食品工业科技 半月刊
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF FOOD INDUSTRY
权威 · 核心 · 领先 · 实用 · 全面

美国《化学文摘》CA
日本科学技术振兴机构数据库JST
北大核心期刊
中国生物医学文献系统SinoMed收录期刊
中国精品科技期刊
英国《食品科技文摘》FSTA
中国科技核心期刊CSTPCD
RCCSE中国核心学术期刊
中国农林核心期刊A

四川不同品种桑葚品质比较

李　靖，李晓凤，刘乙甫，李　缘，王晓琼，毕秀芳，李明元

Comparison of the Quality of Different Mulberry Varieties Planted in Sichuan

LI Jing, LI Xiaofeng, LIU Yifu, LI Yuan, WANG Xiaoqiong, BI Xiufang, and LI Mingyuan

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070196

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

湛江地区不同桑葚品种的品质比较
Quality Comparison of Different Mulberry Varieties in Zhanjiang Region
食品工业科技. 2020, 41(12): 264-268,290

基于主成分分析和聚类分析的不同品种燕麦品质评价
Quality Evaluation of Different Varieties of Oat Based on Principal Components Analysis and Cluster Analysis
食品工业科技. 2020, 41(13): 85-91

基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性
Comprehensive Evaluation of Quality Characteristics of Parboiled Rice Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis
食品工业科技. 2021, 42(7): 258-267

不同地区淘汰母牦牛肉营养品质的比较分析
Comparative Analysis on Nutrient Quality of Female Yak Eliminated from Different Areas
食品工业科技. 2020, 41(9): 232-237

基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价
Fresh Food Quality Evaluation of Kiwifruit Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis
食品工业科技. 2021, 42(7): 1-8

不同品种树莓果实品质综合分析
Comprehensive Analysis of Fruit Quality of Different Raspberry Varieties
食品工业科技. 2020, 41(7): 243-248,254

关注微信公众号，获得更多资讯信息

李靖, 李晓凤, 刘乙甫, 等. 四川不同品种桑葚品质比较 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 56−63. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070196

LI Jing, LI Xiaofeng, LIU Yifu, et al. Comparison of the Quality of Different Mulberry Varieties Planted in Sichuan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 56−63. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070196

·研究与探讨·

四川不同品种桑葚品质比较

李　靖, 李晓凤, 刘乙甫, 李　缘, 王晓琼, 毕秀芳, 李明元*

（西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039）

摘　要: 本研究对四川地区五个不同品种桑葚（红果 2 号、嘉陵 30 号、云桑 2 号、蜀椹 1 号、无核大十）的基本品质及营养成分进行了比较，通过主成分分析（PCA）和系统聚类分析（CA）进行综合评价。结果表明，四川不同桑葚品种各个品质指标之间大多存在显著性差异（P<0.05），主成分分析得分综合排名为云桑 2 号>蜀椹 1 号>无核大十>嘉陵 30 号>红果 2 号，可根据聚类分析将其分为 3 类。第 II 类的云桑 2 号 V_C（0.77 mg/g）、酚类物质（4.36 mg/g）、花色苷含量最高（1.05 mg/g），主成分评分最高、品质最好，最适宜在四川地区推广栽种、进行深加工，提高桑葚综合利用效率，可作为保健品开发的备选果桑品种，适用于生产桑葚果酱、果膏、果干等；第 I 类的无核大十、嘉陵 30 号与红果 2 号由于其含水量高（分别为 86.11%、88.18%、86.49%）、出汁率高（分别为 68.51%、64.80%、65.51%），适合用于果汁产品生产，其中的无核大十亚类由于总糖（11.64%）、还原糖含量高（8.77%），总酸含量相对较低（6.70%）的特点也适合果酒生产或作为鲜食品种；第 III 类的蜀椹 1 号果实小（1.60 g）、pH 低（4.01）、糖含量高（13.19%）但出汁率低（55.73%），适宜加工为果干、果酱产品。

关键词: 四川, 桑葚, 品质, 主成分分析, 聚类分析

中图分类号: TS255.1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2022)10−0056−08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070196

本文网刊:

Comparison of the Quality of Different Mulberry Varieties Planted in Sichuan

LI Jing, LI Xiaofeng, LIU Yifu, LI Yuan, WANG Xiaoqiong, BI Xiufang, LI Mingyuan*

（College of Food Science and Technology, Xihua Univercity, Chengdu 610039, China）

Abstract: In the present study, the basic qualities and nutritional components of five different varieties of mulberries (Hongguo No.2, Jialing No.30, Yunsang No.2, Shushen No.1 and Wuhedashi) in Sichuan were compared and evaluated by principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). The results showed that there were significant differences among the quality indicators of five mulberry varieties (P<0.05). The ranking of the comprehensive scores of principal component analysis was Yunsang No.2> Shushen No.1> Wuhedashi> Jialing No.30> Hongguo No.2. According to cluster analysis, the mulberry varieties could be divided into three categories. Among them, Yunsang No.2 of class Ⅱ had the highest content of V_C (0.77 mg/g), phenols (4.36 mg/g) and anthocyanins (1.05 mg/g). With the highest principal component score and the best quality, Yunsang No.2 was the most suitable for promoting planting and deep processing in Sichuan area to improve the comprehensive utilization efficiency of mulberry. It could be used as an alternative variety for health product development, and was suitable for the production of mulberry jam, fruit paste and dried fruit. Class Ⅰ included Wuhedashi, Jialing No.30 and Hongguo No.2 and was suitable for the production of fruit juice due to high water content (86.11%, 88.18% and 86.49%, respectively) and high juice yield (68.51%, 64.80% and 65.51%, respectively). Wuhedashi subclass was also suitable for for the production of fruit wine or as a freshly consumable crops due to its high content of total sugar (11.64%) and reducing sugar (8.77%) and relatively low content of total acid (6.70%). Shushen No.1 of class Ⅲ was suitable for processing as dried fruit and jam product with small fruit (1.60 g), low pH value (4.01), high sugar content (13.19%) and low juice yield (55.73%).

