

不同品种余甘子果实营养成分分析及加工特性评价

郑自奋^{1,2}, 陈晓维¹, 邹波¹, 余元善^{1*}, 肖更生², 马路凯²

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)(2. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 广东广州 510000)

摘要: 为研究不同品种余甘子果实的品质特性, 该研究以广东和广西两地共 8 个品种余甘子作为研究对象, 对其外形特征、活性物质、营养成分等 31 项指标进行测定, 并采用主成分分析法筛选出营养品质及加工特性良好的品种。结果表明: 不同品种余甘子果实的单果重量、总糖、总酸、总黄酮、总酚、抗坏血酸、有机酸及单体酚含量差异较大, 而出汁率、可食率差异较小。经主成分分析提取出 6 个特征值大于 1 的因子, 累计贡献率达 96.95%, 影响第 1 主成分的有总酸、总酚、苹果酸、乳酸, 影响第 2 主成分的为单果重量、纵径、横径、果肉重量, 影响第 3 主成分的为酒石酸、柠檬酸、柯里拉京, 前 3 个主成分累计贡献率达 75.84%。从 6 个因子综合考虑, “直生苗”和“平丹 1 号”适合用于活性物质的提取, “灵山 4 号”、“丙甜”和“玻璃”适合加工成果汁。该研究结果为选择适合果汁加工及活性物质提取的品种提供了参考依据。

关键词: 余甘子; 品质特性; 主成分分析; 果汁; 活性物质

文章编号: 1673-9078(2024)07-166-176

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0807

Analysis of the Nutritional Components and Evaluation of the Processing Characteristics of Different Varieties of *Phyllanthus emblica* L. Fruit

ZHENG Zifen^{1,2}, CHEN Xiaowei¹, ZOU Bo¹, YU Yuanshan^{1*}, XIAO Gengsheng², MA Lukai²

(1. Institute of Sericulture and Agricultural Products Processing, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)(2. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering/Lingnan Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510000, China)

Abstract: In order to study the fruit quality characteristics of different varieties of *Phyllanthus emblica* L., a total of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L. from Guangdong and Guangxi provinces were selected as the research objects, and 31 indexes such as their appearance characteristics, active substances and nutritional components were determined. The varieties

引文格式:

郑自奋,陈晓维,邹波,等.不同品种余甘子果实营养成分分析及加工特性评价[J].现代食品科技,2024,40(7):166-176.

ZHENG Zifen, CHEN Xiaowei, ZOU Bo, et al. Analysis of the nutritional components and evaluation of the processing characteristics of different varieties of *Phyllanthus emblica* L. fruit [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 166-176.

收稿日期: 2023-07-04

基金项目: 广东省重点研发计划项目(2022B0202050001); “十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目(2022SDZG04); 广东省现代农业产业技术体系优稀水果创新团队项目(2023KJ116); 广东省农业科学院学科团队建设项目(202109TD)

作者简介: 郑自奋(1997-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 609285132@qq.com

通讯作者: 余元善(1983-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: 499072725@qq.com

with good nutritional quality and processing characteristics were selected by the principal component analysis. The results showed that the fruit weight, and the contents of total sugars, total acids, total flavonoids, total phenols, ascorbic acid, organic acid and monomer phenol in different varieties of *Phyllanthus emblica* L. fruit different significantly, but their juice yield and edible rate showed little difference. The six factors with characteristic values higher than 1 were extracted by the principal component analysis, and the cumulative contribution rate reached 96.95%. The factors affecting the first principal component were total acids, total phenols, malic acid and lactic acid; The factor affecting the second principal component were single fruit weight, longitudinal diameter, transverse diameter and pulp weight; The factor affecting the third principal component were tartaric acid, citric acid, and claritin acid. The cumulative contribution rate of the first three principal components was 75.84%. Taking the 6 factors into consideration, “Zhi Sheng Miao” and “Ping Dan 1” varieties were suitable for the extraction of active substances, “Ling Shan 4”, “Bing Tian” and “Bo Li” varieties were suitable for processing into juice. The results of this study provided a reference for the selection of varieties suitable for fruit juice processing and extraction of active substances.

Key words: *Phyllanthus emblica* L.; quality characteristics; principal component analysis; fruit juice; active substance

余甘子 (*Phyllanthus emblica* L.) 是大戟科叶下珠属余甘子的果实, 又名余甘果、油甘子、庵摩勒、滇橄榄等^[1,2]。余甘子是热带、亚热带地区特色水果^[3], 原产于印度和东南亚地区^[4,5], 在我国已有 1 800 多年的栽培历史^[6], 主要分布于广东、广西、福建、云南、海南等省份^[7]。余甘子是一种药食同源的水果^[8], 在传统医学中被用于治疗血热、血瘀、消化不良、腹胀等症状^[1]。现代研究证明, 余甘子富含多种营养成分, 如氨基酸、矿物质、膳食纤维、维生素、多酚、类黄酮等^[9-12], 使其具有抗氧化、抗肿瘤、保肝护肝、调节免疫力^[13]、抗炎^[14]、抗癌^[15]、降血糖^[16]、清凉热血、消食健胃和生津止咳^[17]等功效。

近年来, 随着饮品行业的快速兴起, 新兴饮品店以水果、牛奶、坚果、芝士等为原材料, 结合传统茶叶, 研制出类型丰富、口味多样的新茶饮产品, 深受消费者喜爱。知名网红饮品店如“喜茶”“奈雪的茶”“沪上阿姨”等以余甘子为原料, 利用其特殊的回甘风味, 开发的余甘子新茶饮产品, 吸引了大量消费者。消费者对余甘子的认可度正在不断增加, 需求量也随之增大, 导致市场上余甘子原料价格的上升, 刺激了余甘子种植面积的扩大和初加工产业的发展。

目前对于余甘子的研究主要集中在其生物活性和微量元素等方面, Li 等^[18]从余甘子中提取活性物质, 通过对胃肠激素和肠道微生物组的调节, 从而达到缓解功能性消化不良的作用; Wu 等^[19]研究了余甘子中酚类物质的组成及其抗衰老活性; Li 等^[8]对从余甘子果肉中分离出来的新型多糖进行表征并研究其抗氧化能力。我国余甘子资源丰富, 品系众多, 受各地区气候条件和生长环境差异的影响, 不同地

区余甘子的品质差异较大, 加工特性尚不明确, 关于不同品种余甘子的营养组分及加工特性的研究较少。为此, 本研究以两广地区的 8 个余甘子品种作为研究对象, 从基本的理化指标和营养成分等方面, 分析余甘子果实的品质特征, 系统分析与评价不同品种余甘子果实的品质差异, 以期选取适合果汁加工及活性物质提取的余甘子品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料

选择成熟度一致、无病虫害且无机械损伤的余甘子果实作为试验材料。原料均在最佳食用成熟期进行采集, 每个品种均采摘自 10 株余甘子树, 取样后立即进行预冷, 并在 4 °C 左右贮藏运输。原料品种、来源及采摘时间见表 1。

表 1 余甘子品种及产地

Table 1 Varieties and origin of *Phyllanthus emblica* L.

