

# 基于主成分分析的不同种鲜食葡萄品质评价

## Quality evaluation of different table grape based on principal component analysis

潘 照<sup>1,2,3</sup> 周文化<sup>1,2,3</sup> 肖玥惠子<sup>1,2,3</sup>

PAN Zhao<sup>1,2,3</sup> ZHOU Wen-hua<sup>1,2,3</sup> XIAO Yue-hui-zi<sup>1,2,3</sup>

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 粮油深加工与品质控制湖南省协同创新中心, 湖南 长沙 410004; 3. 特医食品加工湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. Food Science and Engineering, Central South Forestry University of Science and Technology University, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Grain and Oil Processing and Quality Control of Collaborative Innovation Center in Hunan Province, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Key Laboratory of Processed Food for Special Medical Purpose, Changsha, Hunan 410004, China)

**摘要:**为更加准确地评价鲜食型葡萄的品质,选择了南方种植与售卖的 18 种鲜食葡萄,对其果实的 14 个基本品质指标进行检测,并进行感官评分和相关性分析,采用主成分分析法建立了综合得分数学模型。结果表明,不同品种鲜食葡萄各品质指标间含量差异明显,其中硬度差异最大(变异系数为 51.18%);相关性分析显示各指标间存在独立性和一定程度的相关性;主成分分析提取了 4 个主成分因子,累积贡献率达到了 88.63%;综合得分显示葡萄品质最好的为黑提、阳光玫瑰、魏可、红地球和巨玫瑰,巨峰、红宝石和金手指品质相对较差。

**关键词:**鲜食葡萄;主成分分析;品质评价

**Abstract:** The study was to accurately evaluate the quality of table grape, 18 different varieties of table grapes were selected. 14 basic quality indicators were measured and analyzed by sensory scores and correlation analysis. Principal component analysis was employed to build a composite score mathematical model. The results showed that there was a significant difference in the quality indexes among different grape varieties, among them, hardness difference was largest (coefficient of variation is 51.18%). Correlation analysis showed that there was an independence and a certain degree of correlation between indicators. Principal component analysis was extracted from 4 principal component factors, and cumulative contribution rate

reached 88.63%. The comprehensive score confirmed that the best grape was Black Grape, Shine-Musca, Wink and Jumeigui; The quality of Kyoho Grape, Ruby Seedless and Gold finger were relatively poor.

**Keywords:** table grape; principal component analysis; quality evaluation

葡萄(*Vitis vinifera* L.)属于葡萄科葡萄属藤本植物,其营养丰富,含有多种活性物质<sup>[1]</sup>,因此被世界人民广泛食用并得以大面积种植。目前,中国葡萄主要集中于东北中北部、西北部、黄土高原、环渤海湾、黄河固道、云贵川及南方 7 个葡萄栽培区,其中鲜食型葡萄占栽培面积的 80% 左右,余下的为酿酒型葡萄和干制型葡萄<sup>[2]</sup>。鲜食型葡萄品种众多,不同品种葡萄之间生态适应性的差异导致果实不同的栽培环境下生长的状态不同,外观色泽、风味品种也存在差异,品质良莠不齐。目前,中国对葡萄的品质评价集中于酿酒葡萄<sup>[3]</sup>、野生葡萄<sup>[4]</sup>和单一地区的鲜食型葡萄<sup>[5]</sup>,国外也局限于葡萄汁<sup>[6-7]</sup>及葡萄酒<sup>[8]</sup>,对于南方鲜食型葡萄的品质评价尚不完善,需要建立一个相应的品质评价体系,用以衡量不同品种葡萄的质量。

对鲜食型葡萄品质进行综合评价时,要选取多项品质指标,既要考虑葡萄的外观风味,主要是感官评价;还要考虑到营养价值,如酸含量、可溶性固形物含量等,以保证评价信息的全面性<sup>[9]</sup>。考虑到评价指标的整体性,传统的方差分析法具有很大的局限性,因此现研究者多采取主成分分析法(PCA),该方法旨在将原来的指标重新组合成几组新的综合指标,用较少的指标来反映原有的数值<sup>[10]</sup>。并且该统计学方法已广泛应用于蓝莓<sup>[11]</sup>、草莓<sup>[12]</sup>、土豆<sup>[13]</sup>等果蔬的质量评价。

**基金项目:**国家林业局 948 项目(编号:2015-4-26);特医食品加工湖南省重点实验室建设项目(编号:2017TP1021);长沙市科技计划项目(编号:kc1704007)

**作者简介:**潘照,女,中南林业科技大学在读硕士研究生。

**通信作者:**周文化(1969—),男,中南林业科技大学教授,博士。

E-mail: 1479674265@qq.com

**收稿日期:**2018-04-06

本试验拟选取 18 个南方鲜食型葡萄品种,对其感官品质、营养成分等基本理化指标进行分析比较,并通过主成分分析法挑选具有代表性的成分因子,对鲜食型葡萄品质的差异性进行合理评价,以筛选出品质最优的鲜食葡萄品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 试验材料

鲜食葡萄:湖南省长沙市主栽和售卖的,具体见表 1。果实于相应的成熟季节进行采集,挑取无腐烂、无病害、外观大小均匀一致的果实进行试验。将果实在采摘当日运回中南林业科技大学食品学院 A406 实验室,预冷 24 h 散去田间

热,供试验用。

#### 1.1.2 仪器与设备

手持式折光仪:011 型,济南科翔实验仪器有限公司;  
电子天平:JY2002 型,上海浦春计量仪器有限公司;  
色差仪:UltraScan Pro 型,美国 Hunter Lab 公司;  
紫外可见分光光度计:BlueStar 型,北京 LabTech 公司;  
高速冷冻离心机:Sorvall LYNX 6000 型,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;  
水分快速测定仪:JH-H 系列型,泰州市宜信得仪器仪表有限公司;  
质构仪:TA-XTPlus 型,英国 Stable Micro System 公司。