收稿日期: 2021−07−19

基金项目: 四川省科技计划项目（2018NZ0008）; 四川省科技厅重点研发项目（2020YFN0067）; 成都市科技局技术创新研发项目（2019-YF05-00068-SN）。

作者简介: 李靖（1997−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工、非热加工技术研究, E-mail: 905404090@qq.com。

*** 通信作者:** 李明元（1965−）, 男, 硕士, 教授, 研究方向: 食品质量与安全、保健、食品开发利用, E-mail: limingyuan519@ qq.com。

Key words: Sichuan; mulberry; qualities; principal component analysis; clustering analysis

桑葚（Mulberry）为桑科（Moraceae）落叶乔木桑树（*Morus alba* Linn.）的聚花果[1]，有“中华果王”之美誉[2]，果实酸甜可口且低热量，营养价值极高，富含维生素、矿物质、酚类物质、花色苷、有机酸等人体所需的营养物质，具有良好的抗氧化、抗微生物、抗高血糖、抗高脂血症、抗炎、抗癌作用[3]。因此，桑葚具备很高的开发和利用价值，可将桑葚加工成桑葚酒、桑葚醋、桑葚果汁、桑葚果脯、桑葚果酱、桑葚果干、桑葚果粉等产品，其提取物也可用于生产保健食品与膳食补充剂[4]。

相关研究表明果蔬本身的理化性质会对其鲜食质量和加工产品的品质造成影响，水果的大小、颜色、可溶性固形物含量和总酸含量对消费者的选择有直接影响，消费者们通常更倾向于购买果实饱满、色泽光亮的水果[5]；而汁液足、出汁易、含糖量高、糖酸适宜、果味浓郁的品种更适宜生产果汁与果酒[6−7]。目前国内关于桑葚品质对加工方式影响已有部分研究，李长城等[8]针对采用模糊隶属函数法针对吐鲁番地区桑葚品种进行研究，选出 4 种优良品种；乔健等[9]采用主成分分析法（principal component analysis, PCA）和聚类分析（cluster analysis, CA）针对湛江地区桑葚资源进行研究，认为总黄酮、总酚、矢车菊素等含量可以作为桑葚的营养评价指标。然而，不同地区的“光、水、气、热、肥”等环境因素会对果蔬的生长及其次生代谢产物的合成与积累有重要影响[10]，因此针对不同地区的桑葚品种评价十分重要，本研究对四川省主要栽种的五个桑葚品种（红果 2 号、嘉陵 30 号、云桑 2 号、蜀椹 1 号、无核大十）果实的基本品质和营养品质进行了比较，分析了各品质指标间的相关性，并对主要品质指标进行了主成分分析和系统聚类分析，对 5 个桑葚品种的不同利用性进行了综合评价，并根据评价结果提供其加工生产的方向，同时为进一步完善桑葚品质评价体系、桑葚的加工和开发利用提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

云桑 2 号、无核大十、蜀椹 1 号、嘉陵 30 号、红果 2 号（每种 7.5 kg）　购买于四川省资阳市乐至县；氢氧化钠、碳酸氢钠、碳酸钠、亚硝酸钠、氯化铝、氯化钾、乙酸钠、硫酸铜、硫酸钾、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠　分析纯，天津致远化学试剂有限公司；草酸、PVPP、无水乙醚、硫酸、盐酸、邻苯二酚、愈创木酚　分析纯，成都科龙化工试剂厂；福林酚试剂（1 mol/L）、2,6-二氯靛酚钠盐（高纯≥97%）、抗坏血酸标准品（高纯≥97%）、没食子酸标品（高纯≥97%）　上海源叶生物科技有限公司。

JYL-C93T 榨汁机　济南九阳股份有限公司；UV-2008 紫外分光光度计　上海舜宇恒平科学仪器有限公司；PHS-320 酸度计　成都世纪方舟科技有限公司；WF32-16 mm 色差仪　深圳市威福光电科技有限公司；手持式糖度计　日本爱拓公司；5810R 台式冷冻离心机　艾本德 Eppendorf 公司；BSA224S-CW 万分之一天平　赛多利斯仪器有限公司；BCD-649WE 冰箱　青岛海尔股份有限公司；BPG-9240A 精密鼓风干燥箱　上海一恒科技有限公司；TD-5M 低速离心机　四川蜀科仪器有限公司；SOX406 全自动脂肪测定仪　山东海能科技有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　样品的处理　所购买桑葚果实均为无病害、无腐败变质的 8~9 成熟鲜果，按品种采收分装运回实验室，各取 2.5 kg 置于 4 ℃ 冷藏保存，一周内使用，其余放置于超低温冰箱−70 ℃ 下冷冻保存等待测定。

1.2.2　颜色的测定　将 25 g 的桑葚榨汁，得到的浆液在在黑暗条件下使用色差仪进行测定。其中 L^*代表明暗度，L^*大表示桑葚浆液颜色偏亮，L^*小表示浆液颜色偏暗；a^*代表红绿色，a^*大表示偏红，a^*小表示偏绿；b^*代表黄蓝色，b^*大表示偏黄，b^*小表示偏蓝。

1.2.3　理化指标测定

1.2.3.1　单果质量　采取直接称量法，随机抽取桑葚鲜果 30 粒，电子天平称取重量（精确至 0.01 g），计算平均质量；重复 6 次。

1.2.3.2　pH　称取新鲜桑葚 50 g 洗净晾干，榨汁机破碎打浆，量取 20 mL 桑葚汁置于烧杯中，pH 计校正后测定样品 pH。

1.2.3.3　出汁率　将 200 g 新鲜桑葚果完全破碎后，4000 r/min 离心 10 min 得到桑果浆液。出汁率按如下公式计算：

$$出汁率(\%)=\frac{桑果浆液质量}{桑果质量}\times 100 \qquad 式（1）$$

1.2.3.4　可溶性固形物　取上述桑葚浆液 1~2 滴，室温下使用手持式糖度计测定可溶性固形物（Total soluble solid, TSS）含量，蒸馏水调零，结果以°Bx 表示。

1.2.3.5　水分测定　参考标准 GB 5009.3-2016[11] 采用直接干燥法测定桑葚中的水分含量。

1.2.3.6　灰分测定　参考标准 GB 5009.4-2016[12] 采用测定桑葚的总灰分。

1.2.3.7　可滴定酸　参考标准 GB 12456-2021[13] 中的 pH 电位滴定法，100 g 桑葚榨汁机破碎打浆，称取 25 g 浆液加入约 50 mL 80 ℃ 蒸馏水混匀，沸水浴 30 min 后取出并冷却至室温，用无二氧化碳蒸馏水定容至 250 mL，过滤收集滤液，取 40 mL 样液用 0.1 mol/L NaOH 溶液滴定，滴定终点为 pH8.2，蒸馏

