

基于主成分分析综合评价白糖罂荔枝果实品质

王思威¹,孙海滨^{1*},常 虹¹,钟 声²,赵俊生²,王潇楠¹

(¹广东省农业科学院植物保护研究所·广东省植物保护新技术重点实验室,广州 510640;

²茂名市水果科学研究所,广东茂名 525000)

摘要:【目的】探究广东茂名区域主栽荔枝品种白糖罂的营养成分特征,选择适合白糖罂外观和内质的评价指标,为白糖罂的风味品质评价提供参考。【方法】采用品质指标变异系数分析、相关性分析、主成分分析等方法,对2020—2021年度来自茂名28份白糖罂样品的20项品质性状指标进行综合评价。【结果】白糖罂果实的可溶性固体含量、平均单果质量、可食率、部分可溶性糖含量等6项指标的变异系数较小,为3.74%~10.29%;其余14项指标变异系数较大,为12.81%~81.63%。可滴定酸含量、固酸比、甜度、抗坏血酸、可溶性糖含量等品质指标间存在极显著或显著相关性。滋味物质贡献值结果显示,蔗糖可显著影响茂名白糖罂的甜味,苹果酸和抗坏血酸显著影响其酸味。利用主成分分析得到贡献率较高的4个主成分,累积方差贡献率为85.226%,4个主成分分别反映了果实总糖、酸度、还原糖和果实总有机酸含量因子。利用逐步回归方法,建立了茂名白糖罂荔枝果实品质评价预测模型,包括4个有效指标,其中系数大于1的为苹果酸含量和甜度。【结论】可滴定酸、苹果酸、抗坏血酸含量和甜度等品质指标是评价茂名白糖罂果实品质的重要因子,研究结果可为育种者选择亲本提供参考,也将为深入探究白糖罂果实内营养物质代谢机制等提供科学依据。

关键词:荔枝;白糖罂;果实品质;主成分分析;综合评价

中图分类号:S667.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)04-0610-11

Comprehensive evaluation of fruit quality of Baitangying litchi based on principal component analysis

WANG Siwei¹, SUN Haibin^{1*}, CHANG Hong¹, ZHONG Sheng², ZHAO Junsheng², WANG Xiaonan¹

(¹Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, Guangdong, China; ²Institute of Fruit Science in Maoming, Maomin 525000, Guangdong, China)

Abstract:【Objective】The fruit quality of litchi varies among different production areas. However, few literatures report the comprehensive evaluation of the fruit quality of the same cultivar from different orchards. Understanding the fruit quality traits can provide breeders with valuable information and assessment tools. The composition and content of soluble sugars, organic acids and other quality indexes of Baitangying fruit from 20 different orchards were analyzed from 2020 to 2021. The aim of this study was to explore the comprehensive fruit quality traits and differences of Baitangying litchi in Maoming.【Methods】A total of 28 litchi samples were collected from the demonstration orchards and some large orchards in Maoming, Guangdong. To explore the fruit quality traits, we measured twenty parameters including titratable acid, total soluble solid (TSS), average weight, flesh recovery, fructose, glucose, sucrose, percentage of sucrose against total sugar, percentage of reducing sugar against total sugar, (fruc-

收稿日期:2021-08-06 接受日期:2022-01-05

基金项目:广东省乡村振兴战略专项(403-2018-XMZC-0002-90);广州市科技计划项目(202102080338);广东省重点领域研发科技计划项目(2018B020202011);财政部和农业农村部国家荔枝龙眼产业技术体系项目(CARS-32-15)

作者简介:王思威,女,副研究员,主要从事化合物分析检测研究。Tel:13265386513,E-mail:344073564@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:sunhb@gdppri.cn

tose +glucose)/ sucrose, ratio of fructose to glucose, ratio of TSS to titratable acid, ratio of total sugar to total organic acid, and malic acid, citric acid, ascorbic acid, and total organic acid content. SPSS20.0 statistical software was used for coefficient of variation (*CV*) analysis, correlation analysis, principal component analysis (PCA), stepwise regression analysis, and comprehensive score ranking to analyze and evaluate the litchi fruit quality of different orchards. 【Results】The results showed that the litchi fruit quality traits of different orchards were different, with the *CV* ranging from 3.74% to 81.63%. The *CV* of total soluble solid, average fruit weight, flesh recovery and soluble sugar of the 28 litchi samples were smaller (3.74%-10.29%) than that of the rest fourteen indexes (12.81%-81.63%). Orchard cultivation and management practices, microclimate conditions, and other factors were the main reasons for the differences. The correlation between different indexes was analyzed. Correlation analysis results showed there were extremely significant or significant correlations among titratable acid content, sugar to acid ratio, sweetness, ascorbic acid, and soluble sugar. There were extremely significant or significant correlations between similar indexes (such as sugars, organic acids, etc.). It reflects the consistency of genetic characters of Baitangying litchi in the same region, and also reflects that there are same differences in some of indicators such as fruit appearance due to different cultivation and management techniques. Sucrose significant influenced the sweetness of Baitangying litchi; malic acid significantly influenced the sourness. Climate, geographical conditions, phenology and cultivation management practices of different producing areas affected sugar content, but did not change sugar composition. Twenty litchi characters and nutritional components were analyzed by principal component analysis. Four principal components with characteristic roots greater than 1 were extracted by PCA, and the cumulative contribution rate was 85.226%. The first principal component explained 33.746% of the trait information which had high correlations with total sugar, sweetness, sucrose, TSS, glucose, and fructose. The first principal component was related to the total sugar content of fruit. The second principal component explained 27.996% of the trait information that had high a correlation with titratable acid. The third principal component showed high correlations with the ratio of fructose to total sugar and the ratio of fructose to sucrose, and could explain 15.585% of the trait information. The fourth principal component explained 7.898% of the trait information related to total organic acid. Based on the component scoring coefficient matrix, the score of each sample on the corresponding principal component was obtained. The four principal components reflected total sugar, titratable acid, reducing sugar, and fruit total organic acid factors, respectively. The PCA method avoided subjective influence of artificial evaluation on evaluation of fruit quality. Taking the comprehensive factor score of Baitangying litchi sample obtained by principal component analysis as the dependent variable and the quality indexes involved in the four principal components as the independent variables, stepwise regression analysis was carried out to establish the theoretical prediction model of litchi quality, which was established with four effective indexes sorted as sum of sweetness, malic acid, titratable acid, and ascorbic acid. 【Conclusion】Sweetness, malic acid, titratable acid, and ascorbic acid are important factors to evaluate the fruit quality of Baitangying litchi. The contents of soluble sugar and various organic acids in litchi are an important factor affecting the taste and flavor.

