569	0.274	0.390	0.583
果形指数 FSI	0.825	0.136	0.054	-0.049
可食率 Edible rate	-0.731	0.018	-0.550	0.230
含水率 Moisture content	-0.068	0.030	0.979	-0.081
色调角 Hue angle	-0.149	0.883	0.312	0.045
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.714	-0.223	-0.397	0.386
可滴定酸含量 Titratable acid	-0.067	-0.187	-0.164	0.733
总糖含量 Total sugar	-0.923	0.102	0.009	0.070
总多酚含量 Total phenolic	0.933	0.002	-0.201	-0.134
总黄酮含量 General flavone	0.401	0.652	-0.321	0.041
总氨基酸含量 Total amino acid	0.109	-0.786	0.033	0.328

可知：第一主成分代表果实的果形指数、可食率、可溶性固形物、总糖、总多酚信息；第二主成分代表果实中的色调角、总黄酮、总氨基酸信息；第三主成分代表果实中的含水率信息；第四主成分代表果实中的单果质量、可滴定酸信息。

变异系数小于 10% 的指标不适宜作为评价的核心指标，总黄酮属于总酚中的一类，所以以总多酚为代表指标作为评价指标，果实的单果质量对鲜食橄榄品质影响甚微。综上所述，最终本试验选择 4 项鲜食橄榄评价核心指标，即总糖、总多酚、总氨基酸、可滴定酸含量。

## 2.4 鲜食橄榄的层次分析

2.4.1 评价指标数据标准化处理 确定各品质指标的理想值  $X_0$ ，如表 5 所示。

2.4.2 各品种(系)核心指标归一化处理 根据公式(1)(2)对 8 个橄榄品种的 4 个核心品质指标数据进行归一化处理，如表 6 所示。

表5 核心指标的理想值

Table 5 Ideal value of core index

项目 Item	$\omega$ (可滴定酸) Titratable acid content/%	$\omega$ (总糖) Total sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	$\omega$ (总多酚) Total phenolic content/(mg·g <sup>-1</sup> )	$\omega$ (总氨基酸) Total amino acid content/(mg·g <sup>-1</sup> )
X <sub>0</sub>	1.30	228.33	100.77	77.14

表6 橄榄指标数据标准化结果

Table 6 Result of data standardization of Chinese olive

品种 Variety	可滴定酸含量 Titratable acid	总糖含量 Total sugar	总多酚含量 Total phenolic	总氨基酸含量 Total amino acid
林峰种 Linfenzhong	0.04	1.00	1.00	0.00
德仕 Deshi	0.53	0.31	0.41	0.08
刘族本 Liuzuben	0.00	0.00	0.01	0.09
霞溪 Xiayi	0.24	0.12	0.03	0.10
码头种 Matouzhong	0.33	0.48	0.82	0.31
清榄1号 Qinglan No.1	0.93	0.81	0.88	0.48
阿姜种 Ajiangzhong	0.77	0.35	0.67	0.66
公本 Gongben	0.18	0.01	0.19	1.00

2.4.3 评价指标权重的确定 根据园艺专家对影响橄榄果实品质各因素之间重要性的定性评价,运用1~9比例标度法建立判断矩阵(表7),根据判断矩阵计算各指标权重W<sub>i</sub>。

表7 判断矩阵

Table 7 Judgement matrix

核心指标 Core index	总多酚含量 Total phenolic	总糖含量 Total sugar	可滴定酸含量 Titratable acid	总氨基酸含量 Total amino acid
总多酚含量 Total phenolic	1	1	3	4
总糖含量 Total sugar	1	1	3	4
可滴定酸含量 Titratable acid	1/3	1/3	1	2
总氨基酸含量 Total amino acid	1/4	1/4	1/2	1

检验判断矩阵一致性,根据公式(3)(4)(5)(6)对以上矩阵进行计算,得到CI=( $\lambda_{max}$ -4)/(4-1)=0.076,查询随机一致性标准值n=4时,RI=0.9,CR=CI/RI=0.084,CR<0.1,说明判断矩阵具有满意的一致性。得出各品质指标的权重,如表8所示。

表8 核心品质指标的权重

Table 8 Weight of core quality index

核心指标 Core index	总多酚含量 Total phenolic	总糖含量 Total sugar	可滴定酸含量 Titratable acid	总氨基酸含量 Total amino acid
W <sub>i</sub>	0.417	0.417	0.109	0.056