水做空白对照。可滴定酸含量按以下公式计算:

$$TA(\%)=\frac{C\times(V_1-V_0)\times K\times F}{m}\times 100 \quad 式（2）$$

式中: C 为 NaOH 浓度, mol/L; m 为样品质量, g; V_1 为样液消耗 NaOH 体积, mL; V_0 为空白对照消耗 NaOH 体积, mL; K 为柠檬酸折算系数, K=0.07; F 为稀释倍数。

1.2.3.8 脂肪含量的测定 参照 GB 5009.6-2016[14] 采用索氏抽提法。

1.2.3.9 总糖和还原糖的测定 参考标准 GB 5009.7-2016[15] 中的直接滴定法。

1.2.3.10 总酚含量的测定 参照李巨秀等[16] 的福林酚法测定总酚含量, 并稍作修改。精确移取 0、0.25、0.50、0.75、1.00、1.25、1.50 mL 的 100 μg/mL 没食子酸标准溶液于 25 mL 的容量瓶中, 加入 3.0 mL 的福林酚试剂, 摇匀静置 30 s 后再加入 6.0 mL 12% Na_2CO_3 溶液, 混匀后用蒸馏水定容至 25 mL, 在 25 ℃ 下避光放置 2 h, 在 760 nm 处测量吸光度。结果以标准溶液浓度(μg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标绘制标准曲线, 获得回归方程 y=0.128x+0.1035 (R^2=0.9991)。取 5 g 榨汁机捣碎的桑葚匀浆, 加入 20 mL 的 60% 乙醇提取 2 h, 再加入 30 mL 60% 乙醇稀释过滤, 用蒸馏水定容至 500 mL。取 1.0 mL 稀释后的样品按上述方法测定其吸光值, 总酚含量以每克桑葚中没食子酸当量表示, 单位 mg/g。

1.2.4 活性成分测定

1.2.4.1 V_C 含量的测定 参考标准 GB 5009.86-2016[17] 中的 2,6-二氯靛酚滴定法。

1.2.4.2 花色苷含量的测定 花色苷含量测定参考王行等[18] 的 pH 示差法略作改动。取 1.0 g 桑葚匀浆, 分别加入 9 mL 的 pH1.0 的 0.2 mol/L 氯化钾缓冲溶液和 pH4.5 的 1 mol/L 乙酸钠缓冲溶液, 充分混匀后在 4 ℃ 冰箱中静置提取 2 h, 用酶标仪在 510 和 700 nm 波长下测定其吸光度。桑葚汁中花色苷含量计算公式如下:

$$花色苷含量(mg\cdot g^{-1})=\frac{A\times Df\times Mw\times V}{\varepsilon\times L\times m} \quad 式（3）$$

式中: 吸光度值为 A, $A=(A_{510}-A_{700})_{pH1.0}-(A_{510}-A_{700})_{pH4.5}$; Df 为稀释倍数; M_W=499.2, 矢车菊-3-葡萄糖苷的分子量; V 为 1.0 g 桑葚匀浆体积, mL; ε 为矢车菊-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数, 26900; L 为比色皿厚度, cm; m 为样品质量, g。

1.2.4.3 多酚氧化酶和过氧化物酶活性测定 多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)测定参考 Cao 等[19] 的方法, 稍作修改。取 5 mL 桑葚匀浆, 加入 5 mL 0.2 mol/L pH6.5 的磷酸缓冲液(含 1% PVPP), 均质 1 min, 再放在 4 ℃ 冰箱里遮光浸取 1 h, 取出后在 4 ℃ 下以 10000 r/min 离心 20 min, 取上清液作为粗酶液。向试管中加入 3 mL 0.2 mol/L pH6.5 含有 0.1 mol/L 邻苯二酚的磷酸缓冲液, 加粗酶液 0.4 mL, 充分混匀后用酶标仪在 470 nm 处测定其吸光值, 每 10 s 测一个吸光值, 连续记录 60 s, 每分钟内吸光度变化 0.1 个单位定义为 1 个 PPO 酶活性单位(U)。

过氧化物酶(Peroxidase, POD)测定方法参考刘洪等[20], 向试管中加入 3 mL 1.0% 愈创木酚和 0.2 mL 1.5% 过氧化氢, 加入 0.2 mL 粗酶液, 迅速摇匀后, 倒入比色皿中, 于 470 nm 波长下测定吸光值, 每 20 s 记录一次吸光度值, 连续记录 100 s。每分钟内吸光度变化 0.1 个单位定义为 1 个 POD 酶活性单位(U)。

1.3 数据处理

采用 SPSS Statistics 26.0 软件对主要品质指标进行显著性分析、相关性分析和系统聚类分析, 主成分分析采用 Origin 2019 附带的 PCA 插件进行。其中显著性分析用邓肯方差分析后用字母标记法标注结果, a、b、c 等表示组间差异显著(P<0.05)。实验数据为平均值±标准差, 每个指标测定平行 3 次, 重复两次取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同桑葚品种的颜色的比较

由表 1 可知, 除蜀椹 1 号的 L^*值最低(11.02), 其他四种桑葚的 L^*值无显著性差异(P>0.05), 表明蜀椹外观颜色较其它品种暗沉。5 种桑葚的 a^*值除嘉陵 30 号外差异均不明显, 表明嘉陵 30 号红色较浅。5 种桑葚的 b^*值差异不明显。以上结果说明 5 种桑葚的外观色泽差异较小。云桑 2 号的 L^*值和 a^*值最高, 分别为 16.26 和 1.59, 表示云桑 2 号的颜色更亮更偏向红色, 而蜀椹 1 号的 L^*值最低, b^*则最高, 与其他品种的桑葚存在显著性差异(P<0.05), 分别为 11.02 和−0.24, 表示其颜色相对其它品种更浅, 而消费者通常更倾向于购买颜色更加鲜艳饱满的品种。