Key words: Litchi; Baitangying; Fruit quality; Principal component analysis; Comprehensive evaluation

中国是世界上荔枝产量最大和栽培面积最广的国家^[1-2],荔枝是著名的岭南佳果,是我国南方的第一大水果^[3],我国荔枝种植主要集中在广东、广西、海南、福建等地。广东荔枝种植历史悠久,荔枝是广东省种植面积最大、品种特色最鲜明、区域优势最明显的水果,种植面积居全国第一。茂名是广东荔枝的第一大产区,目前全市荔枝种植面积超过9.03万hm²。白糖罂,又名中华红,是国家地理标志产品,广东省早熟优质品种,茂名市大面积推广种植的品种之一。《荔枝学》中对白糖罂的描述:果歪心形或短歪心形,果皮鲜红色,皮薄。果肉厚,半透明,肉质爽脆,果汁中等,味甜微香。单果质量17.8~24.2 g。可食率65%~72%,可溶性固形物含量18%~20%,酸含量0.05%^[4]。

目前,对荔枝的品质研究多集中在不同荔枝品种的外观、营养成分等指标的比较方面,但由于荔枝是一种区域性和多样性非常明显的水果,其品质受地理条件、气候、栽培管理措施和物候期等因素影响极大,且不同品种荔枝的品质差异较大,采用统一的衡量方法建立不同品种荔枝的品质评价模型,难度较大。目前有关荔枝鲜果分级标准也是针对不同品种、不同产地荔枝开展,如从化井岗红糯^[5]、增城仙进奉荔枝^[6]分级标准等。开展同一产区同一品种荔枝的果实品质特征研究,可深入系统挖掘该品种的优势组分,为育种工作者选择母本提供数据参考。现有荔枝品质评价方法以方差分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析等为主,主要目的是开展果品品质分级、筛选出适宜鲜食和加工及贮运的荔枝品种。陈杭君等^[7]采用聚类分析等方法对21个荔枝品种的品质进行综合评价,比较了不同品种间的品质差异;温靖等^[8]对17个荔枝品种,利用聚类分析方法对果实的相关指标进行综合评价,筛选出了适合加工果汁的优良品种;曹颖^[9]对60个荔枝品种,采用多种统计分析方法对其品质进行评价和分级;郑锦锦等^[10]对8个不同荔枝品种的营养指标进行了聚类分析,将其分为3类,利用主成分分析将8个品质指标综合为3个主成分。目前暂未见针对同一产区同一荔枝品种进行系统品质分析及综合评价的相关报道。

笔者以广东茂名白糖罂荔枝为研究对象,通过对其外观、理化指标和风味成分指标进行测定与分析比较,结合品质指标变异系数分析、相关性分析、

主成分分析等方法,综合评价茂名白糖罂的品质特征,探索茂名产区不同果园白糖罂的品质指标差异,以期结合田间水肥管理等栽培措施,找到提升荔枝品质的关键技术点,引导安全优质荔枝实现标准化、规模化生产,提升荔枝品牌效应,促进荔枝品质共同提高,进而加快我国荔枝产业高质量发展。

1 材料和方法

1.1 仪器与设备

岛津HPLC 20AD高效液相色谱仪,美国AB-Sciex TripleTOF™ 5600+高分辨质谱仪;Agilent气质联用仪7890A-5975C;岛津LC-20AT高效液相色谱仪,配蒸发光检测器;分光光度计(V-1600PC,上海美谱达仪器有限公司);Milii-Q超纯水机(美国Millipore公司);XW-80A涡旋仪(上海精科有限公司);榨汁机(SH-869E,广州三莱电器有限公司);高速离心机(GTR22-1离心机,北京时代北利离心机有限公司);阿贝折光仪(PAL-福,日本ATAGO)。

1.2 材料与试剂

乙腈(色谱纯,美国Fisher公司);甲酸(色谱纯,美国Fluka公司);95%无水乙醇(国药集团化学试剂有限公司)。

标准物质:纯度均≥95%。

可溶性糖:准确称取适量标准品,用超纯水稀释成100 g·L⁻¹的标准溶液,于4 °C避光保存。

有机酸:准确称取适量标准品,用超纯水稀释成1000 mg·L⁻¹的标准储备液;分别准确吸取1 mL各标准储备液,用含0.1%(v/v)乙腈的水溶液定容至10 mL,配制100 mg·L⁻¹混合标准溶液,于4 °C避光保存。

1.3 取样

分别于2020年5月19日和23日及2021年5月22日赴茂名白糖罂产区采集28份白糖罂样品,所有样品均来自于茂名荔枝示范园和骨干种植户果场,样品采集后当天运回广州实验室,36 h内完成样品测定。

1.4 方法

果质量和可食率采用称重法;可溶性固形物(TSS)测定参照NY/T 2637—2014^[11];可滴定酸含量测定参照GB/T 12456—2008^[12];可溶性糖含量测定参照GB 5009.8—2016^[13];有机酸含量测定按照王思威等^[14]的方法;抗坏血酸测定按照GB 5009.86—

2016^[15]。

1.5 数据分析

1.5.1 数据统计 采用 SPSS 20.0 数据分析软件进行相关性分析、显著性分析、主成分分析、逐步回归分析;采用 Excel 2013 统计软件进行数据统计与整理。

1.5.2 甜度计算 甜度值计算参考文献[16]。

$$\text{甜度值} (\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = \text{果糖含量} \times 1.75 + \text{蔗糖含量} \times 1 + \text{葡萄糖含量} \times 0.75$$

1.5.3 滋味物质分析 浓度阈值比(Dose-over-threshold, DOT)可评价呈味物质对荔枝滋味的影响。计算公式为:

$$DOT = \text{滋味物质真实浓度} / \text{阈值}.$$

2 结果与分析

2.1 茂名白糖罂荔枝果实品质性状变异分析

茂名白糖罂荔枝各品质指标变异系数有较大差异。由表 1 可见,可溶性固形物含量、可食率、果糖

表 1 28 个白糖罂荔枝样品品质指标变异情况

Table 1 Variations of quality indexes in 28 samples of Baitangying litchi in Maoming