表 1 供试品种介绍

Table 1 Introduction of tested varieties

编号	葡萄品种	外文名称	产地	采样时间
1	红地球	Red Globe	湖南常德	2017 年 7 月 28 日
2	无核白鸡心	Centennial Seedless	湖南常德	2017 年 7 月 28 日
3	黄香蜜	Huangxiangmi Grape	湖南常德	2017 年 7 月 28 日
4	夏黑	Summer Black	湖南常德	2017 年 7 月 28 日
5	玫瑰香	MuscatHumburg	湖南常德	2017 年 7 月 28 日
6	珍珠提	Pearl Grape	湖南长沙	2017 年 8 月 16 日
7	户太 8 号	Hutai 8 hao	陕西西安	2017 年 8 月 16 日
8	阳光玫瑰	Shine-Muscat	湖南长沙	2017 年 8 月 27 日
9	金手指	Gold Finger	湖南长沙	2017 年 8 月 27 日
10	无籽红提	Seedless Grape	湖南长沙	2017 年 8 月 27 日
11	巨峰	Kyoho Grape	湖南长沙	2017 年 8 月 27 日
12	巨玫瑰	Jumeigui	湖南长沙	2017 年 9 月 17 日
13	红宝石	Ruby Seedless	湖南长沙	2017 年 9 月 17 日
14	金田玫瑰	Golden Rose	湖南长沙	2017 年 9 月 17 日
15	黑提	Black Grape	湖南长沙	2017 年 9 月 17 日
16	醉金香	Zuijinxiang	湖南长沙	2017 年 9 月 17 日
17	魏可	Wink	湖南长沙	2017 年 10 月 15 日
18	马奶葡萄	Milk Grape	新疆石河子	2017 年 10 月 15 日

### 1.2 试验指标与方法

1.2.1 单果重测定 各品种葡萄随机挑选 20 个样本,用电子天平对单个果实逐一称重,计算平均值。

1.2.2 果形指数测定 随机选取 10 颗葡萄果实,使用游标卡尺测量其纵径和横径,并计算纵径和横径的比值。

1.2.3 质构测定 采用质构仪测定,测试参数:测前速度 5 mm/s,测试速度 2 mm/s,测后上行速度 2 mm/s,两次压缩停顿时间 5 s,葡萄果肉受压变形度 25%,触发力 5 g<sup>[14]</sup>。

1.2.4 色差测定 选取颜色均匀一致的葡萄,将表皮擦拭干净,使用标准白板对色差仪进行校准,以果皮上下对称的 2 个点为测试点,测定果皮的色泽,记录 L、a、b 值,分别代表色泽的明亮程度、红绿度、黄蓝度,并按式(1)计算饱和度 C。

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

1.2.5 含水量测定 取 3~5 g 葡萄,切成 1 cm 厚的均匀薄

片,放入已预热的快速测定仪中,温度为 105 ℃,待葡萄中水分被完全蒸干后,读取数据。

1.2.6 可溶性固形物含量测定 准确称取 5 g 样品,在研钵中磨成匀浆后,于 4 000 r/min 离心 15 min,取上层果汁清液,用手持式折光仪测定。

1.2.7 可滴定酸含量测定 采用酸碱滴定法<sup>[15]</sup>。

1.2.8 感官评价 参照 NY/T 1986—2011 规定。选取 12 位食品专业人士(男女各半)组成感官评价组,通过观、闻、品尝的方式,对不同品种的葡萄进行评定,并按表 2 的标准进行打分。

### 1.3 分析方法

1.3.1 主成分分析 对不同样品的相关品质性状进行主成分分析,依照因子性状的累计方差贡献率>85%的原则,确定主成分因子个数。

表 2 鲜食型葡萄感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for table grapes

项目(100分)	分级	得分
外观(30分)	果穗松散、落粒,果梗干枯,果形差,果粒萎蔫、流汁、无果粉	1~10
	果穗较紧实,果梗稍有褐变,果形较好,果色暗淡、果粉部分脱落	10~20
	果穗紧密适度、果梗鲜嫩、果形端正,果色均匀、布满果粉	20~30
质地(30分)	果皮粗糙,果肉黏滑,果皮、果肉呈袋状分离	1~10
	果皮韧性大于脆性,果肉变软	10~20
	果皮膨压大,食用时易碎裂,果肉紫厚而不粗,多汁	20~30
风味(40分)	风味不协调,酸度过大,涩味重,有不良气味	1~15
	风味较好,酸甜味较淡,无不良气味	15~30
	风味极佳,糖酸比例协调,具有葡萄特有的芳香	30~40

1.3.2 综合评分 利用 SPSS 软件得到不同样品的主成分分值  $F_i$ ,按式(2)计算综合分值  $F^{[15]}$ 。

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Y_i}{C}, \quad (2)$$

式中:

$F$ ——经主成分分析后各品种葡萄品质的综合分值;

$F_i$ ——第  $i$  个特征值  $>0.9$  的主成分分值;

$Y_i$ ——第  $i$  个主成分的方差贡献率;

$C$ ——测定的样品全部主成分因子的累积方差贡献率。

1.3.3 数据处理 每个指标进行 3 次平行试验,结果取平均值。使用 Microsoft Excel 2016、IBM SPSS Statistics 24.0 软件对数据进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种葡萄的基本品质性状