2.2 不同桑葚品种理化指标的比较

5 种桑葚的理化指标比较结果如表 2 所示。各个品质指标在不同果桑品种间均呈明显差异。

表 1 不同品种桑葚的颜色比较

Table 1 Color comparison of different varieties of mulberry

指标	云桑2号	红果2号	蜀椹1号	无核大十	嘉陵30号
L^*	16.26±0.52^{a}	14.54±1.15^{a}	11.02±1.56^{b}	15.65±0.61^{a}	14.86±0.89^{a}
a^*	1.59±0.20^{a}	1.05±0.10^{bc}	1.43±0.14^{ab}	1.01±0.14^{bc}	0.91±0.22^{c}
b^*	−0.69±0.19^{ab}	−0.57±0.56^{ab}	−0.24±0.14^{a}	−1.03±0.26^{b}	−0.80±0.07^{ab}

注: 同一行中不同的小写字母表示存在显著性差异(P<0.05); 表2~表3同。

表 2　不同品种桑葚理化指标的比较

Table 2　Comparison of physicochemical indexes of different varieties of mulberry

指标	云桑2号	红果2号	蜀椹1号	无核大十	嘉陵30号
单果质量(g)	3.49±0.11^{a}	2.03±0.06^{d}	1.60±0.07^{e}	2.48±0.14^{c}	3.04±0.22^{b}
出汁率(%)	59.56±4.29^{bc}	65.51±0.65^{ab}	55.73±2.32^{c}	68.51±0.38^{a}	64.80±1.48^{ab}
水分(%)	83.31±0.26^{c}	86.49±0.53^{ab}	85.64±0.60^{b}	86.11±0.82^{ab}	88.18±0.87^{a}
TSS(°Bx)	12.07±0.07^{a}	9.97±0.03^{bc}	9.47±0.27^{c}	12.33±0.33^{a}	10.63±0.32^{b}
pH	4.47±0.04^{a}	4.50±0.02^{a}	4.01±0.15^{b}	4.39±0.05^{a}	4.25±0.08^{ab}
总酸(mg/100 g)	10.25±0.16^{a}	5.32±0.09^{e}	7.16±0.17^{c}	6.70±0.00^{d}	7.82±0.07^{b}
总糖(%)	11.96±0.27^{b}	9.67±0.26^{d}	13.19±0.39^{a}	11.64±0.10^{b}	10.82±0.00^{c}
还原糖(%)	8.83±0.48^{a}	7.12±0.08^{c}	8.07±0.09^{ab}	8.77±0.31^{a}	7.98±0.57^{b}
灰分(%)	0.80±0.04^{a}	0.55±0.03^{b}	0.58±0.07^{b}	0.68±0.20^{ab}	0.68±0.04^{ab}
脂肪(%)	0.020±0.001^{c}	0.035±0.002^{b}	0.042±0.002^{a}	0.013±0.001^{e}	0.016±0.002^{d}

单果质量是反映果实外观品质的重要指标之一，5 种桑葚中云桑 2 号单果质量显著高于其他品种（P<0.05），高达 3.49 g；蜀椹单果质量最低，为 1.60 g。出汁率是衡量果实是否适用于工业化果汁生产的重要指标之一，出汁率高的桑葚品种更适合用于果汁生产[21]，5 种桑葚品种出汁率在 55.73%~68.51% 之间，无核大十、红果 2 号、嘉陵 30 号的出汁率位列前三，出汁率均高于 60%，其中无核大十的出汁率最高，出汁率的差异推测是由品种差异引起的，也有可能跟果实生长的天气、温度和湿度有关[22]。在水分含量上，嘉陵 30 号、红果 2 号、无核大十分列前三，与出汁率结果相符，其中嘉陵 30 号水分含量最高，达到 88.18%。

可溶性固形物（TSS）是由糖和酸等多种成分组成的混合物，其含量决定了鲜食水果风味品质的优劣[23]，对桑葚果实的营养价值、风味口感等方面有重要影响。5 种桑葚中无核大十的 TSS 最高，为 12.33°Bx，云桑 2 号 TSS 位列第二，为 12.07°Bx，二者无显著性差异（P>0.05），蜀椹 1 号 TSS 最低，为 9.47°Bx。含糖量是影响果酒、果汁等产品品质的指标，同时总糖含量在影响果实风味方面也起着重要作用。5 种桑葚中，总糖、还原糖含量较高的品种为蜀椹 1 号、云桑 2 号与无核大十，红果 2 号总糖、还原糖含量最低，此结果与王香君等的研究相同[24]，目前研究推断这种差异由主要由品种差异所引起，同时也可能是土壤条件差异导致。

在合适的酸度下，果汁、果膏、果干等加工产品会有好的口感[25−27]。有研究表明 pH 低于 3，口感会很酸[28]，5 种桑葚 pH 均大于 4，其中红果 2 号、云桑 2 号与无核大十 pH 较高，蜀椹 1 号 pH 较低；各个桑葚品种总酸含量依次是云桑 2 号>嘉陵 30 号>蜀椹 1 号>无核大十>红果 2 号，云桑 2 号显著高于其他桑葚品种（P<0.05），总酸达到了 10.25 mg/100 g。

5 种桑葚品种中云桑 2 号的灰分含量最高（0.80%），这代表其比其它品种有更多的矿物质，其余四种桑葚的灰分含量则无显著差异（P>0.05）；脂肪含量则表现出显著差异（P<0.05），也推测是由品种差异造成，蜀椹 1 号的脂肪含量达 0.042%，显著高于其他品种（P<0.05），灰分含量较低（0.58%），有文献表明，桑葚脂肪酸多为多不饱和脂肪酸，其中亚油酸含量较高，可作为潜在的亚油酸资源[29−30]，这为蜀椹的开发利用提供了潜在思路。