品质指标 Quality index	极小值 Minimum value	极大值 Maximum value	均值 Average value	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation/%
可滴定酸 Titratable acid/%	0.07	0.58	0.19	0.16	81.63
可溶性固形物 Total soluble solid/%	14.30	18.20	16.58	1.13	6.82
平均单果质量 Average single fruit weight/g	19.90	33.00	25.21	2.55	10.12
可食率 Edible rate/%	70.20	82.40	76.20	2.85	3.74
果糖 Fructose/(g·L ⁻¹)	22.20	37.70	31.30	4.01	12.81
葡萄糖 Glucose/(g·L ⁻¹)	19.00	35.20	27.50	4.44	16.15
蔗糖 Sucrose/(g·L ⁻¹)	60.70	105.10	86.80	13.30	15.32
总糖 Total sugars/(g·L ⁻¹)	104.10	174.10	145.60	20.30	13.94
果糖和葡萄糖 Sum of fructose and glucose/(g·L ⁻¹)	43.40	72.90	58.80	8.30	14.12
蔗糖/总糖 Ratio of sucrose to total sugars	0.53	0.64	0.60	0.03	5.00
(果糖+葡萄糖)/总糖	0.36	0.47	0.40	0.03	7.50
Ratio of reducing sugar to sum of fructose and glucose					
(果糖+葡萄糖)/蔗糖 Fructose +Glucose/Sucroses	0.55	0.89	0.68	0.07	10.29
果糖/葡萄糖 Ratio of fructose to glucose	1.09	1.40	1.18	0.07	5.93
固酸比 Ratio of TSS to titratable acid	29.49	268.50	126.40	65.40	51.74
糖酸比 Ratio of total sugars to total organic acids	80.50	204.20	139.80	33.30	23.82
苹果酸 Malic acid/(mg·L ⁻¹)	52.20	980.00	381.80	232.80	60.97
柠檬酸 Citric acid/(mg·L ⁻¹)	27.10	164.60	78.50	37.90	48.28
抗坏血酸 Ascorbic acid/(mg·L ⁻¹)	112.30	271.70	180.60	38.90	21.54
总有机酸 Total organic acids/(mg·L ⁻¹)	876.80	1 623.00	1 184.00	199.40	16.84
甜度 Sweetness/(g·L ⁻¹)	115.40	193.50	162.10	22.10	13.63

含量、蔗糖/总糖、果糖/总糖、(果糖+葡萄糖)/总糖和果糖/葡萄糖的变异系数较小,均在 13% 以下。而可滴定酸含量、固酸比、苹果酸含量、柠檬酸含量等指标的变异系数较大,均在 40% 以上,尤其是固酸比,达到了 81.63%。

2.2 茂名白糖罂荔枝果实品质相关性分析

荔枝果实各项品质指标之间并非独立,而是具有一定相关性,相关性分析是衡量变量因素的相关密切程度。对荔枝品质指标进行相关性分析,可明确各指标间的关系,为荔枝品质评价的合理选择提供理论依据。对 28 份茂名白糖罂荔枝的 20 项品质

指标进行相关性分析,具体见表 2,该结果与吴振先等^[17]的报道内容部分一致,存在差异的原因主要在于本研究内容针对同一地域的同一荔枝品种。

2.3 滋味物质贡献值

滋味物质是评价各呈味物质对果实滋味的影响,可反映单一成分对整体滋味的贡献大小。当 $DOT > 1$ 时,该物质被认为具有强烈的滋味活性,对整体滋味具有较大的贡献度,而 $DOT < 1$ 时,认为该物质对呈味贡献较小,因此,滋味物质贡献值不仅与自身含量有关,还与物质本身的阈值相关。糖类及部分有机酸类滋味物质阈值^[18]及贡献值见表 3。

表2 白糖罂荔枝样品 20个品质指标的相关性
Table 2 Correlation analysis of 20 quality indexes of Baitangying litchi in Maoming

品质指标 Quality index	可滴定酸 Ti-tratable acid	可溶性固形物 Total soluble solid	平均单果质量 Average weight	可食率 Edible rate	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	总糖 Total sugars	葡萄糖+果糖 Glucose+sucrose	(果糖+葡萄糖)/总糖 (Glucose+sucrose)/total sugar	蔗糖/总糖 Ratio of sucrose to total sugars	果糖/葡萄糖 Ratio of Fructose to glucose	固酸比 Ratio of TSS to titratable acids	糖酸比 Ratio of total sugars to total organic acids	苹果酸 Malic acid	柠檬酸 Citric acid	抗坏血酸 Ascorbic acid	总有机酸 Total organic acids	甜度 Sweetness
可滴定酸 Ti-tratable acid	1																		
可溶性固形物 Total soluble solid	0.197	1																	
平均单果质量 Average weight	-0.618**	-0.211	1																
可食率 Edible rate	-0.242	-0.163	0.152	1															
果糖 Fructose	-0.350	0.526***	0.083	-0.112	1														
葡萄糖 Glucose	-0.151	0.650***	-0.052	-0.270	0.930***	1													
蔗糖 Sucrose	-0.370	0.695***	0.139	-0.009	0.761***	0.728***	1												
总糖 Total sugars	-0.344	0.701***	0.096	-0.088	0.899***	0.878***	0.964***	1											
葡萄糖+果糖 Glucose+sucrose	-0.249	0.602***	0.011	-0.200	0.980***	0.984***	0.757***	0.904***	1										
Sum of glucose and fructose Sum of glucose and fructose	-0.223	0.196	0.184	0.230	-0.190	-0.257	0.453*	0.203	-0.229	1									
蔗糖/总糖 Ratio of sucrose to total sugars	0.223	-0.196	-0.184	-0.230	0.190	0.257	-0.453*	-0.203	0.229	-1.000***	1								
(果糖+葡萄糖)/总糖 (Glucose and fructose)/total sugars	0.208	-0.249	-0.194	-0.217	0.164	0.217	-0.483***	-0.237	0.195	-0.995***	0.995***	1							
Sucrose (Fructose+Glucose)/(Fructose+Glucose)																			
果糖/葡萄糖 Ratio of fructose to glucose	-0.348	-0.623***	0.305	0.403*	-0.306	-0.623***	-0.292	-0.387*	-0.481***	0.262	-0.262	-0.209	1						
固酸比 Ratio of TSS to titratable acids	-0.791**	-0.156	0.543***	0.309	0.187	0.042	0.226	0.194	0.112	0.187	-0.187	-0.193	0.227	1					
糖酸比 Ratio of total sugars to total organic acids	-0.365	0.388*	0.016	0.273	0.485***	0.395*	0.606***	0.579***	0.445*	0.327	-0.327	-0.323	-0.049	0.374*	1				
苹果酸 Malic acid	-0.537**	-0.214	0.657***	0.545***	0.017	-0.162	0.117	0.044	-0.079	0.243	-0.243	-0.265	0.395*	0.620***	0.03	1			
柠檬酸 Citric acid	-0.684**	-0.334	0.580***	0.517***	0.048	-0.188	0.080	0.020	-0.078	0.198	-0.198	-0.197	0.527***	0.704***	0.123	0.930***	1		
抗坏血酸 Ascorbic acid	-0.567**	-0.162	0.540***	0.347	-0.008	-0.122	0.145	0.066	-0.070	0.286	-0.286	-0.299	0.269	0.775***	0.056	0.714***	0.683***	1	
总有机酸 Total organic acids	-0.126	-0.244	0.338	-0.064	-0.042	-0.084	-0.101	-0.093	-0.065	-0.113	0.113	0.108	0.169	-0.008	-0.750**	0.368	0.296	0.319	
甜度 Sweetness	-0.357	0.685***	0.102	-0.082	0.917**	0.885***	0.955***	0.999***	0.916***	0.175	-0.175	-0.208	-0.367	0.202	0.579***	0.051	0.035	0.066	
																		-0.087 1	

注: ** $p < 0.01$ (双侧检验); * $p < 0.05$ (双侧检验)。
Note: ** $p < 0.01$ (two-sided test); * $p < 0.05$ (two-sided test).