编号	品种	产地	采摘时间
1	丙甜		
2	玻璃	广东陆丰市	8月中旬
3	赤皮		
4	白玉		
5	平丹 1 号		
6	水晶	广西灵山县	9月上旬
7	灵山 4 号		
8	直生苗		

1.1.2 试剂

果糖、葡萄糖、蔗糖、抗坏血酸、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐 (ABTS)、1,1-二苯基苦基苯肼 (DPPH), 上海麦克林生化科技有限公司; 草酸、酒石酸、苹果酸、乳酸、柠檬酸、富马酸、没食子酸、绿原酸、柯里拉京、诃子鞣酸、鞣花酸、芦丁、柚皮素, 上海源叶生物科技有限公司; 无水乙醇、95% (体积分数) 乙醇、无水甲醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、福林酚、碳酸钠、偏磷酸, 均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 仪器与设备

XBILL-S01 型破壁机, 中国西贝乐公司; Shimadzu LC-20A 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; DK-98-1 型电热恒温水浴锅, 上海精密仪器仪表公司; FA1104 型电子天平, 上海乐平科学仪器有限公司; Mili-QSynthesis 超纯水系统, 美国 Milipore 公司; UV-1780 紫外分光光度计, 日本岛津公司; 101-2 型电热鼓风干燥箱, 天津市泰斯特仪器有限公司; 7890A-5975C 气相色谱质谱联用仪, 美国 Agilent 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 原料处理

不同品种的余甘子果实采摘后用保鲜袋分装, 剔除残次果和伤果, 选择大小、色泽均匀的果实贮存于 4℃ 冰箱用于指标测定。其中单果质量、纵径、横径、果肉质量、可食率、出汁率 6 个指标用新鲜果实测量, 其余指标用破壁机将去核后的余甘子进行破碎, 得到果浆后测定。

1.2.2 出汁率的测定

余甘子果实清洗后去核, 果肉用破壁机破碎, 用一层 100 目纱布滤出果汁, 称取果汁质量, 出汁率计算公式如下:

$$W = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

W —出汁率, %;

m_1 —果汁的质量, g;

m_2 —果实的质量, g。

1.2.3 pH值、可溶性固形物 (TSS) 和总酸 (TA) 的测定

pH 值采用 pH 计测定; 可溶性固形物 (TSS) 采用数字阿贝折射仪测定; 总酸 (TA) 采用 GB/T

12456-2021 的方法测定^[20], 结果以柠檬酸计。

1.2.4 总糖含量的测定

总糖的测定参照苯酚硫酸法^[21]。

1.2.5 糖组分的测定

糖组分采用 HPLC 分析法测定^[22], 包括果糖、葡萄糖、蔗糖。

1.2.6 抗坏血酸含量的测定

抗坏血酸含量的测定采用 HPLC 分析法^[23]。

1.2.7 有机酸含量的测定

有机酸含量参照国标 GB 5009.157-2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》进行测定^[24]。

1.2.8 总酚含量的测定

总酚的测定参照曹艳萍等^[25]的方法。

1.2.9 总黄酮含量的测定

总黄酮的测定参照莫开菊等^[26]的方法。

1.2.10 单体酚的测定

单体酚采用 HPLC 分析法, 参考文献^[27]的方法。

1.2.11 抗氧化能力的测定

1.2.11.1 DPPH 自由基清除能力

参考 Sokolletowska 等^[28]的方法, 稍作修改。分别取 1 mL 样品稀释液 (0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mg/mL), 加入 5 mL 0.13 mmol/L 的 DPPH 溶液, 混匀后置于室温环境下避光反应 20 min, 以无水乙醇为空白在 517 nm 处测得吸光度 A_i , 以 1 mL 无水乙醇和 5 mL DPPH 在 517 nm 处测得吸光度 A_j 。DPPH 自由基清除率的计算公式如下:

$$M = \frac{A_j - A_i}{A_j} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

M —清除率, %;

A_i —样品组吸光度;

A_j —同体积无水乙醇代替样品溶液的吸光度。

1.2.11.2 ABTS⁺ 自由基清除能力

参考余元善等^[29]的方法, 稍作修改。分别取 0.25 mL 样品稀释液 (0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mg/mL), 加入 5 mL ABTS⁺ 溶液, 混匀后置于室温条件下避光反应 6 min, 以无水乙醇为空白在 734 nm 处测的吸光度 A_0 , 以 0.25 mL 无水乙醇和 5 mL ABTS⁺ 溶液在 734 nm 处测得吸光度 A_1 , ABTS⁺ 自由基清除率的计算公式如下:

表 2 8个品种余甘子果实外型特征及品质特性

Table 2 Fruit shape characteristics and quality characteristics of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

品种	单果质量/g	纵径/mm	横径/mm	果形指数/%	果肉质量/g	可食率/%	出汁率/%
丙甜	9.99 ± 0.88 ^b	21.12 ± 0.81 ^{bc}	26.08 ± 1.05 ^b	81.01 ± 3.10 ^d	8.73 ± 0.81 ^b	90.39 ± 0.83 ^a	61.91 ± 1.11 ^{ab}
玻璃	11.41 ± 1.12 ^a	22.76 ± 1.10 ^a	27.57 ± 0.99 ^a	82.58 ± 3.44 ^d	10.15 ± 1.10 ^a	88.91 ± 0.43 ^{ab}	59.26 ± 1.25 ^c
赤皮	5.27 ± 1.01 ^c	17.77 ± 0.91 ^c	20.76 ± 1.38 ^c	85.67 ± 2.55 ^c	4.41 ± 0.96 ^c	83.39 ± 2.43 ^c	57.28 ± 0.96 ^d
白玉	7.70 ± 0.80 ^d	19.22 ± 1.15 ^d	23.96 ± 0.64 ^{cd}	80.20 ± 3.62 ^d	5.94 ± 0.79 ^d	76.96 ± 3.79 ^c	56.20 ± 1.10 ^c
平丹 1 号	7.47 ± 0.97 ^d	20.25 ± 1.07 ^c	23.21 ± 1.17 ^d	87.29 ± 3.97 ^{bc}	6.28 ± 0.87 ^d	83.90 ± 1.71 ^c	63.34 ± 0.49 ^a
水晶	5.51 ± 0.73 ^e	18.87 ± 0.93 ^d	21.21 ± 0.92 ^e	89.00 ± 3.27 ^b	4.86 ± 0.71 ^e	88.07 ± 1.79 ^b	61.07 ± 0.19 ^b
灵山 4 号	8.74 ± 1.52 ^c	21.31 ± 1.36 ^b	24.71 ± 1.33 ^c	86.22 ± 2.18 ^{bc}	7.89 ± 1.38 ^c	90.34 ± 1.82 ^a	62.04 ± 0.25 ^{ab}
直生苗	3.05 ± 0.32 ^f	15.58 ± 0.51 ^f	16.88 ± 0.77 ^f	92.36 ± 2.19 ^a	2.42 ± 0.29 ^f	79.38 ± 1.71 ^d	46.25 ± 0.27 ^f
平均值	7.39	19.61	23.05	85.54	6.34	84.79	58.42
变异系数/%	36.77	11.54	14.66	4.84	39.61	5.61	9.41