2.3　不同桑葚品种的 V_C、总酚、花色苷、PPO 和 POD 的比较

2.3.1　不同桑葚品种的 V_C 含量比较　桑葚果实中 V_C 含量丰富，有研究表明黑桑椹果实的 V_C 含量高于草莓、橘子等富含 V_C 的水果[4,31]。由表 3 可知，四川地区 5 种桑葚果实 V_C 含量范围为 0.32~0.77 mg/g，品种间差异较大，除无核大十与嘉陵 30 号无显著性差异（P>0.05）外，各个品种间都存在显著差异（P<0.05）。V_C 含量最高的是云桑 2 号（0.77 mg/g），其次为蜀椹 1 号（0.56 mg/g），红果 2 号（0.44 mg/g），V_C 含量低的为无核大十（0.32 mg/g）、嘉陵 30 号（0.32 mg/g）。这表明云桑 2 号鲜食能获得更多的 V_C，对于清除体内自由基、延缓皮肤的衰老、美白皮肤、增强抵抗力等有更强的作用。

2.3.2　不同桑葚品种的总酚含量比较　由表 3 可以看出桑葚的总酚含量为 1.85~4.36 mg/g，其中云桑

表 3　不同桑葚品种的 V_C、总酚、花色苷、PPO 和 POD

Table 3　V_C, total phenol, anthocyanin, PPO and POD of different varieties of mulberry

指标	云桑2号	红果2号	蜀椹1号	无核大十	嘉陵30号
V_C(mg/g)	0.77±0.01^{a}	0.44±0.01^{c}	0.56±0.01^{b}	0.32±0.01^{d}	0.32±0.01^{d}
总酚(mg/g)	4.36±0.01^{a}	1.88±0.00^{d}	1.85±0.04^{d}	2.21±0.01^{b}	2.00±0.01^{c}
花色苷(mg/g)	1.05±0.00^{a}	0.61±0.01^{d}	0.69±0.02^{c}	0.79±0.01^{b}	0.67±0.01^{c}
PPO(U/mL)	10.54±0.44^{c}	12.85±0.39^{b}	15.95±0.21^{a}	13.05±0.55^{b}	10.70±0.31^{c}
POD(U/mL)	1.06±0.05^{b}	1.31±0.08^{b}	1.08±0.09^{b}	3.51±0.16^{a}	1.10±0.16^{b}

2 号总酚含量最高(4.36 mg/g),蜀椹 1 号的含量最低(1.85 mg/g)。红果 2 号与蜀椹 1 号之间无显著性差异(P>0.05),其余品种间皆存在显著性差异(P<0.05)。多酚化合物具有清除自由基、抗动脉硬化、降血脂、防止衰老和肿瘤等功能,研究桑葚中的多酚化合物对提高桑葚经济价值,增加桑产业的附加值有一定的推动作用[16]。因此,云桑 2 号适宜作为保健品开发的备选果桑品种,极具发展前途。

2.3.3 不同桑葚品种的花色苷含量比较 花色苷是构成果实颜色的主要色素之一,也是桑葚中的重要抗氧化成分,由于花色苷能有效清除自由基,并有可能作为各种疾病的膳食调节剂,桑葚花色苷开发利用也成为近期研究的热点[32−33]。Aramwit 等研究表明,不同颜色桑葚果实总花色苷含量差异显著,果实颜色越深花色苷含量越高[34]。由表 3 可知,桑葚果实花色苷含量范围为 0.61~1.05 mg/g。除蜀椹 1 号与嘉陵 30 号间无显著性差异(P>0.05)外,其余品种相互之间皆有显著性差异(P<0.05);其中红度值较高的云桑 2 号花色苷含量最高(1.05 mg/g),具有较高开发价值;红果 2 号花色苷含量最低(0.61 mg/g)。

2.3.4 不同桑葚品种的 PPO、POD 含量比较 酶促褐变对果蔬在加工保鲜过程中的品质有重大影响[35],PPO 与 POD 是其中的主要相关酶类[36],由表 3 可以看出,蜀椹 1 号的 PPO 活力与其余四个品种存在显著性差异(P<0.05),其 PPO 活力最强。POD 活力则表现为无核大十与其余四个品种有显著性差异(P<0.05),其 POD 活力最强。有研究表明,果蔬酶促褐变与 PPO 及 POD 酶活性呈明显正相关[37]。蜀椹和无核大十较高的 PPO 或 POD 活性可能引起加工后更容易发生褐变,不利于产品的品质,需要对加工产品进行护色处理,抑制酶促褐变。

2.4 桑葚果实主要品质指标相关性分析

采用二项正态分布置信检测方法对每一项指标进行置信检测,采用 Pearson 相关系数分析桑葚主要品质参数间的相关性,结果见表 4。单果质量与总酸、总酚和花色苷呈极显著正相关(P<0.01),和可溶性固形物(TSS)呈显著正相关(P<0.05),这表明果实质量的增加有利于果实总酚、总酸、花色苷的积累,影响果实可溶性固形物的含量。总酚与 V_C 和花色苷呈极显著正相关(P<0.01),这表明桑葚果实总酚含量高的品种,其花色苷和 V_C 含量也相对较高。花色苷与 a^*值呈极显著正相关(P<0.01),说明花色苷含量的高低影响桑葚果实呈现的颜色,花色苷含量越高,桑葚果实越偏向红色。

2.5 桑葚果实主要品质指标主成分分析和综合品质评价

将 5 个桑葚品种的 18 个品质指标转化为 18 个成分,根据各主成分的特征值和贡献率进行主成分提取。5 种桑葚品种主成分分析得分图如图 1 所示,三个主成分(PC1、PC2、PC3)的方差贡献率分别为 47.3%、33.2%、12.2%,累计方差贡献率达到 92.7%,能够代表所有指标的绝大部分信息。综合反映 5 个桑葚品种的果实品质特性,可以作为桑葚选优、评价的综合指标。

因子载荷值反映桑葚品种各个指标对主成分载荷的相对大小和影响的方向,数值反映原变量对因子影响的大小,正负代表变化方向的差别。5 种桑葚品种载荷值分析结果见表 5。

将主成分载荷矩阵(表 5)中的数值除以各主成分相对应的特征值开平方根,得到各主成分系数矩阵,根据系数矩阵构建主成分与各品质指标的线性关系式,其中 X_1~X_{18} 分别表示单果重量、出汁率、TSS、pH、L^*、a^*、b^*、总糖、还原糖、总酸、水分、灰分、总酚、脂肪、V_C、花色苷、PPO 及 POD,方程如下:

$$PC_1=0.307X_1+0.033X_2+0.301X_3+0.182X_4+0.272X_5+0.171X_6-0.192X_7+0.034X_8+0.262X_9+0.277X_{10}-0.204X_{11}+0.332X_{12}+0.309X_{13}-0.243X_{14}+0.156X_{15}+0.315X_{16}-0.248X_{17}+0.051X_{18}$$