不同品种葡萄品质性状的测定结果见表 3。不同品种葡萄的果形指数为 0.98~1.67,纵径略大于横径,呈现出圆形、椭圆形或长圆形,其中黑提的纵横比最大,为 1.67,红宝石最小,为 0.98,接近于圆形。葡萄果实的单果重为 5.38~14.43 g,果实重量差距较大(变异系数为 35.38%),平均单果重为 8.02 g。单果重也间接地反映出果实的大小,红地球的果实较大,平均果实重 14.43 g,珍珠提的相对较小,平均果实重 3.76 g。

硬度、弹性和回复性反映了果实的抗压能力及形变恢复能力;黏聚性和内聚力反映出果实对第二次压缩的抵抗能力;硬度、弹性和黏聚性共同构成了果实的咀嚼特性;黏度则反映了果实的黏着作用<sup>[16-17]</sup>。黑提在硬度、弹性、咀嚼性、回复性和黏度等指标中都占据了最大值,分别为 3 956.45,

86.36,1 385.38,30.52,1 906.81 g;无核白鸡心的黏聚性(−0.32 g·s)和内聚力(0.69 g)最大,而硬度、咀嚼性和黏度为最小,为 723.31,341.82,414.02 g。在质构测试的 7 项指标中,各指标变异程度不同,硬度的变异系数达到了 51.18%,差异幅度最大,而弹性表现较一致(变异系数为 3.23%),这与葡萄果实的大小有着一定的关系。

果实的色泽是果品品质和新鲜度的一个重要指标<sup>[18]</sup>,表现为  $L$ 、 $a$  和  $b$  值。根据 Hunter Lab 表色系统<sup>[19]</sup>, $L$  值为亮度,其越大表示果实表面越亮,结果显示马奶的  $L$  值最大,为 61.96,金手指  $L$  值最小,为 24.92,变异系数为 28.29%。 $a$  为红绿值, $b$  为黄蓝值,不同品种葡萄果皮颜色各异,不能仅仅通过外表颜色判断其品质,因此选取饱和度  $C$  作为评价因子。饱和度代表果实的彩度,值越大表明果实的颜色越纯正,不同品种葡萄饱和度差异较大(变异系数为 48.92%),其中,果实亮度最大的马奶葡萄颜色也相对最纯, $C$  值为 24.25。

评价鲜食型葡萄品质最重要的是其本身固有的风味,糖酸含量是影响风味的主要因素。由表 3 可以看出,魏可中可溶性固形物含量达到了 20.91%,比黄香蜜多了 6.19%;可滴定酸含量为 0.49%,比最小值高出 0.21%。对葡萄这种浆果型水果来说,水分的差异并不明显,变异系数仅有 3.91%,魏可水分含量最高为 83.95%,醉金香最低为 73.66%。

感官分析是评价果实新鲜度最直观的方法,通过人体的视觉、触觉和味觉来代替机器的检测,来确定消费者的偏好。从外观、质地和风味三方面进行打分,结果见图 1,三方面得分都有少许差异,综合来看,魏可得分最高,金手指得分最低。

综上所述,不同品种葡萄品质指标间信息错综复杂,均呈现出不同程度的差异,如果只对指标进行单一的比较,很难对果实的品质做出全面客观的评价,因此需要对其品质进一步综合分析。

### 2.2 不同葡萄品种基本品质的相关性分析

研究<sup>[20]</sup>表明,不同品种葡萄的品质性状之间相互影响,存在着密切的关系。对 14 个基本品质指标和感官指标进行 Pearson 相关性分析,结果见表 4。果形指数和单果重分别与硬度、弹性、咀嚼性、黏度呈极显著正相关( $P < 0.01$ );硬度、弹性、咀嚼性和黏度两两之间均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与刘春艳<sup>[21]</sup>对酿酒葡萄的研究结果相一致;黏聚性和内聚力与之呈负相关,相关性不显著( $P > 0.05$ ),表明葡萄的质构特性主要是由硬度、弹性、咀嚼性和黏度来反映。可滴定酸、可溶性固形物、水分及风味评分呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),说明糖酸含量是影响葡萄口感的主要因素。 $L$  值和饱和度反映了果实是否发生褐变,即果实的新鲜程度,与色泽呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与质地、口感等因素的相关性并不显著( $P > 0.05$ )。直接利用这些指标进行果实品质的分析,容易导致信息的重叠,从而使分析结果出现偏差,得不到理想的结果。因此选择主成分分析法对指标继续进行分析处理。