### 2.5 鲜食橄榄模型综合评价得分

鲜食橄榄品质根据公式(7)计算模型综合得分,该模型综合鲜食橄榄4个核心指标的全部信息,即:

$$Y(\text{综合值})=0.417 \times \text{总酚} + 0.417 \times \text{总糖} + 0.109 \times \text{可滴定酸} + 0.056 \times \text{总氨基酸}$$

得到橄榄品种(系)的综合得分见表9。

表9 橄榄各品种(系)综合得分

Table 9 Composite score of the Chinese olive

品种 Variety	综合得分 Composite scores	排名 Ranking
林峰种 Linfenzhong	0.838 6	1
清榄1号 Qinglan No.1	0.836 7	2
码头种 Matouzhong	0.593 5	3
阿姜种 Ajiangzhong	0.542 8	4
德仕 Deshi	0.365 1	5
公本 Gongben	0.161 3	6
霞溪 Xiayi	0.095 7	7
刘族本 Liuzuben	0.008 7	8

### 2.6 鲜食橄榄感官评价得分

鲜食橄榄感官审评结果如表10所示。

### 2.7 鲜食橄榄综合评价指标模型的验证

为了验证层次分析法得出的鲜食橄榄综合评价

表10 8个橄榄品种(系)感官评价分析

Table 10 Sensory evaluation score of 8 Chinese Olives

品种 Variety	疤痕 Fruit scar	果形 Fruit shape	整齐 Fruit uniformity	果色 Fruit color	脆度 Crisp	回甘 Sweet after taste	涩味 Acerbity	化渣 Slag	细嫩 Delicate	香甜 Aroma	感官评分 Sensory evaluation
林峰种 Linfenzhong	87.00	88.5	87.67	87.83	88.50	90.67	90.83	89.67	90.50	86.67	89.08
清榄1号 Qinglan No.1	88.33	90.83	84.83	88.00	89.17	90.33	90.17	85.17	85.50	88.83	88.50
码头种 Matouzhong	87.67	89.17	90.33	88.17	84.67	83.00	85.33	81.17	83.17	82.83	85.04
阿姜种 Ajiangzhong	88.67	90.33	88.33	85.00	84.17	84.33	82.67	81.83	84.67	84.17	85.15
德仕 Deshi	87.17	86.67	84.00	87.17	85.00	85.50	86.00	85.66	85.50	82.83	85.57
公本 Gongben	73.33	84.17	84.67	81.83	74.17	76.17	74.83	72.17	72.50	72.17	75.83
霞溪 Xiayi	83.33	87.5	87.17	85.33	77.67	77.17	76.33	77.17	79.33	76.33	79.78
刘族本 Liuzuben	79.33	84.50	84.17	81.17	76.33	76.83	75.50	74.33	75.00	75.67	77.63



模型的准确性,通过感官评价对鲜食橄榄进行感官评价分析,利用感官得分与模型得分对比达到验证模型准确性的目的。将感官评价结果与层次分析法模型计算结果应用回归分析进行拟合,坐标轴  $x$  表示感官评价结果,  $y$  轴表示模型评价结果,得到2者的线性关系:  $y=0.0603x-4.5932$ ,  $R^2=0.8499$ (图2)。结果显示,感官得分结果与模型评分结果有较高的相关系数,即较高的拟合程度,表明了利用总多酚、可溶性总糖、可滴定酸、总游离氨基酸绘制的数学模型适用于鲜食橄榄的品质评价。