表 4 桑葚主要品质特征指标相关性分析

Table 4 Correlation analysis among major quality parameters of different varieties of mulberry

指标	单果质量	出汁率	TSS	pH	a^*	总糖	还原糖	总酸	总酚	V_C	花色苷	PPO	POD
单果质量	1												
出汁率	0.121	1											
TSS	0.621*	0.380	1										
pH	0.332	0.478	0.559*	1									
a^*	0.255	−0.545*	0.121	−0.045	1								
总糖	−0.136	−0.527*	0.007	−0.647**	0.528*	1							
还原糖	0.490	−0.188	0.658**	−0.044	0.451	0.559*	1						
总酸	0.740**	−0.347	0.475	0.029	0.607*	0.430	0.620*	1					
总酚	0.732**	−0.212	0.601*	0.376	0.702**	0.202	0.550*	0.864**	1				
V_C	0.240	−0.628*	0.055	0.040	0.867**	0.414	0.273	0.663**	0.774**	1			
花色苷	0.671**	−0.186	0.717**	0.287	0.669**	0.382	0.714**	0.861**	0.954**	0.698**	1		
PPO	−0.872**	−0.320	−0.521*	−0.521*	0.024	0.439	−0.253	−0.505	−0.546*	−0.052	−0.434	1	
POD	−0.062	0.555*	0.584*	0.212	−0.318	−0.002	0.357	−0.278	−0.162	−0.499	0.039	0.124	1

注:*表示显著相关(P<0.05);**表示极显著相关(P<0.01)。

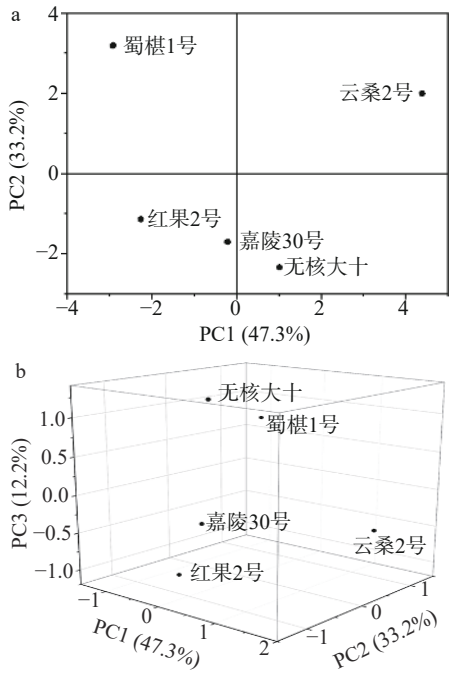

图 1　不同桑葚品种主成分分析得分二维图(a)和三维图(b)

Fig.1　2D score plot (a) and 3D score plot (b) of the principle component analysis of different mulberry varieties

表 5　主成分荷载矩阵

Table 5　Principal component load matrix

指标	成份		
	PC1	PC2	PC3
单果重	0.894	−0.167	−0.241
出汁率	0.096	−0.978	0.026
TSS	0.877	−0.328	0.308
pH	0.531	−0.481	−0.478
L^*	0.794	−0.549	−0.227
a^*	0.498	0.832	−0.087
b^*	−0.560	0.799	−0.218
总糖	0.099	0.721	0.670
还原糖	0.765	0.164	0.619
总酸	0.809	0.464	−0.018
水分	−0.595	−0.643	−0.008
灰分	0.968	0.071	0.074
总酚	0.903	0.370	−0.194
脂肪	−0.709	0.623	−0.219
V_C	0.454	0.826	−0.265
花色苷	0.920	0.366	0.086
PPO	−0.724	0.395	0.476
POD	0.149	−0.578	0.694

注：PC1~PC3分别表示第一~第三主成分。

$$PC_2=-0.068X_1-0.400X_2-0.134X_3-0.197X_4-0.225X_5+0.341X_6+0.327X_7+0.294X_8+0.067X_9+0.190X_{10}-0.263X_{11}+0.029X_{12}+0.151X_{13}+0.255X_{14}+0.338X_{15}+0.150X_{16}+0.162X_{17}-0.237X_{18}$$

$$PC_3=-0.163X_1+0.017X_2+0.208X_3-0.323X_4-0.153X_5-0.059X_6-0.147X_7+0.452X_8+0.417X_9-0.012X_{10}-0.006X_{11}+0.050X_{12}-0.131X_{13}-0.148X_{14}-0.179X_{15}+0.058X_{16}+0.321X_{17}+0.468X_{18}$$

由表 5 可得，PC_1 与花色苷、总酚、灰分、TSS、单果重显著相关，与总酸有较强的相关性，PC_2 与出汁率、V_C、a^*有较强的相关性，PC_3 与 POD 有较强的相关性。得分图(图 1)中每个点代表一个桑葚品种的一个样本，由图 1b 可得，5 个桑葚品种样本的区分效果较好；从图 1a 可得，红果 2 号、无核大十与嘉陵 30 号 PC_2 得分比较接近，说明二者在出汁率、V_C 和 a^*等指标上数值相近，云桑 2 号与蜀椹得分相较其他品种差异较大，说明二者与其他桑葚品种品质差异较大。

以 3 个主成分的得分及以每个主成分的贡献率作为权重得到主成分综合模型：$P综=0.510PC_1+0.358PC_2+0.132PC_3$，根据以上公式计算主成分分值和综合评价分值，结果如表 6 所示。

表 6　不同桑葚品种品质预测评价结果

Table 6　Quality prediction and evaluation results of different varieties of mulberry

编号	品种	PC1	PC2	PC3	P综	排名
1	云桑2号	4.39	1.99	−0.72	2.86	1
2	红果2号	−2.27	−1.14	−1.77	−1.80	5
3	蜀椹1号	−2.92	3.19	1.01	−0.21	3
4	无核大十	1.01	−2.34	1.97	−0.06	2
5	嘉陵30号	−0.21	−1.70	−0.48	−0.78	4