表3 18种鲜食型葡萄的基本品质指标

Table 3 The basic quality indicators of 18 table grape varieties

葡萄品种	果形指数	单果重/g	硬度/g	弹性/g	咀嚼性/g	黏聚性/(g·s)	回复性/g
红地球	1.22±0.19	14.43±0.89	2 636.73±28.71	85.48±2.12	811.75±28.73	-0.62±0.18	22.70±0.75
无核白鸡心	1.13±0.04	5.94±0.23	723.31±12.59	78.52±3.49	341.82±34.99	-0.32±0.25	18.81±1.11
黄香蜜	1.15±0.07	7.82±0.99	1 248.86±41.13	80.58±2.35	702.66±11.96	-0.33±0.08	23.69±1.06
夏黑	1.13±0.06	7.03±0.04	1 634.72±38.38	82.68±0.24	580.24±38.17	-0.41±0.28	24.89±0.55
玫瑰香	1.04±0.04	6.10±0.63	1 359.71±28.97	81.68±1.23	726.80±36.63	-0.56±0.64	23.02±0.37
珍珠提	1.05±0.09	3.76±0.25	1 054.08±23.41	79.89±3.68	431.87±32.29	-0.42±0.45	20.40±0.61
户太8号	1.39±0.10	8.36±0.67	1 984.65±38.42	82.48±0.55	887.87±5.18	-0.45±0.15	25.14±1.30
阳光玫瑰	1.29±0.10	12.44±0.41	2 728.68±39.70	85.17±3.09	1 026.37±10.44	-0.53±0.03	27.08±0.65
金手指	1.50±0.04	6.14±0.13	1 633.20±17.65	82.67±2.76	532.45±40.02	-0.79±0.20	20.40±1.25
无籽红提	1.16±0.06	7.26±0.65	1 171.30±37.32	79.80±1.46	559.11±38.16	-0.40±0.23	20.15±3.15
巨峰	1.14±0.03	5.38±0.11	914.14±50.56	78.08±1.45	389.22±33.65	-0.52±0.22	20.70±0.86
巨玫瑰	1.30±0.05	9.74±0.72	1 579.78±11.30	81.91±2.98	474.85±20.87	-0.74±0.24	24.25±0.29
红宝石	0.98±0.08	6.75±0.45	935.81±31.38	78.80±1.66	440.38±24.83	-0.37±0.09	18.67±0.98
金田玫瑰	1.22±0.06	5.80±0.19	764.77±35.80	77.80±2.82	438.58±34.66	-0.50±0.06	18.70±0.37
黑提	1.67±0.06	12.50±1.23	3 956.45±43.10	86.36±1.19	1 385.38±10.75	-0.48±0.26	30.52±1.92
醉金香	1.54±0.05	10.56±0.23	2 814.39±67.65	82.36±2.67	703.65±42.67	-0.73±0.16	26.32±2.30
魏可	1.44±0.07	7.48±0.41	2 386.35±34.65	84.70±2.39	788.79±50.72	-0.99±0.58	25.02±0.88
马奶	1.26±0.01	6.82±0.23	1 292.97±37.30	79.84±3.93	419.51±37.02	-0.87±0.15	23.54±7.44
平均值	1.26	8.02	1 712.22	81.60	646.74	-0.56	23.00
标准差	0.19	2.84	876.27	2.64	266.32	0.19	3.26
变异系数/%	14.96	35.38	51.18	3.23	41.18	-34.75	14.17
葡萄品种	内聚力/g	黏度/g	可滴定酸/%	水分/%	可溶性固形物/%	L值	饱和度
红地球	0.44±0.00	1 099.27±43.78	0.47±0.01	82.34±1.27	20.85±0.09	28.79±0.37	8.66±0.24
无核白鸡心	0.69±0.02	414.02±82.92	0.44±0.02	79.51±1.36	19.56±0.29	43.21±0.28	16.49±0.35
黄香蜜	0.55±0.04	644.51±55.72	0.33±0.01	77.33±1.64	17.05±0.04	48.10±0.69	18.27±0.21
夏黑	0.52±0.01	743.68±45.30	0.33±0.01	77.01±1.99	17.85±0.12	28.56±0.85	8.29±0.77
玫瑰香	0.50±0.01	867.19±253.17	0.36±0.01	77.15±1.30	16.61±0.06	34.41±0.26	10.35±0.42
珍珠提	0.41±0.02	510.16±15.19	0.39±0.01	77.54±3.55	18.24±0.00	51.90±0.37	21.62±0.85
户太8号	0.51±0.02	987.62±119.11	0.33±0.01	75.61±2.77	15.44±0.12	27.88±0.53	7.27±0.12
阳光玫瑰	0.51±0.02	1 334.02±84.33	0.41±0.01	81.34±0.82	18.77±0.38	48.66±0.99	23.60±0.53
金手指	0.43±0.03	705.01±35.45	0.32±0.01	76.24±0.84	16.45±0.62	24.92±0.72	5.39±0.38
无籽红提	0.55±0.06	605.44±102.71	0.43±0.01	82.96±1.20	19.55±0.10	25.92±0.49	4.68±0.12
巨峰	0.41±0.01	473.33±34.26	0.39±0.02	79.46±0.44	16.02±0.06	27.75±0.59	7.27±0.11
巨玫瑰	0.41±0.01	588.06±84.32	0.47±0.01	82.66±0.87	20.35±0.08	31.02±0.63	9.61±0.05
红宝石	0.54±0.02	501.65±28.46	0.35±0.01	74.23±1.78	14.72±0.06	46.74±0.71	8.98±0.23
金田玫瑰	0.59±0.00	435.28±18.62	0.44±0.01	79.10±0.89	16.85±0.09	47.37±0.39	18.87±0.36
黑提	0.44±0.01	1 906.81±67.52	0.44±0.02	79.37±1.24	19.95±0.05	45.84±0.56	19.59±0.57
醉金香	0.40±0.03	1 035.07±166.90	0.28±0.02	73.66±0.71	15.55±0.05	50.25±0.24	21.73±0.24
魏可	0.41±0.01	1 112.76±124.30	0.49±0.01	83.95±0.54	20.91±0.05	49.49±0.85	22.13±1.54
马奶	0.33±0.08	421.17±122.19	0.34±0.01	75.91±2.53	16.45±0.06	61.96±1.66	24.25±2.18
平均值	0.48	799.17	0.39	78.63	17.84	40.15	14.28
标准差	0.09	392.35	0.06	3.07	1.99	11.36	6.99
变异系数/%	18.05	49.09	15.89	3.91	11.14	28.29	48.92

表 4 18 种鲜食型葡萄基本品质的 Pearson 相关性分析<sup>†</sup>

Table 4 Pearson correlation analysis on the basic quality of 18 table grape varieties