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 3、4 同。

$$M = \frac{A_1 - A_0}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

M —清除率, %;

A_0 —样品组吸光度;

A_1 —同体积无水乙醇代替样品溶液的吸光度。

1.3 数据处理

所有试验重复 3 次, 取平均值, 数据处理及作图采用 Origin 2019、SPSS 22 软件, 结果为“平均值 ± 标准偏差”, 采用 Duncan 验证法分析显著性差异, $P < 0.05$ 为差异性显著, 采用 SPSS 22 软件做主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种余甘子果实外形特征及品质特性

目前, 我国对于果实的分级一般是在形状、新鲜度、色泽、病虫害和机械损伤等方面已经符合要求的基础上, 按大小进行分级, 一般而言单果质量较大的果实具有更高的价格优势。如表 2 所示, “玻璃”品种单果质量最大, 为 11.41 g, 显著大于其余 7 个品种 ($P < 0.05$), 表明“玻璃”品种具有较好的市场价格。而“直生苗”的单果质量只有 3.05 g, “玻璃”的单果重是“直生苗”的 3.76 倍。不同品种余甘子果实的单果质量存在显著差异, 这可能是由于内在的遗传特征即品种的差异所致。果实纵径、横径、果肉质量和果实质量之间存在着线性关系, 与单果重结果相似, “玻璃”果实的纵径、横径和果肉质量均最大, 分别为 22.76 mm、27.57 mm、10.15 g, 显著高于其他

余甘子品种 ($P < 0.05$), “直生苗”果实的纵径、横径和果肉质量均最小。果形指数表示一个果实的形状特征, 为果实品质指标之一, 通常果形指数 < 0.9 的果实为扁圆形果, 果形指数为 0.9~1.1 的果实为圆形果^[30]。“直生苗”的果形指数最大, 为 0.92, 显著高于其他余甘子品种 ($P < 0.05$), 果实呈圆形, 而其余 7 个品种的果形指数均在 0.8~0.9 之间, 果实呈扁圆形。果实的可食率和果肉、果核质量有直接关系, 是衡量余甘子果实品质好坏的重要指标。“丙甜”和“灵山 4 号”的可食率均高于 90%, 显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。出汁率是衡量果实是否适合加工制汁的重要指标之一。8 个品种果实的出汁率为 46.25%~63.34%, 其中“丙甜”、“平丹 1 号”和“灵山 4 号”的出汁率均高于 60%, 与其他品种的出汁率有显著性差异 ($P < 0.05$), “直生苗”的出汁率最低。

2.2 不同品种余甘子果实 pH 值和可溶性固形物 (TSS) 含量

果蔬中的 TSS 由游离或组合形式的还原糖和非还原糖组成, 是影响消费者对果蔬可接受度的主要因素之一^[31], 而 pH 值的大小会直接影响果蔬的滋味和口感^[32]。由图 1a 可知, “赤皮”的 pH 值最高, 为 3.25, 显著高于其他余甘子品种 ($P < 0.05$), “灵山 4 号”的 pH 值最低, 为 2.75。周凯强等^[33]研究发现余甘子果实呈高酸性, 富含各种有机酸, 与本文的研究相一致。由图 1b 可知, “灵山 4 号”的 TSS 含量最高, 为 11.13 °Brix, 显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 而“丙甜”的含量最低, 为 7.50 °Brix。张福平等^[34]研究发现新鲜采摘的余甘子果实的 TSS

含量在 8%~12% 之间, 与本文的研究相符合。pH 值的大小和 TSS 的含量代表余甘子果实的酸度和糖度, pH 值越高表明余甘子果实的酸度越低, TSS 越高表明余甘子果实的糖度越高, 低酸和高糖更容易为消费者所接受, 更适合加工成产品。

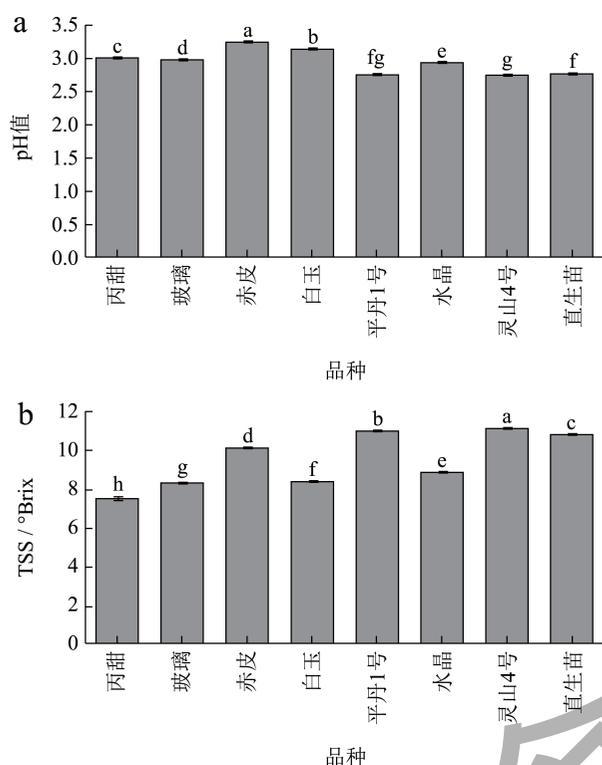


图 1 8 个品种余甘子果实 pH 值 (a) 和 TSS 含量 (b)

Fig.1 pH (a) and TSS content (b) of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

注: 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。图 2~5 同。

2.3 不同品种余甘子果实总糖、总酸含量和糖酸比

总糖、总酸和糖酸比反映了果实的甜度和酸度, 高糖酸比赋予果实更佳的口感, 更受消费者的喜爱。由图 2a 可知, 8 个品种余甘子总糖含量存在显著的差异。“赤皮”总糖的含量最高, 为 43.36 mg/g, 显著高于其他余甘子品种 ($P < 0.05$), “直生苗”的含量最低, 为 13.09 mg/g, “赤皮”总糖的含量是“直生苗”的 3.31 倍。由图 2b 可知, 8 个品种总酸含量存在显著的差异, 总酸含量与总糖含量呈负相关。“直生苗”总酸的含量明显高于其他余甘子品种 ($P < 0.05$), 含量为 27.83 mg/g, “白玉”总酸的含量最低, 为 12.63 mg/g。由图 2c 可知, “赤皮”的糖酸比最高, 显著高于其他余甘子品种 ($P < 0.05$), “直生苗”的糖酸比最低, 糖酸比与总糖含量呈正相关。陈洪彬等^[35]研究发现不同采收期内余甘子总

糖的含量为 2.80~3.70%, 总酸的含量为 1.58~1.93%, 与本研究总糖和总酸的含量较接近。王建超等^[36]研究发现 16 份余甘子果实总糖的含量为 3.93~6.73 g/100 g, 高于本研究总糖含量, 这可能是品种和生长环境的差异或总糖提取方法的不同造成的, 总酸的含量为 11.16~18.27 g/kg, 与本研究的结果相似。