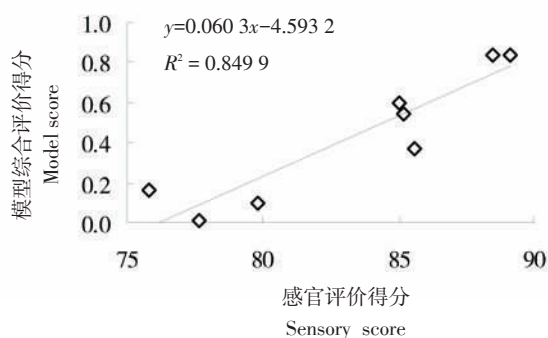


图2 鲜食橄榄感官得分与模型得分验证

Fig. 2 Fitness test for Chinese olive of sensory and model

### 3 讨 论

建立鲜食橄榄数学模型的综合评价,核心指标筛选、数学方法的处理和核心指标权重系数的确定是建立评价数学模型的关键<sup>[24]</sup>,本试验从指标之间的变异系数分析、相关性分析和主成分分析3个方面考察指标间的相关关系,从而筛选出代表鲜食橄榄的4个核心指标:总多酚、可溶性总糖、可滴定酸、总游离氨基酸含量,并利用模糊数学层次分析法对核心指标权重系数进行确定。糖类、多酚类物质含量和种类直接影响着果实理化性质和感官品质<sup>[25]</sup>,总多酚、可溶性总糖含量是影响橄榄鲜食品质的主要因素,这与林玉芳<sup>[14]</sup>利用聚类分析得出的结果一致。可滴定酸、总游离氨基酸含量也是影响果实鲜食品质的重要指标,游离态的有机酸组分的种类、含量与糖类物质一起影响果实的风味品质,通常有机酸是在果实生长的早期形成的,如杏<sup>[26]</sup>、欧李<sup>[27]</sup>等果实在成熟过程中逐步减少;氨基酸含量也是果实品质重要评价指标,对果实风味形成有较大的影响<sup>[28]</sup>,但橄榄研究多集中于化学成分分析<sup>[18,29-30]</sup>,其鲜食风

味研究基础较薄弱。

数理统计方法越来越多地应用在果实品质评价方面,利用客观的数学原理结合测定理化指标对果实进行评价,可以减少人为主观因素,使评价更接近客观真实值。本试验综合主成分分析和层次分析等数理统计方法建立鲜食橄榄评价模型,优于只使用单一的数理统计方法对果实品质的研究,如利用主成分分析法分析猕猴桃<sup>[31-32]</sup>、李<sup>[19,33]</sup>、杨梅<sup>[34]</sup>、桃<sup>[35]</sup>等果实品质并未对其品质指标进行简化,本试验建立的鲜食橄榄评价模型简化了橄榄果实品质指标,且结合感官审评进行验证,结果表明感官得分结果与模型评分结果有较高的相关系数,即较高的拟合程度,表明了利用该数学模型进行鲜食橄榄的品质评价是合理可行的,其大大简化了鲜食橄榄品质分析中需要评价的指标,简化了鲜食橄榄品质的评价工作,对今后鲜食橄榄的研究具有重要指导意义,可为橄榄优质栽培和育种创新提供参考依据。

### 参考文献 References:

- [1] 池毓斌,谢倩,陈清西.几个鲜食橄榄品种(系)及良种繁育方法简介[J].中国南方果树,2016,45(3):154-156.  
CHI Yubin, XIE Qian, CHEN Qingxi. A brief introduction of several fresh Chinese olive varieties and breeding methods[J]. South China Fruits, 2016, 45(3): 154-156.
- [2] 常强,苏明华,陈清西.橄榄化学成分与药理活性研究进展[J].热带作物学报,2013,34(8):1610-1616.  
CHANG Qiang, SU Minghua, CHEN Qingxi. The advance on the research of chemical constituents and pharmacological activities of Chinese olive[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(8): 1610-1616.
- [3] 许长同.橄榄鲜食果品质的感观与理化评价初探[J].福建果树,2009(4):35-37.  
XU Changtong. Preliminary study on the sense and physical and chemical evaluation of fresh fruit quality of Chinese olive[J]. Fujian Fruits, 2009(4): 35-37.
- [4] 许长同,王艳娜,陈思聪.橄榄种质资源鉴定技术规程:DB35/T 1158—2011[S].福州:福建省质量技术监督局,2011.  
XU Changtong, WANG Yanna, CHEN Sicong. Technical specification for identification of olive Germplasm Resources: DB35/T 1158—2011[S]. Fuzhou: Fujian Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2011.
- [5] 吴如健,万继锋,韦晓霞,陈瑾,胡茜青,潘少霖.橄榄种质资源果实表型性状多样性分析及其数量分类研究[J].果树学报,2015,32(5):797-805.  
WU Rujian, WAN Jifeng, WEI Xiaoxia, CHEN Jin, HU Hanqing, PAN Shaolin. Fruit character diversity analysis and numerical