指标	果形指数	单果重	硬度	弹性	咀嚼性	黏聚性	回复性	内聚力	黏度
果形指数	1.000								
单果重	0.504 *	1.000							
硬度	0.774 **	0.822 **	1.000						
弹性	0.630 **	0.774 **	0.910 **	1.000					
咀嚼性	0.613 **	0.725 **	0.895 **	0.841 **	1.000				
黏聚性	-0.515 *	-0.156	-0.309	-0.358	-0.037	1.000			
回复性	0.665 **	0.670 **	0.872 **	0.800 **	0.839 **	-0.262	1.000		
内聚力	-0.396	-0.173	-0.375	-0.340	-0.127	0.725 **	-0.394	1.000	
黏度	0.679 **	0.750 **	0.956 **	0.890 **	0.971 **	-0.147	0.843 **	-0.208	1.000
可滴定酸	0.017	0.246	0.117	0.188	0.122	-0.112	-0.036	0.110	0.170
水分	0.048	0.296	0.153	0.287	0.160	-0.173	0.065	0.042	0.191
可溶性固形物	0.181	0.418	0.352	0.482 *	0.288	-0.159	0.241	0.009	0.350
L 值	0.048	-0.042	0.073	-0.089	0.034	-0.158	0.153	-0.141	0.029
饱和度	0.243	0.110	0.274	0.132	0.214	-0.241	0.355	-0.182	0.229
外观	0.147	0.136	0.183	-0.006	0.091	-0.168	0.221	-0.170	0.109
质地	0.670 **	0.571 *	0.864 **	0.858 **	0.770 **	-0.331	0.848 **	-0.558 *	0.815 **
风味	-0.115	0.230	0.108	0.203	0.195	-0.013	-0.026	0.206	0.215

指标	可滴定酸	水分	可溶性固形物	L 值	饱和度	外观	质地	风味
果形指数								
单果重								
硬度								
弹性								
咀嚼性								
黏聚性								
回复性								
内聚力								
黏度								
可滴定酸	1.000							
水分	0.900 **	1.000						
可溶性固形物	0.836 **	0.871 **	1.000					
L 值	-0.048	-0.217	-0.079	1.000				
饱和度	0.074	-0.022	0.128	0.920 **	1.000			
外观	0.097	-0.009	0.083	0.880 **	0.904 **	1.000		
质地	-0.145	-0.028	0.190	-0.063	0.125	-0.042	1.000	
风味	0.882 **	0.739 **	0.670 **	0.064	0.144	0.180	-0.188	1.000

<sup>†</sup> \* 表示在 0.05 水平上相关性显著, \*\* 表示在 0.01 水平上相关性显著。

### 2.3 不同品种葡萄主成分分析

2.3.1 不同品种葡萄主成分因子的确定 主成分分析通过降维将原有的多重变量转换为能综合体现原有指标但彼此不相关的新指标<sup>[22]</sup>,可以保证在原有信息不缺失的情况下选择尽可能少的新指标。将上述 14 个基本品质指标和 3 个感官评分指标共同进行主成分分析,通过碎石图可以直观地看出各因子的特征值,碎石图中曲线越陡,表示该主成分包含的原始数据信息越多,越平缓则表示包含信息越少<sup>[23]</sup>。由图 2 可以看出,前 4 个主成分特征值较大( $\lambda > 1$ ),曲线陡

峭,从第 5 个主成分开始,碎石图曲线趋于平缓。并且由表 5 可知,共有 4 个  $> 1$  的特征值,提取出 4 个主成分,这 4 个主成分可解释的方差百分比分别为 42.002%, 20.419%, 16.716%, 9.497%, 累积贡献率为 88.634%,即这 4 个主成分已经把不同品种葡萄的基本品种性状指标的绝大部分信息表达出来了,因此选择提取 4 个主成分为宜。

主成分载荷矩阵反映了各个品质性状指标对此主成分负荷的相对大小和作用方向,即该指标对主成分影响的程度,以 0.5 原则为判断依据<sup>[24]</sup>。由表 6 可知,第 1 主成分有