表3 主要滋味物质的贡献值

Table 3 The dose-over-threshold value of main taste compounds

样品 编号 Sample number	品质指标及其阈值 Quality index and its threshold/(mmol·L ⁻¹)						
	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	酒石酸 Tartaric acid	苹果酸 Malic acid	抗坏血酸 Ascorbic acid	柠檬酸 Citric acid
52	90	24	0.70	0.75	0.70	0.70	
1	3.68	1.94	11.74	0.02	9.74	1.98	1.22
2	3.48	1.74	11.11	0.06	4.37	2.02	0.75
3	3.27	1.70	11.78	0.05	7.12	1.94	0.76
4	3.50	1.69	9.70	0.08	4.05	1.78	0.73
5	2.98	1.46	9.85	0.04	5.63	2.2	0.77
6	2.86	1.37	8.89	0.05	4.47	1.48	0.75
7	3.93	1.89	10.77	0.02	3.91	1.18	0.75
8	3.06	1.46	11.54	0.01	4.05	1.60	0.75
9	3.41	1.62	10.60	0.02	4.50	1.18	0.75
10	2.83	1.17	8.13	0.04	5.28	1.62	0.75
11	3.17	1.61	7.67	0.05	3.67	1.33	0.76
12	2.98	1.47	9.02	0.05	5.68	1.6	0.76
13	3.11	1.47	10.74	0.02	3.38	1.44	0.75
14	3.49	1.78	12.39	0.04	5.17	1.64	0.76
15	3.87	1.96	12.06	0.05	5.75	1.44	0.76
16	3.28	1.61	9.90	0.04	5.63	1.54	0.75
17	3.48	1.74	12.10	0.06	6.27	1.67	0.75
18	3.66	1.84	12.79	0.04	5.55	1.42	0.75
19	4.02	2.17	12.32	0.03	0.81	1.42	0.20
20	3.47	1.79	12.64	0.04	0.62	1.32	0.20
21	2.74	1.39	9.07	0.03	0.52	1.06	0.20
22	3.94	2.16	10.89	0.02	0.73	1.25	0.23
23	3.71	2.09	12.27	0.03	1.32	1.18	0.31
24	3.74	2.14	11.95	0.02	1.24	1.24	0.25
25	2.76	1.48	9.20	0.02	1.89	0.91	0.23
26	3.73	1.97	11.05	0.02	1.46	1.09	0.22
27	2.37	1.31	7.39	0.03	1.77	1.37	0.24
28	2.94	1.51	8.13	0.01	1.73	1.14	0.23

从表3中可知,可溶性糖中,果糖、葡萄糖和蔗糖均显著影响茂名白糖罂荔枝的甜味,其中蔗糖的贡献度较大,其DOT值为葡萄糖的4~12倍,果糖的3~5倍,该结果与乔方等^[18]报道的葡萄糖是影响糯米糍甜味的主要糖类不同。有机酸中,苹果酸和抗坏血酸对样品的酸味贡献值大部分均大于1,其中苹果酸贡献值相对最大,酒石酸和柠檬酸的贡献值较小,与乔方等^[18]报道一致。

2.4 茂名白糖罂荔枝果实风味成分主成分分析及综合评价

茂名产区各果园白糖罂荔枝的品质指标存在不同程度差异,各营养指标间也存在不同程度相关性,因此通过单一指标大小来评价荔枝果实品质好与差并不客观。主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)是把多个指标转化为少数几个不相

关综合指标的一种多元统计分析方法,利用PCA可从多因素中解析出重要的影响因素,适用于对多指标的综合分析。鲜食荔枝品质指标具有不同的量纲与数量级,为了避免其对结果的影响,主成分分析前必须对原始数据进行标准化处理。标准化数据通过主成分分析,20项指标中提取出4个主成分,其特征值、方差贡献率、累计方差贡献率等如表4所示。其中,每个主成分的方差即特征值,表示对应成分能够描述原有信息的多少。由表4可知,前4个主成分累积方差贡献率达85.226%,说明这4个主成分已反映了果实品质性状的大部分信息,郑锦锦等^[10]利用主成分分析将8个荔枝品种的8项品质指标综合为3个主成分,累积方程贡献率为77.79%。笔者在本

表4 4个主成分的特征值、方差贡献率、累积贡献率

Table 4 Eigenvalues, variance contribution, and cumulative contribution rates of four principal components

品质指标 Quality index	PC1	PC2	PC3	PC4
可滴定酸 Titratable acid	-0.367	-0.702	-0.335	0.134
可溶性固形物 TSS	0.721	-0.309	-0.333	0.164
平均单果质量 Average weight	0.102	0.664	0.337	0.213
可食率 Edible rate	-0.071	0.555	-0.031	-0.400
果糖 Fructose	0.895	-0.139	0.349	-0.045
葡萄糖 Glucose	0.883	-0.362	0.280	0.044
蔗糖 Sucrose	0.946	0.156	-0.208	0.154
总糖 Total sugars	0.989	-0.004	-0.007	0.102
果糖+葡萄糖 Sum of fructose and glucose	0.905	-0.262	0.318	0.002
蔗糖/总糖 Ratio of sucrose to total sugars	0.180	0.582	-0.766	0.188
(果糖+葡萄糖)/总糖 Ratio of reducing sugar to total sugars	-0.180	-0.582	0.766	-0.188
(果糖+葡萄糖)/蔗糖 (Fructose +glucose)/ Sucrose	-0.215	-0.572	0.758	-0.217
果糖/葡萄糖 Ratio of fructose to glucose	-0.419	0.613	0.011	-0.159
固酸比 Ratio of TSS to titratable acid	0.260	0.730	0.314	-0.252
糖酸比 Ratio of total sugars and total organic acids	0.654	0.193	-0.286	-0.652
苹果酸 Malic acid	0.044	0.834	0.317	0.094
柠檬酸 Citric acid	0.029	0.852	0.369	-0.073
抗坏血酸 Ascorbic acid	0.086	0.777	0.244	0.123
总有机酸 Total organic acids	-0.193	0.208	0.459	0.789
甜度 Sweetness	0.988	-0.004	0.027	0.086
特征值 Eigenvalues	6.749	5.599	3.117	1.580
方差贡献率 Variance contribution/%	33.746	27.996	15.585	7.898
累积贡献率 Cumulative contribution rates/%	33.746	61.742	77.328	85.226