由表 6 可知，各品种的综合主成分值各不相同，综合得分排序为：云桑 2 号>无核大十>蜀椹 1 号>嘉陵 30 号>红果 2 号，乔宇等[38]指出，品种的综合主成分分值越高，说明该品种的综合品质越好。云桑 2 号桑葚分值最高，为 2.86，说明其品质最好，最具有推广、开发价值。其余 4 个品种分值均为负数，其中红果 2 号的分值最低，为−1.80。

2.6　基于桑葚品种不同品质指标的聚类分析

根据桑葚主要品质指标，采用 SPSS Statistics 26.0 软件 Pearson 相关性方法对 5 个桑葚品种进行系统聚类分析，得到聚类树状图。如图 2 所示，在距离为 10 的情况下，可将 5 个桑葚品种分聚为 3 类，其中红果 2 号、嘉陵 30 号以及无核大十分为Ⅰ类，该类群体中水分含量和出汁率均高于其他两个类别；Ⅰ类又可以分成两个亚类：红果 2 号与嘉陵 30 为一个亚类；无核大十为另一个亚类；与Ⅰ类的另一亚类相比，无核大十在出汁率、可溶性固形物、总糖、还原糖、总酚、花色苷方面更加突出。5 种桑葚Ⅱ类与Ⅲ类分别为云桑 2 号和蜀椹 1 号。Ⅱ类的特点在于花色苷含量、总酚含量、V_C 含量以及总酸含量高，营养价值较高；Ⅲ类的特点在于果实小、出汁率低、总糖含量高、PPO 酶活高，pH 相对较低。

3　结论与讨论

本研究对四川地区五个不同品种桑葚的基本品质及营养成分进行分析，结果可得，不同品种的单果质量、出汁率、TSS、脂肪、总糖、V_C、花色苷和总酚

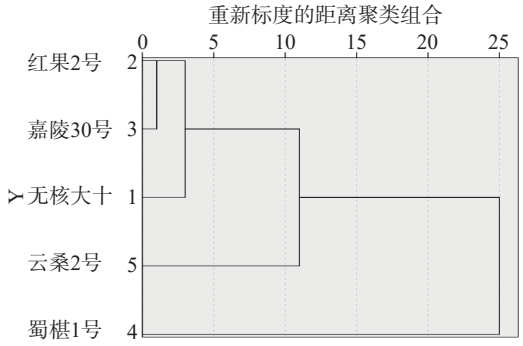

图 2 不同品种桑葚聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of different mulberry varieties

存在明显差异，而这些品质间的差异直接影响桑葚的加工方式。并且由主成分分析可以得出，桑葚品种的单果重量、出汁率、TSS、总酚以及花色苷含量等对于桑葚的深加工有着尤其突出的影响。通过对综合基本品质与营养成分分析比较，以及主成分分析和系统聚类分析的结果显示，可以看出云桑 2 号综合评分最高，其单果质量最大、颜色黑亮、外观最好，同时拥有较为合适的 pH 与较高的含糖量，最高的多酚含量、花色苷含量和 V_C 含量，因此，云桑 2 号最具有开发价值，适宜作为保健品开发的备选果桑品种，但由于其含水量、出汁率相对较低，不是适合果酒、果汁类开发的桑葚品种，适合用于生产桑葚果酱、果膏、果干等。无核大十、红果 2 号与嘉陵 30 号优于其含水量、出汁率高的特点，最适宜加工为果汁类产品，同时，由于无核大十总糖、还原糖含量高，总酸含量相对较低的特点，其也适宜果酒生产或作为鲜食品种。蜀椹 1 号果实小、pH 低、糖含量高但出汁率低，可用于果干、果酱加工。

参考文献

[1] 王晗, 朱华平, 李文钊, 等. 桑葚提取物中花青素分析及其体外抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 170−175. [WANG H, ZHU H P, LI W Z, et al. Anthocyanins in mulberry extract and their *in vitro* antioxidant activity[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 170−175.]

[2] 陈杭君. 不同品种桑葚果实成熟衰老特性及其调控机制[D]. 广州: 华南农业大学, 2016. [CHEN H J. The characteristics and regulatory mechanisms of different mulberry cultivars during fruit ripening and senescence[D]. Guangzhou: South China Agricultral University, 2016.]

[3] BHATTACHARJYA D, SADAT A, DAM P, et al. Current concepts and prospects of mulberry fruits for nutraceutical and medicinal benefits[J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 40: 121−135.

[4] JAN B, PARVEEN R, ZAHIRUDDIN S, et al. Nutritional constituents of mulberry and their potential applications in food and pharmaceuticals: A review[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(7): 3909−3921.

[5] DROGOUDI P D, PANTELIDIS G. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physicochemical and antioxidant properties in different apple cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 752−760.

[6] LI X, WANG T T, ZHOU B, et al. Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory potential of peels and flesh from 10 different pear varieties (*Pyrus* spp.)[J]. Food Chemistry, 2014, 152(6): 531−538.

[7] 徐玉娟, 温靖, 肖更生, 等. 不同品种荔枝果实加工特性比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 33−37. [XU Y J, WEN J, XIAO G S, et al. Comparative studies of processing characteristics of different litchi varieties[J]. Food Science, 2010, 31(1): 33−37.]

[8] 李长城, 张志刚, 刘玉芳, 等. 吐鲁番地区 12 个桑葚品种的品质分析及评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 1892−1897. [LI C C, ZHANG Z G, LIU Y F, et al. Quality analysis and evaluation of 12 mulberry varieties in Turpan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(9): 1892−1897.]

[9] 乔健, 马智玲, 魏长宾, 等. 湛江地区不同桑葚品种的品质比较[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 264−268,290. [QIAO J, MA Z L, WEI C B, et al. Quality comparison of different mulberry varieties in Zhanjiang region[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 264−268,290.]

[10] 阎秀峰, 王洋, 李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系[J]. 生态学报, 2007(6): 2554−2562. [YAN X F, WANG Y, LI Y M. Plant secondary metabolism and its response to environment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007(6): 2554−2562.]

[11] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.3-2016 National food safety standards. Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[12] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.4-2016 National food safety standards. Determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[13] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理局. GB/T 12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [National Health Commission, State Administration for Market Regulation. GB/T 12456-2021 National food safety standards: determination of total acid in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.]