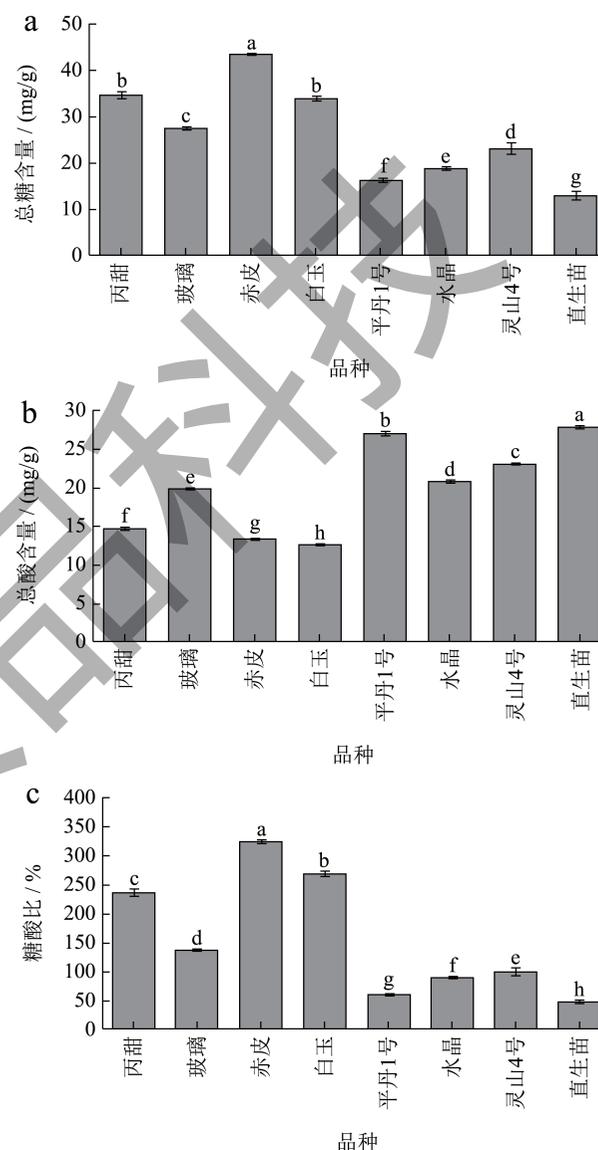


图 2 8 个品种余甘子果实总糖 (a)、总酸 (b) 的含量和糖酸比 (c)

Fig.2 Contents of total sugar (a) and total acid (b) and ratio of sugar to acid (c) of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

2.4 不同品种余甘子果实总酚和总黄酮含量

由图 3a 和 3b 可知, 8 个品种余甘子之间总酚和总黄酮的含量都存在显著差异。总体上看, 广西 4 个品种余甘子总酚和总黄酮的含量普遍高于广东的 4 个品种, 这可能与品种遗传特征、地区气候差异和土壤类型密切相关。“直生苗”总酚

的含量最高, 为 12.88 mg/g, “丙甜”总酚的含量最低, 为 4.96 mg/g。总酚含量低于文献报道余甘子果实总酚的含量 (10.76~27.78 mg/g)^[37], 相关研究证明, 不同产地、不同提取方法的余甘子总酚含量有所差异^[38]。“平丹 1 号”总黄酮的含量最高, 为 5.61 mg/g, “丙甜”总黄酮的含量最低, 为 2.83 mg/g。

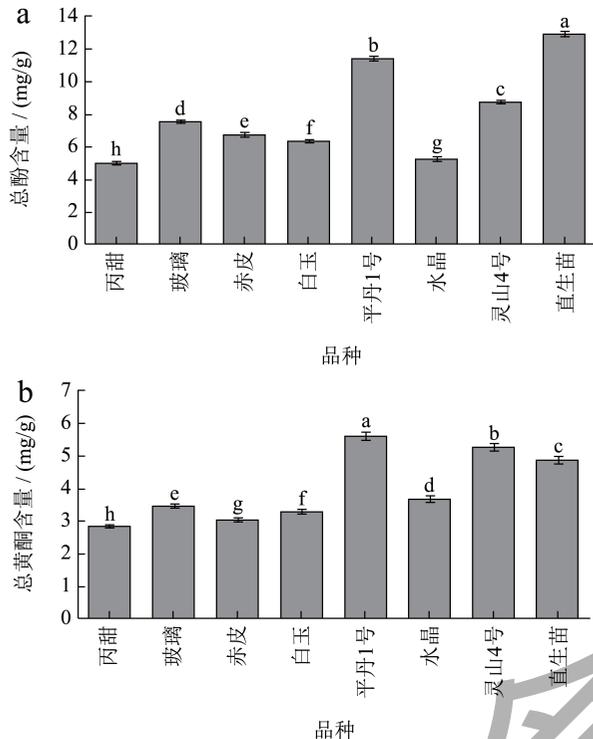


图 3 8 个品种余甘子果实总酚 (a) 和总黄酮 (b) 含量
Fig.3 Contents of total phenols (a) and flavonoids (b) of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

2.5 不同品种余甘子果实抗坏血酸及有机酸含量

有机酸是果实代谢的主要产物之一, 它的种类和含量与余甘子果实加工特性及化学成分有着密切关系, 有机酸会直接影响余甘子产品的口感平衡、化学稳定性和 pH 值大小^[39], 对余甘子果实品质重要的影响。由表 3 可知, “平丹 1 号”抗坏血酸的含量最高, 为 72.78 mg/100 g, 显著高于其他 7 个品种 ($P < 0.05$), “白玉”的含量最低, 为 17.41 mg/100 g, 两者相差 3 倍以上。赖志勇等^[40]研究发现广东普宁市 4 个品种余甘子抗坏血酸的含量为 8.11~24.60 mg/100 g, 低于本研究中抗坏血酸的含量。8 个品种余甘子果实中共检测出 6 种有机酸, 含量从高到低依次为乳酸、苹果酸、柠檬酸、酒石酸、草酸、富马酸。乳酸是含量最高的有机酸, 平均含量为 922.76 mg/100 g, 变异系数为 28.89%。富马酸是含量最低的有机酸, 平均含量只有 3.04 mg/100 g, 其中“白玉”的含量最高, “直生苗”的含量最低。“直生苗”乳酸、苹果酸和草酸的含量均最高, 分别为 1 325.55、1 092.03、20.71 mg/100 g, 显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 乳酸、苹果酸和草酸的含量最低的分别为“赤皮”“白玉”和“灵山 4 号”。“玻璃”酒石酸和柠檬酸的含量均最高, 分别为 68.14、95.97 mg/100 g, 显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。总有机酸平均含量为 1 821.75 mg/100 g, 高于文献^[36]报道的余甘子总有机酸平均含量 (424.04 mg/100 g)。

表 3 8 个品种余甘子果实抗坏血酸及有机酸含量

Table 3 Contents of ascorbic acid and organic acid in the fruits of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