研究中选取各因子载荷值绝对值大于0.700的指标作为解释变量。

主成分载荷矩阵反映了品质指标对此主成分负荷相对大小与作用的方向,即该指标对主成分的影响程度。表4中,第1主成分包含了原始信息量的33.746%,其中,绝对值较高的正向特征向量指标有总糖、甜度、蔗糖、TSS、葡萄糖、果糖与葡萄糖的和、果糖,它们对PC1产生正向影响。说明PC1增大时,果实总糖、甜度、TSS、蔗糖等正向品质指标的值增大,荔枝是一种甜度较高的水果,主要含有葡萄糖、蔗糖和果糖,总糖含量高,并不意味甜度高,甜度的高低取决于含糖的种类和各自的含量^[18]。糖度指标对荔枝内在品质风味有重要影响,PC1可称为果实总糖度指标。第2主成分包含了原始信息量的27.996%,可滴定酸有较大的负系数值,对PC2产生负向影响,PC2可称为果实酸度指标;据文献报道^[19],荔枝中可滴定酸含量与抗坏血酸含量之间回归关系达到极显著水平,呈密切的直线正相关。第3主成分包含了原始信息量的15.585%,其中,(果

糖+葡萄糖)与总糖比值、(果糖+葡萄糖)与蔗糖比值都是具有较高的正向特征向量,对PC3产生正向影响;蔗糖与总糖比值有较高的负相关系数,对PC3产生负向影响,白糖罂中蔗糖含量占总糖含量的50%以上。当PC3增大时,(果糖+葡萄糖)与总糖比值、(果糖+葡萄糖)与蔗糖比值均增大,蔗糖与总糖的比值降低,荔枝中的还原糖主要由果糖和葡萄糖组成,白糖罂荔枝中还原糖与蔗糖比值为0.55~0.88,说明白糖罂是以积累蔗糖为主的荔枝品种,PC3可称为还原糖指标。第4主成分包含了原始信息量的7.898%,总有机酸含量有较大的正系数值,对PC4产生正向影响,PC4可称为果实有机酸含量指标。

以各主成分相对方差贡献率为权重,对前4个主成分得分和相应权重进行线性加权求和,构建茂名白糖罂鲜食荔枝果实时品质综合评价函数,即:

$$F \text{ 综} = (0.337\ 46 \text{ PC1} + 0.279\ 96 \text{ PC2} + 0.155\ 85 \text{ PC3} + 0.078\ 98 \text{ PC4}) / 0.852\ 26.$$

由表5可知,利用该模型计算各样品的综合得

表5 28个茂名白糖罂荔枝果实时品质的各主成分得分、综合得分及排序

Table 5 Principal component scores, comprehensive scores and ranking the fruit quality of 28 samples of Baitangying in Maoming

样品编号 Sample number	PC1	排序 Rank	PC2	排序 Rank	PC3	排序 Rank	PC4	排序 Rank	F	总排名 Comprehensive score rank
1	5.21	8	6.64	4	4.47	2	2.43	2	5.28	1
2	3.77	13	4.56	7	0.77	10	-0.93	20	3.05	7
3	3.79	12	8.51	1	0.09	14	1.58	6	4.46	2
4	-1.24	18	1.40	14	3.94	3	-1.69	24	0.53	16
5	-3.28	19	7.81	2	0.33	13	-0.50	16	1.28	11
6	-6.86	24	3.81	9	-0.48	17	-2.89	28	-1.82	21
7	4.61	9	-1.29	17	3.31	4	-1.84	26	1.83	8
8	-0.63	16	5.03	6	-4.36	26	2.07	3	0.80	13
9	-0.25	15	0.74	16	-0.50	18	-0.73	18	-0.01	18
10	-13.09	28	6.85	3	1.34	9	1.65	5	-2.54	23
11	-9.19	26	-3.37	19	8.25	1	0.06	14	-3.23	24
12	-6.82	23	3.31	13	1.87	7	0.29	13	-1.25	20
13	-1.00	17	3.73	11	-4.50	27	-2.74	27	-0.25	19
14	6.56	7	3.69	12	-2.81	23	-1.31	22	3.18	6
15	7.26	5	1.38	15	1.37	8	-0.62	17	3.52	4
16	-3.79	20	4.56	8	3.10	6	2.05	4	0.75	14
17	4.29	10	5.70	5	-1.14	20	0.93	8	3.45	5
18	7.99	2	3.76	10	-2.69	22	-1.70	25	3.75	3
19	8.90	1	-6.85	23	0.52	12	0.83	11	1.45	9
20	4.18	11	-1.83	18	-3.98	24	3.18	1	0.62	15
21	-6.28	21	-4.66	20	-4.63	28	-0.84	19	-4.94	25
22	6.76	6	-9.51	27	3.13	5	-1.18	21	0.02	17
23	7.50	3	-4.87	21	-0.38	16	0.92	9	1.39	10
24	7.33	4	-5.87	22	0.68	11	0.51	12	1.15	12
25	-6.66	22	-7.35	25	-4.30	25	1.05	7	-5.74	26
26	3.04	14	-9.67	28	-0.51	19	-0.03	15	-2.07	22
27	-12.95	27	-7.11	24	-2.55	21	0.92	10	-7.84	28
28	-9.16	25	-9.12	26	-0.33	15	-1.45	23	-6.82	27

分并排序,获得的28份茂名白糖罂荔枝在4个主成分上的得分及排序结果。第1主成分高的样品编号为19、23、24、15,说明这4个样品的总糖、甜度、TSS、蔗糖含量较高;第2主成分高的样品编号为3、5、10、1,说明这4个样品的可滴定酸含量较高;第3主成分高的样品编号为11、1、4、7,说明还原糖含量较高;第4主成分高的样品编号为20、1、8、16,说明有机酸含量较高。编号为1的样品在PC1、PC2、PC3、PC4排名均靠前,编号为3的样品在PC2和PC4排名靠前,他们的总排名是1、2,同时也是专家现场品尝一致认为口感风味特别好的样品。

第1主成分低的样品编号为10、27、11、28,第2主成分低的样品编号为26、22、28、25,第3主成分低的样品编号为21、13、8、25,第4主成分低的样品编