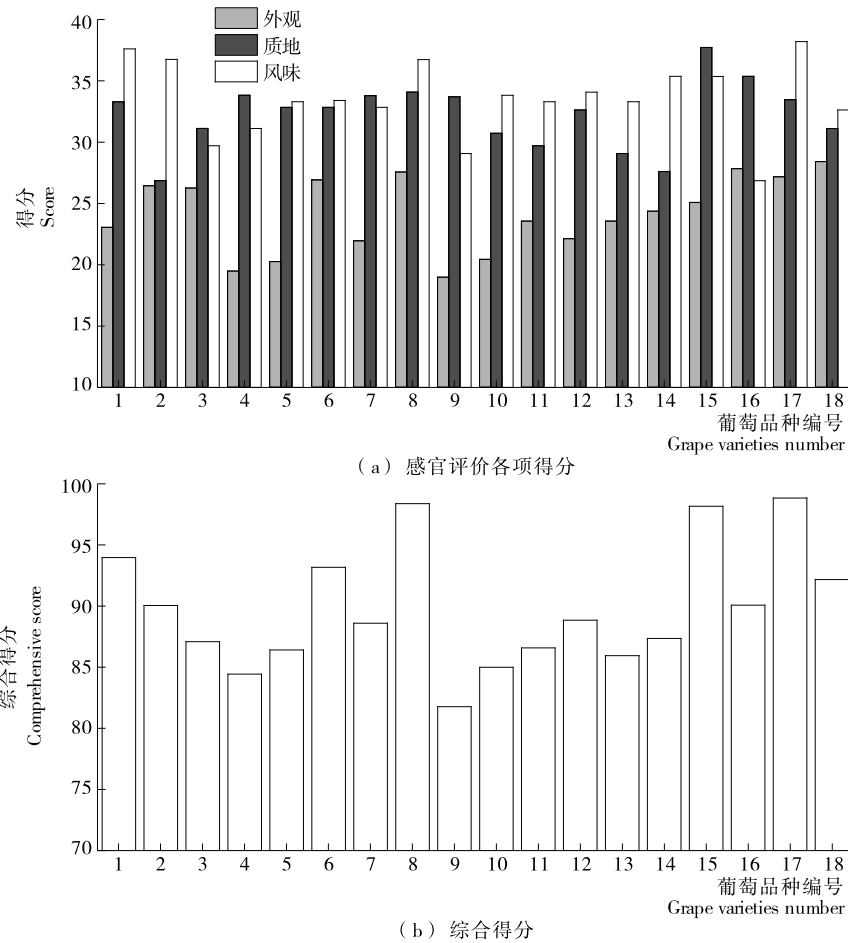


图 1 18 种鲜食型葡萄的感官评价各项得分和综合得分

Figure 1 Sensory evaluation score and comprehensive score of 18 table grape varieties

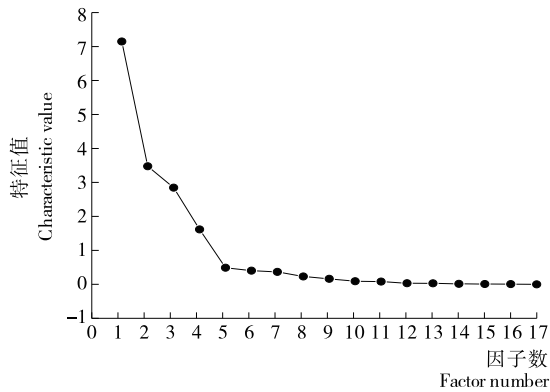


图 2 18 种鲜食型葡萄基本品质指标主成分分析碎石图  
Figure 2 Principal component analysis of 18 kinds of table grape's scree plot

表 5 18 种鲜食型葡萄基本品质因子的特征值和解释变量  
Table 5 Eigenvalue and accumulative contribution rate of evaluating factors of 18 table grape varieties %

主成分	特征值	方差贡献率	累计贡献率
1	7.140	42.002	42.002
2	3.471	20.419	62.421
3	2.842	16.716	79.137
4	1.614	9.497	88.634

表 6 18 种鲜食型葡萄基本品质指标主成分分析载荷矩阵  
Table 6 Loading matrix of principal components analysis of quality indexes of 18 table grape varieties

指标	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
果形指数	0.757	-0.253	-0.029	-0.193
单果重	0.802	0.114	-0.128	0.176
硬度	0.973	-0.121	-0.073	0.091
弹性	0.933	0.026	-0.212	-0.007
咀嚼性	0.885	-0.047	-0.145	0.364
黏聚性	-0.396	0.112	-0.215	0.822
回复性	0.889	-0.251	-0.003	0.118
内聚力	-0.417	0.362	-0.124	0.714
黏度	0.935	-0.031	-0.129	0.257
可滴定酸	0.248	0.925	0.147	-0.124
水分	0.304	0.883	-0.005	-0.214
可溶性固形物	0.482	0.776	0.052	-0.118
L 值	0.107	-0.219	0.935	0.146
饱和度	0.336	-0.128	0.901	0.121
外观	0.223	-0.073	0.924	0.124
质地	0.847	-0.353	-0.247	-0.082
风味	0.222	0.859	0.221	0.079

果形指数、单果重、硬度、弹性、咀嚼性、回复性、黏度、质地,且各指标均有较大的正系数,可定义为质量因子;第 2 主成分为可滴定酸、水分、可溶性固形物、风味,可定义为风味因子;第 3 主成分为  $L$  值、饱和度和外观,定义为色泽因子;第 4 主成分为黏聚性和内聚力,对感官并无太大影响。

2.3.2 不同品种葡萄主成分分析得分及综合评价 表 7 为各指标因子得分系数矩阵,并以特征向量为权重构建 4 个主成分的函数表达式:

$$F_1 = 0.106X_1 + 0.112X_2 + 0.136X_3 + 0.131X_4 + 0.124X_5 - 0.055X_6 + 0.125X_7 - 0.058X_8 + 0.131X_9 + 0.035X_{10} + 0.043X_{11} + 0.067X_{12} + 0.015X_{13} + 0.047X_{14} + 0.031X_{15} + 0.119X_{16} + 0.031X_{17}, \quad (3)$$

$$F_2 = -0.073X_1 + 0.033X_2 - 0.035X_3 + 0.008X_4 - 0.013X_5 + 0.032X_6 - 0.072X_7 + 0.104X_8 - 0.009X_9 + 0.267X_{10} + 0.254X_{11} + 0.224X_{12} - 0.063X_{13} - 0.037X_{14} - 0.021X_{15} - 0.102X_{16} + 0.247X_{17}, \quad (4)$$

$$F_3 = -0.010X_1 - 0.045X_2 - 0.026X_3 - 0.075X_4 - 0.051X_5 - 0.076X_6 - 0.001X_7 - 0.044X_8 - 0.046X_9 + 0.052X_{10} - 0.002X_{11} + 0.018X_{12} + 0.329X_{13} + 0.317X_{14} + 0.325X_{15} - 0.087X_{16} + 0.078X_{17}, \quad (5)$$

$$F_4 = -0.120X_1 + 0.109X_2 + 0.057X_3 - 0.004X_4 + 0.225X_5 + 0.509X_6 + 0.073X_7 + 0.442X_8 + 0.159X_9 - 0.077X_{10} - 0.133X_{11} - 0.073X_{12} + 0.090X_{13} + 0.075X_{14} + 0.077X_{15} - 0.051X_{16} + 0.049X_{17}. \quad (6)$$