- classification of Chinese olive germplasm resources[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5): 797-805.
- [6] MOLINA D, ALEGRE S, CASERO T, BONANY J, CARBO J, PUY J. Quality indexes for 'Golden Smoothee' apples in relation to consumer evaluation[J]. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 2006, 14(Suppl. 2): 39-51.
- [7] 冯会丽, 吴正保, 史彦江, 张亚鸽, 谢亚丽, 马合木提·阿不来提. 基于因子分析的灰枣优良无性系果实品质评价[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 77-81.
- FENG Huili, WU Zhengbao, SHI Yanjiang, ZHANG Yage, XIE Yali, Mahemuti·ABULAITI. Fruit quality evaluation of superior clones of *Zizyphus jujuba* cv. Huizao based on factor analysis[J]. Food Science, 2016, 37(9): 77-81.
- [8] 刘遵春, 包东娥, 廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(8): 125-128.
- LIU Zunchun, BAO Donge, LIAO Ming'an. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2006, 34(8): 125-128.
- [9] 陈思聪. 鲜食橄榄评选中模糊综合评价法的应用[J]. 中国园艺文摘, 2012, 28(6): 20-21.
- CHEN Sicong. Application of fuzzy comprehensive evaluation in the selection of fresh Chinese olives[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2012, 28(6): 20-21.
- [10] 陈思聪, 陈秀娟. 应用层次分析法对福州部分鲜食橄榄果实性状的分析与评价[J]. 中国园艺文摘, 2016, 32(6): 1-3.
- CHEN Sicong, CHEN Xiujian. Application of analytic hierarchy process in the analysis and evaluation of fruit quality of some fresh Chinese olive in Fuzhou[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2016, 32(6): 1-3.
- [11] 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 Yueju, ZHANG Yugang, LIANG Meixia, DAI Hongyi. Selection of main indexes for evaluating apple fruit quality[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(S1): 74-79.
- [12] 孔祥佳, 林河通, 周鹤, 林艺芬, 陈艺晖, 王慧. 鲜食橄榄果实的适宜采收期及其品质评价参数的研究[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(2): 6-14.
- KONG Xiangjia, LIN Hetong, ZHOU He, LIN Yifen, CHEN Yihui, WANG Hui. Study on the optimum harvesting date of fresh-eating Chinese olive fruit and its quality assessment parameters [J]. Storage and Process, 2016, 16(2): 6-14.
- [13] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- WANG Xuekui. Principles techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. 2nd Edition. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [14] 林玉芳. 福建橄榄 (*Canarium album* (Lour.) Raeusch.) 若干功能成分和品质相关指标的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- LIN Yufang. Studies on some functional components and quality indexes for Chinese olive fruit in Fujian province[D]. Fuzhou: Fujian University of Agriculture and Forestry, 2012.
- [15] 谢倩. 橄榄 (*Canarium album* (Lour.) Raeusch.) 果实发育成熟过程多酚及相关酶活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- XIE Qian. Polyphenol components and related enzyme activities during the Chinese olive fruit development and ripening[D]. Fuzhou: Fujian University of Agriculture and Forestry, 2014.
- [16] 周俊辉, 郑婵叶, 钟国锋, 阮友情, 温华涛. 潮汕地区鲜食橄榄品种果实性状的分析与评价[J]. 中国南方果树, 2009, 38(6): 23-25.
- ZHOU Junhui, ZHENG Chanye, ZHONG Guofeng, RUAN Youqing, WEN Huatao. Analysis and evaluation of fruit characteristics of fresh Chinese olive varieties in Chaoshan area[J]. South China Fruits, 2009, 38(6): 23-25.
- [17] 万继锋, 吴如健, 韦晓霞, 陈瑾, 胡茜青, 潘少霖. 橄榄果实中糖和氨基酸组成与含量分析[J]. 福建农业学报, 2013, 28(5): 472-477.
- WAN Jifeng, WU Rujian, WEI Xiaoxia, CHEN Jin, HU Hanqing, PAN Shaolin. Analysis on compositions and contents of sugars and amino acids in fruits of Chinese olive [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 28(5): 472-477.
- [18] 郑道序, 谢晓娜, 詹潮安, 林文欢, 张福平. 橄榄品种果实营养成分的比较[J]. 湖北农业科学, 2015(16): 3967-3969.
- ZHENG Daoxu, XIE Xiaona, ZHAN Chaoan, LIN Wenhuan, ZHANG Fuping. Comparative study on fruit nutritional quality of *Canarium album* cultivars[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015(16): 3967-3969.
- [19] 李鹏. 李果实物理化学特性及其抗氧化活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- LI Peng. Physicochemical characteristics and antioxidant capacity profile of in 13 Chinese plum (*Prunus salicina* Lindl.) fruits[D]. Fuzhou: Fujian University of Agriculture and Forestry, 2016.
- [20] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(9): 51-60.
- LUO Zhengqing, YANG Shanlin. Comparative study on several scales in AHP[J]. System Engineering Theory and Practice, 2004, 24(9): 51-60.
- [21] 吕跃进, 陈万翠, 钟磊. 层次分析法标度研究的若干问题[J]. 琼州学院学报, 2013, 20(5): 1-6.
- LÜ Yuejin, CHEN Wancui, ZHONG Lei. A survey on the scale of analytic hierarchy process[J]. Journal of Qiongzhou University, 2013, 20(5): 1-6.
- [22] 李冬男. 蓝莓原料品质特性及其指纹图谱研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- LI Dongnan. Study on quality characteristics and fingerprint of blueberry[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.