号为6、13、7、18。编号为6的样品在PC1、PC4排名均靠后,在28份样品中总排名为21,该样品也是专家现场感官评价后一致认为口感风味较差的样品。

2.5 品质评价预测模型构建

以2.4中主成分分析得到的茂名白糖罂荔枝样品综合因子得分为因变量,参加4个主成分分析的品质指标为自变量,进行逐步回归分析,建立茂名白糖罂荔枝品质的理论预测模型,见表6。得到的回归模型为: $Y=-0.921 \times \text{可滴定酸} + 1.132 \times \text{苹果酸} + 0.568 \times \text{抗坏血酸} + 1.676 \times \text{甜度}$,调整 R^2 值为0.993, Sig 值<0.01,将筛选出的指标值带入模型,得到每个样品的理论评分,并将该评分与利用主成分分析得到的综合因子得分进行相关性分析, $r=0.986$,说明该模型与实际评估结果一致,具有较高可靠性。

表6 茂名白糖罂荔枝品质预测模型回归系数

Table 6 Regression coefficients of quality prediction model for Baitangying litchi

模型 Model	非标准化系数 Nonstandard coefficient		标准系数 Standard coefficient		显著性 Sig.	偏相关性 Partial correlation
	B	标准误差 Standard error	试用版 Trial version	t		
可滴定酸 Titratable acid	-0.921	0.117	-0.272	-7.877	0.000	-0.892
苹果酸 Malic acid	1.132	0.250	0.334	4.528	0.000	0.749
抗坏血酸 ascorbic acid	0.568	0.089	0.168	6.368	0.000	0.847
甜度 Sweetness	1.676	1.012	0.495	1.656	0.117	0.383

3 讨论

3.1 变异性分析

果实外观与食用品质共同决定其综合品质,大小、颜色和形状等外在因子决定其外在感官品质,糖、有机酸等食用因子决定果实的营养价值。本研究从28份茂名白糖罂荔枝的20项性状及品质指标的测定分析结果表明,变异系数较小的指标为可溶性固形物含量、可食率、果糖含量、蔗糖/总糖、果糖/总糖、(果糖+葡萄糖)/总糖和果糖/葡萄糖,其余指标变异系数较大。

由于本研究样品均来自管理水平相对较高的示范园和骨干种植户果园,可溶性固形物含量、可食率、可溶性糖含量等指标比较均匀,变异系数较小;各果园肥水等栽培管理措施各异,导致各果场果实的苹果酸含量、总有机酸含量和固酸比等指标的差异较大,体现出较大的变异系数。上述结果,与文献报道的不同荔枝品种的变异系数结果存在差异^[17]。由此可见,对于同一荔枝品种,不能单纯以变异系数

来判别各指标对果实品质差异的影响。本研究排除了地域条件、采收期差异等因素的影响,对于该品种的综合评价体系建设具有重要意义。

3.2 相关性分析

各品质指标相关性分析结果表明,同类指标之间(如糖类、有机酸类含量等)存在极显著或显著相关;而不同类指标之间相关性不明显(如平均单果质量、可食率等指标)。反映出同一地域的白糖罂荔枝遗传性状的一致性,同时也反映出由于栽培管理等措施的不同导致果品的外观等少部分指标存在差异。

3.3 滋味物质分析

糖是决定荔枝果实品质的重要因子,不同荔枝品种的糖酸组成不同,其中还原糖(蔗糖和果糖统称为还原糖)与蔗糖比值可反映出糖的成分组成情况。本研究中茂名白糖罂的比值低于1,属于蔗糖积累型品种,文献报道妃子笑的还原糖/蔗糖数值在2.8以上,属于还原糖积累型品种,还包括黑叶、灵山香荔等品种;糯米糍则低于1,为蔗糖积累型品种,

蔗糖积累型荔枝品种还包括鸡嘴荔、钦州红荔等;蔗糖与还原糖含量相近的中间积累型($1 < \text{还原糖}/\text{蔗糖含量} < 2$),如桂味、三月红等,与同为无患子科的龙眼的糖积累类型一致^[16,20]。不同果树的糖组成也不同,如桃和杏属于蔗糖积累型,苹果、梨、草莓属于还原糖积累型^[21]。荔枝果实内部糖代谢主要受遗传因子、内源激素和生产措施等影响^[22-23],前人^[24-25]的研究结果表明,糖含量与代谢酶之间存在密切关系,具体机制还不明确;也有文献阐明糖含量差异与不同产地的树势、光照、温度、水分及生产措施等有关,不同产地虽然会影响各可溶性糖的含量,但是还原糖与蔗糖比值并无明显差异^[21]。由此说明,不同产地的气候环境、地理条件、物候期及栽培管理措施会对糖含量造成影响,但不会改变糖分积累类型。荔枝属于糖直接积累型果实,且糖组分变化依品种而异,如桂味中蔗糖含量在成熟过程中是稳步上升的,葡萄糖和果糖含量表现为明显的暂时下降,糯米糍和怀枝果实中蔗糖含量呈现先上升后下降再回的升趋势,葡萄糖和果糖含量均呈上升趋势^[26-28]。荔枝糖积累在果实近充分成熟时会出现“退糖”现象^[24],表现较为明显的是积累还原糖为主的妃子笑,贵妃红也有报道^[29]。

不同果树有机酸含量及组分存在差异,根据含量最高的有机酸种类可进行分类:苹果酸优势型、柠檬酸优势型和酒石酸优势型^[30-31]。荔枝属于积累苹果酸优势型果实,结果显示,茂名白糖罂中苹果酸是含量最高的有机酸,其次为抗坏血酸和柠檬酸,再次为琥珀酸、草酸、乳酸、乙酸、莽草酸、富马酸、酒石酸和丙酮酸。不同品种荔枝,各有机酸含量和组分也不尽相同,桂味中苹果酸是主要有机酸,乳酸、酒石酸、乙酸、柠檬酸、槲皮素和草酸次之,存在少量富马酸和丙酮酸^[32];妃子笑中酒石酸和琥珀酸含量最高,怀枝中苹果酸和乙酸含量最高^[33]。据文献报道^[27],荔枝在果实成熟过程中早期不断积累有机酸,后期逐渐降低,抗坏血酸含量伴随果实发育进程逐渐减少,完全成熟时略有升高;苹果酸在假种皮形成进程中含量逐渐升高,达到成熟时急剧下降^[25]。有机酸代谢主要包括柠檬酸代谢和苹果酸代谢^[33],但有关其代谢途径、机制等的研究报道鲜少。