以各主成分对应的方差贡献率为权重,从而建立主成分综合得分的数学模型:

$$F = 0.474F_1 + 0.230F_2 + 0.189F_3 + 0.107F_4. \quad (7)$$

表 7 18 种鲜食型葡萄基本品质指标因子得分系数矩阵

Table 7 Factor score coefficient matrix of basic quality index for 18 table grape varieties

指标	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
果形指数( $X_1$ )	0.106	-0.073	-0.010	-0.120
单果重( $X_2$ )	0.112	0.033	-0.045	0.109
硬度( $X_3$ )	0.136	-0.035	-0.026	0.057
弹性( $X_4$ )	0.131	0.008	-0.075	-0.004
咀嚼性( $X_5$ )	0.124	-0.013	-0.051	0.225
黏聚性( $X_6$ )	-0.055	0.032	-0.076	0.509
回复性( $X_7$ )	0.125	-0.072	-0.001	0.073
内聚力( $X_8$ )	-0.058	0.104	-0.044	0.442
黏度( $X_9$ )	0.131	-0.009	-0.046	0.159
可滴定酸( $X_{10}$ )	0.035	0.267	0.052	-0.077
水分( $X_{11}$ )	0.043	0.254	-0.002	-0.133
可溶性固形物( $X_{12}$ )	0.067	0.224	0.018	-0.073
$L$ 值( $X_{13}$ )	0.015	-0.063	0.329	0.090
饱和度( $X_{14}$ )	0.047	-0.037	0.317	0.075
外观( $X_{15}$ )	0.031	-0.021	0.325	0.077
质地( $X_{16}$ )	0.119	-0.102	-0.087	-0.051
风味( $X_{17}$ )	0.031	0.247	0.078	0.049

由综合得分的函数表达式计算出 18 个品种葡萄样品的综合评价得分,得分越高表明该品种样品品质较好,得分越低表明品质相对较差,结果见表 8。综合品质排名前 5 的依次是黑提、阳光玫瑰、魏可、红地球和巨玫瑰,且它们的第 1 主成分因子得分均较高,说明第 1 主成分因子对综合得分影响较大。巨峰、红宝石和金手指综合得分较低,果实品质要低于平均水平。

表 8 18 种鲜食型葡萄品质综合得分及排名

Table 8 Comprehensive quality score and ranking of 18 table grape varieties

葡萄品种	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	综合数值 $F$	排名
红地球	1.01	1.38	-0.79	-0.29	0.62	4
无核白鸡心	-1.16	1.37	0.81	1.23	0.05	6
黄香蜜	-0.41	-0.65	0.46	1.26	-0.12	8
夏黑	-0.23	-0.44	-1.32	0.39	-0.42	15
玫瑰香	-0.33	-0.26	-0.79	0.18	-0.35	14
珍珠提	-0.64	-0.14	1.16	-0.16	-0.13	9
户太 8 号	0.20	-0.84	-1.21	0.73	-0.25	13
阳光玫瑰	1.32	0.42	0.72	1.16	0.98	2
金手指	-0.21	-1.06	-1.48	-1.50	-0.78	18
无籽红提	-0.61	1.19	-1.11	-0.02	-0.22	12
巨峰	-0.98	0.08	-0.39	-0.85	-0.61	16
巨玫瑰	0.23	0.96	-0.47	-1.55	0.08	5
红宝石	-1.28	-0.46	0.04	0.88	-0.61	16
金田玫瑰	-1.05	0.67	0.85	0.36	-0.14	10
黑提	2.43	-0.05	-0.13	1.17	1.24	1
醉金香	0.77	-2.26	0.60	-0.14	-0.06	7
魏可	1.19	1.13	1.18	-1.48	0.89	3
马奶	-0.25	-1.06	1.87	-1.37	-0.16	11

### 3 结论

本试验采集了南方种植和售卖的 18 种鲜食型葡萄进行品质研究,发现不同品种葡萄品质显示出了差异性,为准确地分析各品质的差异性,选择主成分分析法对各指标进行降维,以期对葡萄品质进行全面的分析。其结果表明:

(1) 在 15 个基本品质性状指标中,硬度指标的变异系数最大,为 51.18%,表明不同种葡萄硬度差异较大,而弹性表现较一致(变异系数为 3.23%),与果实的大小和成熟度有着一定的关系。果实的色泽因品种而异,主要有红色系和黄色系,因此饱和度存在较大差异(变异系数为 48.92%)。可滴定酸、水分、可溶性固形物在不同品种间的差异较小(变异系数为 15.89%,3.91%,11.14%)。

(2) 在基本品质性状和感官评价的相关性分析中,外观和  $L$  值、饱和度呈极显著正相关( $P < 0.01$ );质地与果形指数、硬度、弹性、咀嚼性、回复性、黏度呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与单果重、内聚力呈显著相关( $P < 0.05$ );风味与可滴定酸、水分、可溶性固形物呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。

(3) 通过主成分分析法分离出了 4 个主成分因子,第 1

主成分有果形指数、单果重、硬度、弹性、咀嚼性、回复性、黏度、质地,可定义为质量因子;第2主成分的影响因子为可滴定酸、水分、可溶性固形物、风味,可定义为风味因子;第3主成分为L值、饱和度和外观,定义为色泽因子;第4主成分为黏聚性和内聚力。通过各因子得分对不同种葡萄进行综合分析,建立综合得分数学模型。通过计算,葡萄品质最好的为黑提、阳光玫瑰、魏可、红地球和巨玫瑰,巨峰、红宝石和金手指品质相对较差。