[14] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [China Food and Drug Administration, National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.6-2016 National food safety standards. Determination of fat in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

[15] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7-2016 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.7-2016 National food safety standards. Determination of reducing sugar in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]

［16］李巨秀，王柏玉. 福林-酚比色法测定桑椹中总多酚[J]. 食品科学，2009，30(18)：292−295. ［LI J X, WANG B Y. Folin-ciocalteu colorimetric determination of total polyphenols in mulberry fruits[J]. Food Science, 2009, 30(18): 292−295.］
［17］国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86-2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定 [S]. 北京：中国标准出版社，2016. ［National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.86-2016 National food safety standards. Determination of ascorbic acid in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.］
［18］王行，马永昆，于立志，等. 贮藏条件对超高压处理蓝莓汁酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技，2014，30(1)：101−107. ［WANG H, MA Y K, YU L Z, et al. Effects of storage condition on phenolics and antioxidant activity of high hydrostatic pressure treated blueberry juice[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 101−107.］
［19］CAO X M, CAI C F, WANG Y L, et al. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 45: 169−178.
［20］刘洪，周亨乐，陈磊，等. 介质特性对超声波钝化芒果多酚氧化酶和过氧化物酶的影响[J]. 中国食品学报，2020，20(4)：42−48. ［LIU H, ZHOU H L, CHEN L, et al. Influence of medium properties on the inactivation effect of polyphenol oxidase and peroxidase of mango by ultrasound[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 42−48.］
［21］宋志姣，樊金欣，李德焕，等. 不同果桑品种加工品质评价[J]. 食品与发酵工业，2020，46(15)：134−139. ［SONG Z J, FAN J X, LI D H, et al. Evaluation of processing qualities of different mulberry varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(15): 134−139.］
［22］姚锋先，郭家乾，管冠，等. 晚棱脐橙冬季落果和果实出汁率差异的环境温度因素分析[J]. 中国南方果树，2017，46(4)：14−16,20. ［YAO F X, GUO J Q, GUAN G, et al. Analysis of ambient temperature factors on the difference of fruit drop and fruit juice yield of lane late navel orange in winter[J]. South China Fruits, 2017, 46(4): 14−16,20.］
［23］刘丙花，孙锐，王开芳，等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学，2019，40(1)：70−76. ［LIU B H, SUN R, WANG K F, et al. Comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different blueberry (*Vaccinium* spp.) varieties[J]. Food Science, 2019, 40(1): 70−76.］
［24］王香君，吴劲轩，夏川林，等. 不同品种桑椹加工品质比较研究[J]. 中国酿造，2019，38(3)：139−143. ［WANG X J, WU J X, XIA C L, et al. Comparison of processing quality of different mulberry varieties[J]. China Brewing, 2019, 38(3): 139−143.］
［25］姚改芳，张绍铃，吴俊，等. 10 个不同系统梨品种的可溶性糖与有机酸组分含量分析[J]. 南京农业大学学报，2011，34(5)：25−31. ［YAO G F, ZHANG S L, WU J, et al. Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in ten cultivars of pear by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(5): 25−31.］
［26］LU Y, VOON M K W, HUANG D, et al. Combined effects of fermentation temperature and pH on kinetic changes of chemical constituents of durian wine fermented with *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2017, 101(7): 3005−3014.
［27］梁俊，郭燕，刘玉莲，等. 不同品种苹果果实中糖酸组成与含量分析[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版)，2011，39(10)：163−170. ［LIANG J, GUO Y, LIU Y L, et al. Analysis of contents and constituents of sugar and organic acid in different apple cultivars[J]. Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed), 2011, 39(10): 163−170.］
［28］陆燕，曾霞，郑克铭，等. 不同品种桑葚果的风味成分分析[J]. 现代食品科技，2020，36(2)：232−240. ［LU Y, ZENG X, ZHENG K M, et al. Analysis of flavor components of different mulberry cultivars[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 232−240.］
［29］EVA M S S, ESTHER S, ÁNGEL A C B, et al. Fatty acids composition of Spanish black (*Morus nigra* L.) and white (*Morus alba* L.) mulberries[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 566−571.
［30］YAO X H, SHEN Y S, HU R Z, et al. The antioxidant activity and composition of the seed oil of mulberry cultivars[J]. Food Bioscience, 2020, 37: 100709.
［31］JIANG Y, NIE W J. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang province of China[J]. Food Chemistry, 2015, 174: 460−466.
［32］BI Y H, CHI X W, ZHANG R, et al. Highly efficient extraction of mulberry anthocyanins in deep eutectic solvents: Insights of degradation kinetics and stability evaluation[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 66: 102512.
［33］CHEN Y, ZHANG W J, ZHAO T, et al. Adsorption properties of macroporous adsorbent resins for separation of anthocyanins from mulberry[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 712−722.
［34］ARAMWIT P, BANG N, SRICHANA T. The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits[J]. Food Research International, 2010, 43(4): 1093−1097.
［35］李彩云，李洁，严守雷，等. 果蔬酶促褐变机理的研究进展[J]. 食品科学，2021，42(9)：283−292. ［LI C Y, LI J, YAN S L, et al. Progress in research on the mechanism of enzymatic browning in fruits and vegetables[J]. Food Science, 2021, 42(9): 283−292.］
［36］齐笑笑. 果蔬采后酶促褐变机理及控制方法研究进展[J]. 北方园艺，2017(11)：190−194. ［QI X X. Research advance in enzymatic browning and inhibition method of postharvest of fruits and vegetables[J]. Northern Horticulture, 2017(11): 190−194.］
［37］郑梦林. 不同贮藏条件对鲜切莲藕褐变影响及 PAL、PPO 和 POD 的表达调控 [D]. 武汉：武汉轻工大学，2016. ［ZHENG M L. The effect of different storage conditions on fresh-cut lotus root browning and expression regulation of PAL, PPO and POD[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016.］
［38］乔宇，刘璐，吴继军，等. 白桑椹加工品质评价分析[J]. 食品研究与开发，2015，36(17)：6−9. ［QIAO Y, LIU L, WU J J, et al. Analysis of quality evaluation for different white mulberry varieties[J]. Food Research and Development, 2015, 36(17): 6−9.］