3.4 主成分分析

目前,主成分分析法已广泛应用于食用菌、水稻、水果等的品质综合评价^[34-36]。笔者在本研究中将

20项果实性状与营养成分进行主成分分析,前4个主成分的累积贡献率达85.226%,有效减少了变量的数量,挖掘出代表性的主成分因子。根据茂名白糖罂果实主成分得分和载荷值,发现第1主成分正向增长有利于提高果实的总糖度,可予以重点关注;第2主成分的正向增长有利于提高果实的酸度含量;第3主成分的正向增长有利于提高果实还原糖的含量;第4主成分的正向增长可提高总有机酸的含量。按主成分方差贡献率从大到小依次为果实总糖度指标、酸度指标、还原糖指标和果实有机酸指标,该分析方法规避了人为赋权对果实品质综合评价的主观影响,可综合客观地评价鲜食白糖罂的品质。目前用于评价荔枝口感风味好坏的指标多以TSS、固酸比、糖酸比、可溶性糖含量等指标为主,如乔方等^[18]报道荔枝的喜好度与固酸比无关($p > 0.05$),与糖酸比(总糖/总有机酸)高度相关($p < 0.01$),糖酸比值越高,喜好度越高。说明荔枝中可溶性糖和各种有机酸的含量是影响口感风味的重要因素,但并没有具体报道糖和有机酸的种类、含量、比例及其动态变化对荔枝风味的影响,这也是今后将要开展的研究方向。

4 结 论

通过对28份茂名白糖罂荔枝果实品质性状指标开展差异分析、相关性分析和主成分分析,来综合评价果实品质,并对28个果园的荔枝品质优劣进行综合得分排序,研究结果为今后育种工作者选择亲本提供数据参考,也将为深入探究白糖罂荔枝果实内营养物质代谢机制等提供科学依据。

参考文献 References:

- [1] 白慧卿,吴建国,潘学标.影响我国荔枝分布的关键气候要素分析[J].果树学报,2016,33(4):436-443.
BAI Huiqing, WU Jianguo, PAN Xuebiao. Key climatic factors affecting the distribution of litchi in China[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(4):436-443.
- [2] 齐文娥,陈厚彬,李伟文,张浩军.中国荔枝产业发展现状、趋势与建议[J].广东农业科学,2016,43(6):173-179.
QI Wen'e, CHEN Houbin, LI Weiwen, ZHANG Haojun. Development situation, trend and suggestions of Chinese litchi industry[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2016, 43(6):173-179.
- [3] 孙海燕,胡小婵,张慧坚.基于SCI-E的荔枝文献分布研究及分析[J].热带农业科学,2018,38(3):123-130.
SUN Haiyan, HU Xiaochan, ZHANG Huijian. Analysis of distri-

- bution of litchi-related literature based on SCI-E[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(3): 123-130.
- [4] 李建国. 荔枝学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
LI Jianguo. The Litchi[M]. Beijing: China Agricultural Publishing Press, 2008.
- [5] 广东省农业标准化协会. 从化井岗红糯荔枝: T/GDΝB 22—2021[S]. 广州: 广东省农业标准化协会, 2021.
Guangdong Agricultural Standardization Association. Jinggang-hognuo litchi in Conghua: T/GDΝB 22—2021[S]. Guangzhou: Guangdong Agricultural Standardization Association, 2021.
- [6] 广东省农业标准化协会. 增城仙进奉荔枝: T/GDΝB 27—2021 [S]. 广州: 广东省农业标准化协会, 2021.
Guangdong Agricultural Standardization Association. Xianjin-feng litchi in Zengcheng: T/GDΝB 27—2021 [S]. Guangzhou: Guangdong Agricultural Standardization Association, 2021.
- [7] 陈杭君, 曹颖, 郁海燕, 陶菲, 符勇. 不同品种荔枝品质特性及聚类分析评价[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 194-206.
CHEN Hangjun, CAO Ying, HAO Haiyan, TAO Fei, FU Yong. Quality properties and cluster analysis of different litchi cultivars[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(5): 194-206.
- [8] 温婧, 徐玉娟, 肖更生, 吴继军, 陈于陇, 余元善. 广东省 17 个不同荔枝品种果品质比较分析[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(2): 39-45.
WEN Jing, XU Yujuan, XIAO Gengsheng, WU Jijun, CHEN Yulong, YU Yuanshan. Comparative analysis on fruit qualities of litchi varieties from Guangdong province[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 34 (2):39-45.
- [9] 曹颖. 鲜食荔枝品质评价研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2013.
CAO Ying. Research on quality evaluation of fresh litchi[D]. Jin-hua: Zhejiang Normal University, 2013.
- [10] 郑锦锦, 刘帅, 陈岩, 张欣, 杨慧, 刘香香, 王富华. 岭南地区荔枝主栽品种品质评价分析[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23 (4):128-136.
ZHENG Jinjin, LIU Shuai, CHEN Yan, ZHANG Xin, YANG Hui, LIU Xiangxiang, WANG Fuhua. Quality evaluation and analysis of main cultivated litchi in Lingnan region[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(4):128-136.
- [11] 中华人民共和国农业部. 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法: NY/T 2637—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Refractometric method for determination of total soluble solids in fruits and vegetables, NY/T 2637—2014[S]. Beijing: China Agricultural Publishing Press, 2014.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国标准化管理委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, inspection and Quarantine of the people's Republic of China, The Standardization Administration of China. Determination of total acid in foods, GB/T 12456—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定: GB 5009.8—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
State health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose, and lactose in food, GB 5009.8—2016[S]. Beijing: China Quality and Standards Publishing & Media Co., Ltd, 2016.
- [14] 王思威, 刘艳萍, 王潇楠, 孙海滨. 基于高效液相色谱-三重四极杆串联质谱技术测定鲜荔枝果肉中 10 种有机酸含量[J]. 农药学报, 2019, 21(3):359-365.
WANG Siwei, LIU Yaping, WANG Xiaonan, SUN Haibin. Determination of ten organic acids in fresh litchi based on high performance liquid chromatography with triple quadrupole mass spectrometry technique[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2019, 21(3):359-365.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
State health and Family Planning Commission of the people's Republic of China. National food safety standard Determination of ascorbic acid in food: GB 5009.86—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [16] 蔡小林, 潘介春, 周煜棉, 刘红红. 荔枝糖酸代谢特性及其调控研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4):17-22.
CAI Xiaolin, PAN Jiechun, ZHOU Yumian, LIU Honghong. Research progress on characteristics and regulation of sugar and acid metabolism in litchi[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(4):17-22.
- [17] 吴振先, 韩冬梅, 于卫东, 雷晓宇. 荔枝果实成熟品质评估指标体系的构建[J]. 广东农业科学, 2015, 42(1):32-36.
WU Zhenxian, HAN Dongmei, YU Weidong, LEI Xiaoyu. Establishment of evalution system for quality of ripened litchi fruit[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(1):32-36.
- [18] 乔方, 黄略略, 方长发, 顾亚萍. 不同产区糯米糍荔枝的滋味物质及电子舌分析[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(16):62-66.
QIAO Fang, HUANG Luelue, FANG Changfa, GU Yaping. Taste characters and hedonic study of three popular lychees (*Litchi chinensis* Sonn.) in Shenzhen[J]. Food Research and Development, 2013, 34(16):62-66.
- [19] 龙淑珍, 何永群. 荔枝可滴定酸与维生素 C 的测定及其相关性[J]. 广西农业科学, 2002(4):188-189.
LONG Shuzhen, HE Yongqun. Determination of titratable acid and vitamin C and their correlation analysis[J]. Journal of Southern Agriculture, 2002(4):188-189.
- [20] 杨转英, 王惠聪, 赵志常, 秦永华, 胡桂兵. 不同产地荔枝果实糖含量及组成的比较[J]. 热带作物学报, 2012, 33(8): 1398-1402.
YANG Zhuanying, WANG Huicong, ZHAO Zhichang, QIN Yonghua, HU Guibing. A comparative study on the sugar accumulation and composition in the aril of litchi from different re-