品种	含量/(mg/100 g)						
	抗坏血酸	草酸	酒石酸	苹果酸	乳酸	柠檬酸	富马酸
丙甜	35.80 ± 4.51 ^d	16.77 ± 0.75 ^b	64.25 ± 2.88 ^{ab}	514.28 ± 12.38 ^f	666.74 ± 24.91 ^c	52.96 ± 2.70 ^c	3.94 ± 0.13 ^b
玻璃	21.71 ± 0.17 ^f	13.98 ± 1.13 ^c	68.14 ± 4.50 ^a	691.83 ± 22.71 ^d	904.10 ± 28.79 ^d	95.97 ± 8.64 ^a	3.11 ± 0.25 ^c
赤皮	28.11 ± 2.09 ^e	17.31 ± 0.39 ^b	56.64 ± 5.45 ^{cd}	552.13 ± 21.36 ^e	604.47 ± 62.08 ^e	63.35 ± 7.47 ^{dc}	4.01 ± 0.06 ^b
白玉	17.41 ± 0.67 ^f	17.40 ± 0.28 ^b	52.65 ± 1.07 ^d	380.80 ± 13.79 ^g	657.91 ± 45.41 ^e	79.71 ± 2.37 ^{bc}	4.80 ± 0.24 ^a
平丹 1 号	72.78 ± 3.82 ^a	13.10 ± 0.46 ^{cd}	60.37 ± 4.17 ^{bc}	955.19 ± 25.10 ^b	1 183.63 ± 43.01 ^b	68.74 ± 10.45 ^{cd}	1.29 ± 0.06 ^d
水晶	44.96 ± 5.09 ^c	16.76 ± 1.52 ^b	56.29 ± 4.75 ^{cd}	780.32 ± 22.37 ^c	945.16 ± 19.69 ^d	54.41 ± 5.51 ^e	4.44 ± 0.42 ^a
灵山 4 号	61.43 ± 3.71 ^b	11.72 ± 0.89 ^d	35.63 ± 4.54 ^e	714.94 ± 25.87 ^d	1 094.48 ± 37.79 ^c	89.09 ± 7.31 ^{ab}	1.49 ± 0.30 ^d
直生苗	30.74 ± 1.66 ^{dc}	20.71 ± 0.67 ^a	56.21 ± 1.91 ^{cd}	1 092.03 ± 24.90 ^a	1 325.55 ± 47.20 ^a	90.97 ± 0.51 ^{ab}	1.27 ± 0.16 ^d
平均值	39.12	15.97	56.27	710.19	922.76	74.40	3.04
变异系数/%	49.66	18.00	17.26	32.93	28.89	22.70	48.75

2.6 不同品种余甘子果实糖组分及含量

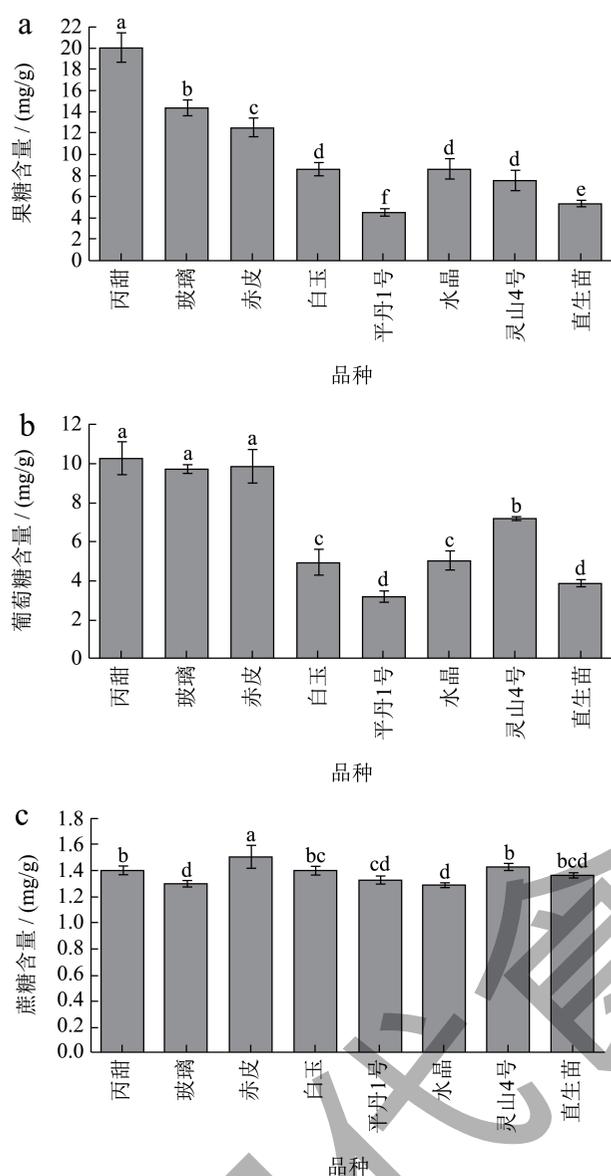


图4 8个品种余甘子果实的果糖(a)、葡萄糖(b)和蔗糖(c)含量

Fig.4 Contents of fructose (a), glucose (b) and sucrose (c) of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

糖是余甘子果实中重要的风味成分和营养成分,尤其果糖是一种活性低聚糖^[41],因此准确测定余甘子果实中糖的组成对于研究余甘子的风味特征和加工特性很有意义。从图4可以看出,8个品种余甘子果实中,果糖含量最高,其次是葡萄糖,蔗糖含量最低。“丙甜”果糖和葡萄糖的含量均最高,分别为20.00、10.26 mg/g,果糖含量显著高于其他品种($P < 0.05$),葡萄糖含量与“玻璃”和“赤皮”没有显著性差异($P > 0.05$)。“平丹1号”果糖和葡萄

糖的含量均最低,分别为4.50、3.14 mg/g。“丙甜”果糖和葡萄糖的含量分别是“平丹1号”的4.44倍、3.27倍。“赤皮”蔗糖的含量最高,为1.50 mg/g,显著高于其他品种($P < 0.05$)。广东4个余甘子品种果糖和葡萄糖的含量明显高于广西的4个品种,表明广东余甘子品种的风味及营养成分更佳,更适合加工成产品。

2.7 不同品种余甘子果实单体酚种类及含量

果实中酚类物质会直接影响果实的色泽、口感、硬度、风味以及贮藏加工特性,且与涩味、苦味、香味、甜味等风味密切相关^[42]。由表4可知,8个品种余甘子中共检测出6种单体酚,分别有没食子酸、绿原酸、柯里拉京、诃子鞣酸、鞣花酸和柚皮素。8个品种余甘子果实没食子酸的平均含量为208.97 $\mu\text{g/g}$,远高于其他单体酚的含量。柚皮素的含量最低,平均含量只有14.84 $\mu\text{g/g}$ 。“玻璃”没食子酸的含量最高,为332.74 $\mu\text{g/g}$,显著高于其他品种($P < 0.05$)。“丙甜”的含量最低。“直生苗”绿原酸、柯里拉京、诃子鞣酸、鞣花酸的含量均最高,分别为59.66、267.44、245.88、176.16 $\mu\text{g/g}$,显著高于其他品种($P < 0.05$)。“丙甜”柚皮素的含量最高,“灵山4号”的含量最低。李洁^[43]研究发现余甘子果实中含有7种单体酚,其中没食子酸、绿原酸、柯里拉京、诃子鞣酸和鞣花酸与本研究鉴定的相同,5种单体酚的含量与本研究的含量相近。