- [23] ZHOU C H, XU C J, SUN C D. Carotenoids in white- and red-fleshed loquat fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(19): 7822-7830.
- [24] 刘美迎, 李小龙, 梁茁, 张振文. 基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 57-64.  
LIU Meiyong, LI Xiaolong, LIANG Zhuo, ZHANG Zhenwen. Comprehensive quality assessment of table grapes varieties using fuzzy mathematics and cluster analysis[J]. Food Science, 2015, 36(13): 57-64.
- [25] 张上隆, 陈昆松. 果实品质形成与调控的分子生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.  
ZHANG Shanglong, CHEN Kunsong. Molecular physiology of fruit quality development and regulation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [26] BARTOLOZZI F, BERTAZZA G, BASSI D, CRISTOFERI G. Simultaneous determination of soluble sugars and organic acids as their trimethylsilyl derivatives in apricot fruits by gas-liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1997, 758(1): 99-107.
- [27] 王鹏飞, 薛晓芳, 穆晓鹏, 张建成, 曹琴, 杜俊杰. 不同酸度欧李果实有机酸积累特性与相关代谢酶活性分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(19): 4101-4109.  
WANG Pengfei, XUE Xiaofang, MU Xiaopeng, ZHANG Jiancheng, CAO Qin, DU Junjie. Analysis of organic acid accumulation characteristics and organic acid-metabolizing enzyme activities of Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis* Bunge) fruit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(19): 4101-4109.
- [28] KEUTGEN A J, PAWELZIK E. Contribution of amino acids to strawberry fruit quality and their relevance as stress indicators under NaCl salinity[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 642-647.
- [29] 何志勇. 橄榄果肉营养成分的分析[J]. 食品工业科技, 2008(12): 224-226.  
HE Zhiyong. Analysis of nutrient content in the fruit flesh of *Cannarium album*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(12): 224-226.
- [30] 朱慧, 庄东红, 马瑞君, 陈勤, 苏燕翎, 许振松. 粤东 20 个橄榄品种果实营养成分的比较[J]. 中国南方果树, 2009, 38(5): 15-17.  
ZHU Hui, ZHUANG Donghong, MA Ruijun, CHEN Qin, SU Yantian, XU Zhensong. Comparison in fruits of 20 olive varieties of nutrients in the eastern part of Guangdong province.[J]. South China Fruits, 2009, 38(5): 15-17.
- [31] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 陈葵, 严玉平, 辜青青, 徐小彪. ‘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 Kepeng, HUANG Chunhui, LENG Jianhua, CHEN Kui, YAN Yuping, GU Qingqing, XU Xiaobiao. Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of ‘Jinkui’ kiwifruit[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(5): 867-871.
- [32] 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.  
ZHONG Caihong, LI Dawei, HAN Fei, LIU Xiaoli, ZHANG Peng, HUANG Hongwen. 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.
- [33] 郭晓敏, 安琳, 王友升, 李丽萍, 王贵禧, 陈小燕. 不同温度下 1-MCP 与水杨酸处理对‘安哥诺’李果实品质影响的主成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 416-422.  
GUO Xiaomin, AN Lin, WANG Yousheng, LI Liping, WANG Guixi, CHEN Xiaoyan. Principal components analysis of the influence of 1-MCP and salicylic acid treatment on fruit quality of ‘Aangeleno’ plum[J]. Food Science, 2010, 31(18): 416-422.
- [34] 王伟, 吕旭健, 张玉, 王强, 邵歆, 王君虹, 朱作艺, 李雪, 胡桂仙. 基于聚类分析和主成分分析法的杨梅营养品质评价研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 278-280.  
WANG Wei, LÜ Xu Jian, ZHANG Yu, WANG Qiang, SHAO Xin, WANG Junhong, ZHU Zuoyi, LI Xue, HU Guixian. Evaluation of nutritional quality of red bayberry based on cluster analysis and principal component[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(1): 278-280.
- [35] 徐臣善, 高东升. 基于主成分分析的设施桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 84-88.  
XU Chenshan, GAO Dongsheng. Comprehensive evaluation on fruit quality of peach cultivars in greenhouse based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 84-88.