- gions[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(8): 1398-1402.
- [21] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 杨舜博, 赵政阳. 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 1877-1889.
LI Ya'nan, YAN Leiyu, ZHANG Bo, YANG Shunbo, ZHAO Zhengyang. Study on the characteristics of sugar and organic acid components in different apple cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 1877-1889.
- [22] 胡桂兵, 陈大成, 李平, 欧阳若, 高飞飞, 王卫华. 荔枝果皮色素、酚类物质与酶活性的动态变化[J]. 果树学报, 2000, 19(1): 35-40.
HU Guibing, CHEN Dacheng, LI Ping, OUYANG Ruo, GAO Feifei, WANG Weihua. Changes of pigment, phenol and enzyme activity in litchi fruit peel during the fruit development[J]. Journal of Fruit Science, 2000, 19(1): 35-40.
- [23] 唐健, 段敏, 薛进军. 套袋对荔枝成熟期及果实品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(3): 640-642.
TANG Jian, DUAN Min, XUE Jinjun. Effects of bagging on ripening stage and fruit quality of litchi[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2009, 25(3): 640-642.
- [24] 王惠聪, 黄辉白, 黄旭明. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性[J]. 园艺学报, 2003, 50(1): 1-5.
WANG Huicong, HUANG Huibai, HUANG Xuming. Sugar accumulation and related enzyme activities in the litchi fruit of "Nuomici" and "Feizixiao"[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 50(1): 1-5.
- [25] WANG H C, HUANG H B, HUANG X M, HU Z Q. Sugar and acidcompositions in the arils of litchi chinensis sonn.: Cultivar-differences and evidence for the absence of succinic acid[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2006, 81(1): 57-62.
- [26] 黄辉白, 程贵文, 高飞飞. 荔枝果实发育的研究 II 成熟期间某些生理生化特点[J]. 园艺学报, 1986, 13(1): 9-15.
HUANG Huibai, CHENG Guiwen, GAO Feifei. Studies on fruit development in *Litchi chinensis* Sonn. II. Some physiological and biochemical features during maturation[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1986, 13(1): 9-15.
- [27] PAULL R E, CHEN J N, DEPUTY J, HUANG H, CHENG G, GO F. Litchi growth and compositional changes during fruit development[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1984, 109: 817-821.
- [28] 李建国, 罗诗, 袁炜群. 荔枝果实成熟期间糖积累和糖代谢相关酶活性变化[J]. 华南农业大学学报(自然科学版), 2003, 24(2): 87-88.
LI Jianguo, LUO Shi, YUAN Weiqun. Changes of sugar accumulation and enzyme activity related to sugar metabolism during litchi fruit maturation[J]. Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition), 2003, 24(2): 87-88.
- [29] 黄凤珠, 彭宏祥, 朱建华, 李冬波, 徐宁, 陆贵峰, 黎光旺. 贵妃红荔枝果实生长发育规律及含糖量变化特性研究[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 703-706.
HUANG Fengzhu, PENG Hongxiang, ZHU Jianhua, LI Dongbo, XU Ning, LU Guifeng, LI Guangwang. Growth rule and sug-
- ar content of Guifeihong litchi fruit during ripening period[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(2): 703-706.
- [30] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
ZHENG Lijing, NIE Jiyun, YAN Zhen. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312.
- [31] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 果树学报, 2005, 24(5): 526-531.
CHEN Faxing, LIU Xinghui, CHEN Lisong. Advances in research on organic acid metabolism in fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 24(5): 526-531.
- [32] 黄桂颖, 白卫东, 杨幼慧, 马应丹. 反相高效液相色谱法测定荔枝肉中 10 种有机酸[J]. 现代食品科技, 2009, 25(5): 568-570.
HUANG Guiying, BAI Weidong, YANG Youhui, MA Yingdan. Determination of ten organic acids in lychees by reversed phase high performance liquid chromatography[J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(5): 568-570.
- [33] 温青玉. 荔枝果实成熟及贮藏期间有机酸和糖代谢研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2012.
WEN Qingyu. Study on organic acid and sugar metabolism during fruit maturation and storage of litchi fruit[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012.
- [34] 范婷婷, 赵晓燕, 李晓贝, 张艳梅, 李健英, 周昌艳. 人工栽培和野生羊肚菌游离氨基酸主成分分析及综合评价[J/OL]. 食品科学, 2022: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210618.1716.024.html>.
FAN Tingting, ZHAO Xiaoyan, LI Xiaobei, ZHANG Yanmei, LI Jianying, ZHOU Changyan. Principal component analysis and comprehensive evaluation of free amino acids between cultivated and wild *Morchella* [J/OL]. Food Science, 2022: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210618.1716.024.html>.
- [35] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 宋维明, 郑桂萍, 郭永霞. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 179-184.
JING Ruiyong, WEI Jiaqi, WANG Liyan, SONG Weiming, ZHENG Guixia, GUO Yongxia. Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis[J]. Food Science, 2020, 41(24): 179-184.
- [36] 武琳霞, 李玲, 张国光, 姜冬梅, 欧阳喜辉, 王蒙. 基于主成分及聚类分析的不同产地冬枣品质特性分析[J]. 食品科学, 2022: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210413.1535.026.html>.
WU Linxia, LI Ling, ZHANG Guoguang, JIANG Dongmei, OUYANG Xihui, WANG Meng. Analysis on quality characteristics of winter jujube from different regions based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Science, 2022: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210413.1535.026.html>.