可见不同品种的鲜食葡萄品质存在差异,可以通过外在性状和内在品质进行综合评价。本试验建立的主成分分析模型可以有效地评价鲜食葡萄的品质,对鲜食葡萄的研究有一定的理论意义。但本研究所涉及的鲜食葡萄品种及检测指标较少,后续可以增加指标,建立更完善的综合评价体系。

参考文献

[1] 何映波. 水分胁迫对鲜食葡萄生理影响的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 1-2.  
 [2] 刘凤之. 中国葡萄栽培现状与发展趋势[J]. 落叶果树, 2017(1): 1-4.  
 [3] 杨中, 张静, 汤兆星. 新疆酿酒葡萄加工品质评价指标体系的建立[J]. 广东农业科学, 2011, 38(6): 119-123.  
 [4] 江雨. 中国野生葡萄果实品质评价和主要物质组分研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2016: 41-44.  
 [5] 刘美迎, 李小龙, 梁茁, 等. 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.  
 [6] GURAK P D, CABRAL L M C, ROCHALEÃO M H M, et al. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(3): 421-426.  
 [7] SHARMA A K, SOMKUWAR R G, BHANGE M A, et al. Evaluation of grape varieties for juice quality under tropical conditions of pune region[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences India, 2017(12): 1-5.  
 [8] ROLLE L, GIACOSA S, GERBI V, et al. Comparative study of texture properties, color characteristics, and chemical composition of ten white table-grape varieties[J]. American Journal of Enology & Viticulture, 2011, 62(1): 49-56.  
 [9] GRANATO D, SANTOS J S, ESCHER G B, et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 72:

83-90.  
 [10] 苏鹏飞, 杨丽, 张世杰, 等. 基于主成分分析的酿酒葡萄梅鹿辄的最佳采收期[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 274-283.  
 [11] 谢跃杰, 王仲明, 王强, 等. 不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 94-99.  
 [12] 李丽. 速冻草莓品质评价体系的建立研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 22-23.  
 [13] MORENO C. Mulch materials in processing tomato: a multivariate approach[J]. Scientia Agricola, 2013, 70(4): 250-256.  
 [14] 田海龙, 张平, 农绍庄, 等. 基于TPA测试法对1-MCP处理后葡萄果实质构性能的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 104-107.  
 [15] 赵滢, 杨义明, 范书田, 等. 基于主成分分析的山葡萄果实品质评价研究[J]. 吉林农业大学学报, 2014(5): 575-581.  
 [16] 张群, 叶纯, 唐鼎, 等. 预处理方式对提子类葡萄贮藏期间质地的影响[J]. 食品与机械, 2014(3): 132-136.  
 [17] 姜松, 王海鸥. TPA质构分析及测试条件对苹果TPA质构分析的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 68-71.  
 [18] HERNANZ D, ANGELES F Recamales, MELÉNDEZMARTÍNEZ A J, et al. Multivariate statistical analysis of the color-anthocyanin relationships in different soilless-grown strawberry genotypes[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(8): 2 735-2 741.  
 [19] BERARDINI N, KNÖDLER M, SCHIEBERA, et al. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(4): 442-452.  
 [20] 马小河, 赵旗峰, 董志刚, 等. 鲜食葡萄品种资源果实数量性状变异及概率分级[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1 185-1 189.  
 [21] 刘春艳, 谢岳, 李栋梅, 等. 基于主成分分析的酿酒葡萄果实评价[J]. 北方园艺, 2017(11): 13-17.  
 [22] 潘治利, 罗元奇, 艾志录, 等. 不同小麦品种醇溶蛋白的组成与速冻水饺面皮质构特性的关系[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 242-248.  
 [23] FRANCINI A, ROMEO S, CIFELLI M, et al. <sup>1</sup>H NMR and PCA-based analysis revealed variety dependent changes in phenolic contents of apple fruit after drying[J]. Food Chemistry, 2017, 221: 1 206-1 211.  
 [24] GIRSCHIK L, JONES J E, KERSLAKE F L, et al. Apple variety and maturity profiling of base ciders using UV spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2017, 228: 323-329.

(上接第110页)

[6] STOSIC N, SMITH I K, KOVACEVIC A. Screw Compressors: Mathematical Modeling and Performance Calculation [M]. Berlin: Springer, 2005: 32-34.  
 [7] KIM T Y, LEE J Y, KIM Y J. Experimental study on the performance of screw compressor with various shapes of air end[J]. The KSFM Journal of Fluid Machinery, 2013, 16(1): 5-10.  
 [8] 史文延, 余晓明, 李金峰. 双螺杆压缩机转子的有限元模态分析[J]. 压缩机技术, 2012(4): 7-9.

[9] 魏静, 孙旭建, 孙伟, 等. 双螺杆捏合机转子型线设计与数值模拟[J]. 机械工程学报, 2013, 49(3): 63-73.  
 [10] 何雪明, 施国江, 武美萍, 等. 双螺杆压缩机CFD分析新方法的研究与应用[J]. 机械科学与技术, 2018, 37(2): 211-219.  
 [11] 邢子文. 螺杆压缩机: 理论、设计及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 8-26.  
 [12] 张小军, 彭学院, 邢子文. 双螺杆压缩机排气压力脉动理论计算和试验研究[J]. 压缩机技术, 2001(6): 3-6.  
 [13] 吴慧媛, 何雪明, 戴进. 基于CFD的双螺杆压缩机的三维动态仿真分析研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(24): 3 366-3 371.