2.8 不同品种余甘子果实抗氧化能力

样品对DPPH和ABTS⁺自由基的清除能力反映其抗氧化能力,IC₅₀值越低,说明其抗氧化能力越强。8个品种余甘子果实对DPPH自由基的清除能力如图5a所示,“玻璃”和“直生苗”对DPPH自由基的清除能力最强,显著高于其他品种($P < 0.05$),其IC₅₀值分别为0.52、0.54 mg/mL,“平丹1号”和“灵山4号”次之,“白玉”的DPPH自由基清除能力最弱。由图5b可知,8个品种余甘子果实对DPPH自由基的清除能力存在显著差异,“直生苗”对ABTS⁺自由基的清除能力最强,显著高于其他品种($P < 0.05$),其IC₅₀值为0.47 mg/mL,其次是“平丹1号”和“灵山4号”,“丙甜”的ABTS⁺自由基清除能力最弱。通过分析8个品种余甘子果实的抗氧化能力与其总酚含量的关系,发现余甘子果实的抗氧化能力与总酚含量成正相关^[44]。

表 4 8 个品种余甘子果实单体酚种类及含量

Table 4 Types and contents of monomer phenols in the fruits of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

品种	单体酚含量/($\mu\text{g/g}$)					
	没食子酸	绿原酸	柯里拉京	诃子鞣酸	鞣花酸	柚皮素
丙甜	113.26 \pm 4.47 ^d	59.16 \pm 3.27 ^a	73.92 \pm 4.25 ^f	52.38 \pm 5.29 ^e	28.98 \pm 1.72 ^f	25.02 \pm 0.76 ^a
玻璃	332.74 \pm 12.74 ^a	47.77 \pm 2.37 ^b	134.66 \pm 1.44 ^b	113.90 \pm 7.68 ^b	145.91 \pm 4.79 ^b	9.49 \pm 0.32 ^c
赤皮	252.20 \pm 9.29 ^b	48.99 \pm 4.79 ^b	84.18 \pm 7.36 ^c	87.47 \pm 3.44 ^{cd}	120.37 \pm 7.41 ^{de}	14.41 \pm 0.66 ^c
白玉	116.80 \pm 8.44 ^d	48.84 \pm 3.50 ^b	90.35 \pm 4.59 ^{de}	86.28 \pm 2.30 ^d	49.93 \pm 5.79 ^f	12.66 \pm 0.57 ^d
平丹 1 号	123.88 \pm 18.32 ^d	49.98 \pm 5.56 ^b	95.28 \pm 4.72 ^d	109.91 \pm 6.49 ^b	143.51 \pm 8.30 ^{bc}	15.40 \pm 0.50 ^c
水晶	321.94 \pm 19.24 ^a	51.18 \pm 5.93 ^b	66.93 \pm 6.02 ^f	56.20 \pm 4.22 ^e	108.39 \pm 11.42 ^c	15.30 \pm 0.86 ^c
灵山 4 号	209.06 \pm 2.32 ^c	55.78 \pm 2.12 ^{ab}	120.94 \pm 3.12 ^c	95.67 \pm 3.52 ^c	132.30 \pm 8.35 ^{cd}	8.83 \pm 0.27 ^c
直生苗	201.89 \pm 8.83 ^c	59.66 \pm 5.26 ^a	267.44 \pm 2.21 ^a	245.88 \pm 2.97 ^a	176.16 \pm 4.36 ^a	17.61 \pm 0.48 ^b
平均值	208.97	52.67	116.71	105.96	113.19	14.84
变异系数/%	42.38	9.14	55.70	57.34	44.16	34.31

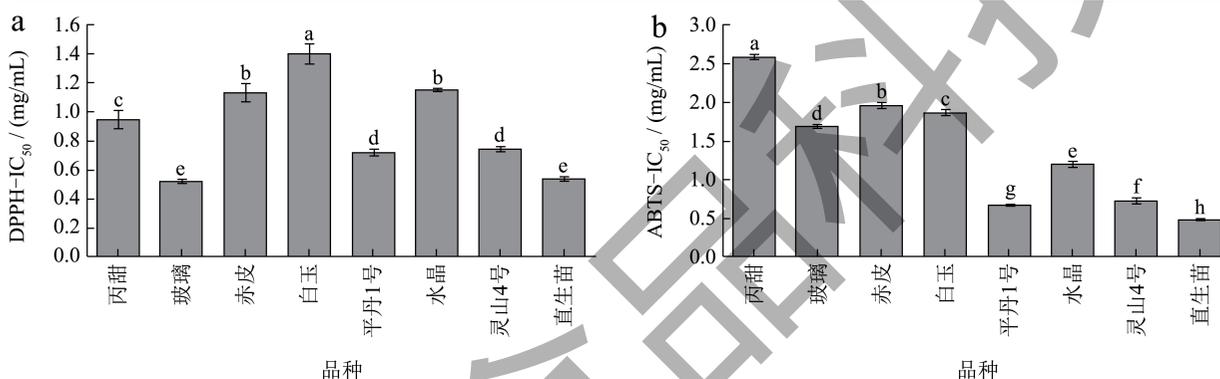


图 5 8 个品种余甘子果实对 DPPH (a) 和 ABTS⁺ (b) 自由基的清除能力

Fig.5 DPPH (a) and ABTS⁺ (b) free radical scavenging ability of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

表 5 8 个品种余甘子果实品质指标主成分分析的特征值及方差贡献率

Table 5 Characteristic values and variance contribution rates of principal component analysis of fruit quality indexes of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

主成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
PC1	14.12	45.55	45.55	14.12	45.55	45.55
PC2	6.30	20.32	65.87	6.30	20.32	65.87
PC3	3.09	9.97	75.84	3.09	9.97	75.84
PC4	2.71	8.75	84.59	2.71	8.75	84.59
PC5	2.13	6.86	91.45	2.13	6.86	91.45
PC6	1.71	5.51	96.95	1.71	5.51	96.95
PC7	0.95	3.05	100.00			

2.9 不同品种余甘子果实营养成分及理化性质综合评价

2.9.1 不同品种余甘子果实品质指标主成分提取

采用 SPSS 22.0 对标准化处理后的数据进行主成分分析, 结果见表 5。根据特征值大于 1.0、累积方差贡献率大于 80% 的原则确定主成分的个数^[45]。由表 5 可知, 主成分 1、2、3、4、5、6 的特征值

均大于 1, 主成分 6 的特征值为 1.71, 其累积方差贡献率为 96.95%。因此, 选取前 6 个主成分作为不同品种余甘子果实品质的综合评价指标。

表 6 为不同品种余甘子果实品质指标的主成分载荷矩阵, 数据表示的是所提取的各主成分对原始变量的影响程度。由表 6 可知, PC1 在总酸、总酚、苹果酸、乳酸上的载荷值均较大, 其权重系数分别为 0.92、0.916、0.923、0.949, 主要包含了酸度、活

性物质和有机酸方面的信息;PC2 在单果质量、纵径、横径、果肉质量上的载荷值均较大,其权重系数分别为 0.733、0.860、0.715、0.777,主要包含了果实外形特征和有机酸等方面的信息;PC3 在酒石酸、柠檬酸、柯里拉京上的载荷值均较大,其权重系数分别为 0.535、0.524、0.549,主要包含了有机酸、酚类物

质和抗氧化等方面的信息。PC4 在绿原酸、柚皮素上的载荷值均较大。PC5 在酒石酸、绿原酸、蔗糖上的载荷值均较大。PC6 在可食率、没食子酸、葡萄糖上的载荷值均较大。在上述分析结果表明,前 6 个主成分综合反映了余甘子果实大部分品质指标的信息。

表 6 8 个品种余甘子果实品质指标的主成分载荷矩阵

Table 6 Principal component loading matrix of fruit quality indexes of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

品质指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
单果质量	-0.571	0.733	0.274	-0.013	0.13	-0.21
纵径	-0.479	0.86	0.13	-0.038	0.022	-0.112
横径	-0.636	0.715	0.166	-0.051	0.094	-0.214
果形指数	0.863	-0.193	-0.093	0.117	-0.234	0.373
果肉质量	-0.533	0.777	0.292	0.012	0.113	-0.111
可食率	-0.274	0.711	0.09	0.321	-0.056	0.525
出汁率	-0.473	0.724	-0.446	0.124	-0.13	0.082
pH 值	-0.781	-0.502	0.023	-0.297	-0.06	0.089
TSS	0.803	0.075	-0.335	-0.241	0.272	0.249
总糖	-0.84	-0.255	0.001	-0.236	0.299	0.186
总酸	0.92	0.323	0.05	0.174	-0.123	0
总酚	0.916	0.023	0.121	-0.04	0.209	-0.157
总黄酮	0.855	0.4	-0.272	-0.022	0.151	-0.101
抗坏血酸	0.443	0.584	-0.589	0.278	0.04	0.121
草酸	0.087	-0.927	0.256	0.221	-0.094	-0.048
酒石酸	-0.279	-0.089	0.535	0.334	-0.47	-0.184
苹果酸	0.923	0.101	0.118	0.231	-0.212	0.11
乳酸	0.949	0.259	0.067	0.122	-0.058	-0.049
柠檬酸	0.454	0.212	0.524	-0.57	0.277	-0.213
富马酸	-0.834	-0.384	-0.083	-0.084	-0.332	-0.041
没食子酸	0.037	0.116	0.346	-0.375	-0.592	0.585
绿原酸	0.321	-0.132	0.148	0.684	0.482	0.146
柯里拉京	0.754	-0.26	0.549	-0.023	0.217	-0.046
诃子鞣酸	0.806	-0.311	0.455	-0.063	0.173	-0.1
鞣花酸	0.82	0.143	0.24	-0.312	-0.153	0.297
柚皮素	-0.174	-0.369	0.02	0.898	0.07	-0.034
果糖	-0.81	0.054	0.417	0.328	0.116	0.215
葡萄糖	-0.707	0.139	0.412	-0.01	0.252	0.489
蔗糖	-0.286	-0.382	-0.214	-0.192	0.717	0.384
DPPH	-0.6	-0.471	-0.583	-0.136	-0.114	-0.143
ABTS	-0.947	-0.183	0.181	0.15	0.077	0.004

表 7 8个品种余甘子果实的主成分分析值与综合评价指数

Table 7 Principal component analysis and comprehensive evaluation index of 8 varieties of *Phyllanthus emblica* L.

余甘子品种	主成分分值						综合评价指数	排名
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		
丙甜	-2.177	0.039	0.064	0.282	0.074	-0.001	-1.720	7
玻璃	-0.717	0.549	0.329	-0.120	-0.071	-0.006	-0.037	4
赤皮	-1.080	-0.550	-0.059	-0.118	0.031	0.105	-1.670	6
白玉	-1.335	-0.436	-0.085	-0.139	0.027	-0.129	-2.097	8
平丹1号	1.497	0.464	-0.171	0.061	-0.031	-0.061	1.759	2
水晶	-0.072	-0.080	-0.138	0.056	-0.196	0.045	-0.385	5
灵山4号	0.821	0.641	-0.116	-0.085	0.132	0.052	1.446	3
直生苗	3.063	-0.627	0.176	0.064	0.034	-0.005	2.704	1

2.9.2 不同品种余甘子果实品质的综合评价

将各特征向量的标准化数据代入各主成分计算得分,并将PC1~PC6的方差贡献率作为权数,分别计算综合评分,结果如表7所示。PC1得分较高的是“直生苗”和“平丹1号”,表明总酸、总酚、苹果酸、乳酸含量可作为评价其品质的主要指标,其营养价值较高,适合用于活性成分的提取。PC2评分较高的是“灵山4号”、“玻璃”和“平丹1号”,表明单果质量、纵径、横径、果肉质量对其品质影响较大,加工特性较好,适合用于果汁加工;PC3评分较高的是“玻璃”和“直生苗”,表明酒石酸、柠檬酸、柯里拉京含量对其品质影响较大;PC4、PC5、PC6评分最高的分别是“丙甜”“灵山4号”“赤皮”。综合分析,“直生苗”评分最高,表明其综合品质优于其他品种。

3 结论

为了筛选出营养物质丰富、加工特性良好的余甘子品种,本文以两广地区8个品种的余甘子为研究对象,分析比较不同品种余甘子果实的外形特征、理化指标、糖组分、有机酸组成、单体酚组成和抗氧化活性的差异。通过对8个品种余甘子果实的31项指标进行综合得分排名,总得分由高到低依次为“直生苗”、“平丹1号”、“灵山4号”、“玻璃”、“水晶”、“赤皮”、“丙甜”和“白玉”。单果质量、可食率、出汁率是决定余甘子果实是否适合加工成果汁的重要因素,“丙甜”、“玻璃”和“灵山4号”的单果质量、纵径、横径、果肉质量明显高于其他品种,可食率和出汁率也较高,加工特性良好,适合加工成果汁。“直生苗”和“平丹1号”的总酚、总黄酮、抗坏血酸、有机酸等活性物质含量较高,营养价值丰富,适合用于活性物质的提取。“赤皮”和“白玉”

的糖酸比较高,酸涩味较淡,口感较好,容易为消费者所接受,适合用于鲜食。

参考文献

- [1] 曹波,何绍志,金文洁,等.余甘子的营养价值及加工利用现状研究[J].现代食品,2019,4:1-4.
- [2] 张雯雯,李坤,徐涓,等.新品种余甘子盈玉和糯种的果实性状及果实品质的差异性分析[J].食品科学,2019,40(2):180-185.
- [3] LIU XIONGFANG, MA YONGPENG, WAN YOUMING, et al. Genetic diversity of *Phyllanthus emblica* from two different climate type areas [J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 580812.
- [4] 宋贺,何维,刘祚祚,等.基于主成分分析综合评价“热农1号”余甘子果实品质[J].食品工业科技,2023,44(8):318-325.
- [5] 杨冰鑫,刘晓丽.余甘子总多酚的提取及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2019,40(16):151-155,162.
- [6] 杨婉媛,陈晓维,刘杜娟,等.余甘子的生物活性及加工研究进展[J].广东农业科学,2022,49(7):120-130.
- [7] 匡石滋,赖多,肖维强,等.余甘子新品种‘白玉油甘’的选育[J].果树学报,2020,37(1):148-151.
- [8] LI YONGYU, CHEN JIANYAN, CAO LILI, et al. Characterization of a novel polysaccharide isolated from *Phyllanthus emblica* L. and analysis of its antioxidant activities [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(7): 2758-2764.
- [9] SRIWATCHARAKUL S. Evaluation of bioactivities of *Phyllanthus emblica* seed [J]. Energy Reports, 2020, 6(1): 442-447.
- [10] MARYAM G, LIUZHIWEI, IAHTISHAMULHAQ, et al. Functional and nutraceutical significance of amla (*Phyllanthus emblica* L.): A review [J]. Antioxidants, 2022, 11(5): 11050616.
- [11] 杨晓琼,何璐,袁建民,等.余甘子中有效成分与矿质元素含量的相关性研究[J].江西农业学报,2021,33(7):38-47.

- [12] 兰杨,姜红,张仕瑾,等.余甘子化学成分、药理活性及质量控制提升的研究进展[J].中国药业,2020,29(7):156-159.
- [13] KAPOOR M P, SUZUKI K, DEREK T, et al. Clinical evaluation of *emblica officinalis* gatertn (amla) in healthy human subjects: Health benefits and safety results from a randomized, double-blind, crossover placebo-controlled study [J]. Contemporary Clinical Trials Communications, 2020, 17: 100499.
- [14] LI WEI, ZHU HUAWEI, CHEN YUNJIAO, et al. Bioactivity-guided isolation of anti-inflammatory components from *Phyllanthus emblica* [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(6): 2670-2679.
- [15] GAURAV K, VENKATESHWAR M, GOPAL P, et al. Molecular mechanisms of cancer prevention by gooseberry (*Phyllanthus emblica*) [J]. Nutrition and Cancer, 2022, 74(7): 2291-2302.
- [16] 甘瑾,何钊,张弘,等.余甘子果渣多酚提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2019,40(12):171-177.
- [17] 李永,段琼辉,张龙,等.余甘子药理活性研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(24):14622-14623,14631.
- [18] LI XIAOQING, LIN YILIN, JIANG YIQI, et al. Aqueous extract of *Phyllanthus emblica* L. alleviates functional dyspepsia through regulating gastrointestinal hormones and gut microbiome *in vivo* [J]. Foods, 2022, 11(10): 11101491.
- [19] WU MIN, CAI JIANHANG, FANG ZHENGFENG, et al. The composition and anti-aging activities of polyphenol extract from *Phyllanthus emblica* L. fruit [J]. Nutrients, 2022, 14(4): 14040857.
- [20] GB 12456-2021,食品安全国家标准食品中总酸的测定[S].
- [21] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Anal Chem, 2002, 28(3): 350-356.
- [22] YU YUANSAN, XIAO GENGSHEG, XU YUJUAN, et al. Effects of dimethyl dicarbonate (DMDC) on the fermentation of litchi juice by *Lactobacillus casei* as an alternative of heat treatment [J]. Journal of Food Science, 2014, 79(5): 947-954.
- [23] 林羨,李博哲,徐玉娟,等.二甲基二碳酸盐对百香果汁的杀菌效果及品质影响[J].保鲜与加工,2022,22(9):38-44.
- [24] GB 5009.157-2016,食品安全国家标准食品中有机酸的测定[S].
- [25] 曹艳萍,代宏哲,曹炜,等.Folin-Ciocalileu比色法测定红枣总酚[J].安徽农业科学,2008,4:1299,1302.
- [26] 莫开菊,柳圣,程超.生姜黄酮的抗氧化活性研究[J].食品科学,2006,9:110-115.
- [27] 李汀,邹波,吴继军,等.蜜柚果肉膳食多酚的结构鉴定及抗氧化机理[J].食品科学,2021,42(19):202-210.
- [28] SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA A, KUCHARSKA A Z, WIŃSKA K, et al. Composition and antioxidant activity of red fruit liqueurs [J]. Food Chemistry, 2014, 157: 533-539.
- [29] 余元善,郑自奋,张桐,等.贡柑籽油的提取及理化性质研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(22):7431-7437.
- [30] 谢燕青,赵志晖,陆文科,等.脆蜜金柑关键指标调查与分析[J].现代园艺,2023,46(7):9-10,12.
- [31] VILAR G M, BAÚ B C C, LUÍSA D A F, et al. Influence of high isostatic pressure and thermal pasteurization on chemical composition, color, antioxidant properties and sensory evaluation of jaboticaba juice [J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 139: 110548.
- [32] 郑楚瑶,张司南,吴元斌,等.不同非热加工技术对百香果果浆杀菌效果及品质变化的比较[J].现代食品科技,2023,39(1):205-212.
- [33] 周凯强,李志洪,覃书漫,等.余甘子采后软腐病拮抗菌的筛选、鉴定及其防效[J].微生物学通报,2020,47(2):459-468.
- [34] 张福平,黄俊华,林妙如,等.5个品种余甘子果实采后贮藏期间营养品质的变化[J].贵州农业科学,2015,43(11):157-159,164.
- [35] 陈洪彬,孙旭,蔡英卿,等.采收期对余甘子果实品质和耐贮性的影响[J].中国南方果树,2014,43(5):92-94,97.
- [36] 王建超,何银莺,刘鑫铭,等.我国16份余甘子种质资源果实的综合品质评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(3):125-135.
- [37] 赵琼玲,韩学琴,沙毓沧,等.21份余甘子果实品质性状的分析 and 评价[J].中国热带农业,2021,6:27-32.
- [38] 李晓强,胡坤,龚玉石,等.不同产地、不同提取方法对余甘子多酚含量及抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2023,44(2):317-323.
- [39] 牛生洋,刘崇怀,刘强,等.葡萄种质果实有机酸组分及其含量特性[J].食品科学,2022,43(12):228-234.
- [40] 赖志勇,戴宏芬,肖维强,等.4种余甘子功能成分的分析[J].华中农业大学学报,2009,28(1):97-101.
- [41] 张英春,董爱军,杨鑫,等.高效液相色谱法测定蓝莓果浆中糖的组成和含量[J].食品科学,2009,30(6):229-231.
- [42] 涂美艳,廖明安,陈栋,等.猕猴桃果实发育期主要生理指标变化规律及与果肉颜色的相关性[J].西南农业学报,2022,35(9):2144-2153.
- [43] 李洁.余甘子饮料加工关键单元操作工艺优化及对抗氧化活性的影响[D].雅安:四川农业大学,2020.
- [44] 李楠,杨欣,孙元琳,等.20种花茶黄酮、总酚及抗氧化活性分析[J].食品研究与开发,2021,42(18):34-39.
- [45] 廖钦洪,张文林,兰建彬,等.重庆市不同区县‘红阳’猕猴桃果实品质综合评价[J].经济林研究,2021,39(1):17-23.