

不同酚酸对三华李清汁贮藏期间色泽稳定性的比较分析

李依娜^{1,2}, 邹颖¹, 余元善¹, 肖更生¹, 徐玉娟¹, 邹波¹

(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. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 为增强三华李清汁中花色苷的稳定性, 本实验选取阿魏酸, 绿原酸, 咖啡酸, 香草酸 5 种不同酚酸作为辅色剂, 对三华李清汁进行辅色研究, 分别在 4℃、25℃、37℃ 条件下进行 21 d 货架期贮藏, 每 3 d 取样测定三华李清汁的色泽、花色苷含量、抗氧化活性、透光率、可溶性固形物、pH 等理化指标。研究结果表明: 随着贮藏时间和贮藏温度的增加, 三华李清汁透光率整体呈下降趋势, 花色苷降解速率加快, 加入酚酸辅色可使三华李清汁维持较好的色泽, 提高果汁的品质。不同酚酸辅色效果有所差异。其中阿魏酸辅色组的颜色变化较大, 在 37℃ 贮藏第 21 d 透光率为 7.74%, 花色苷保留率仅为 15.32%, 辅色效果不显著; 相比较之下, 添加阿魏酸和绿原酸辅色的三华李清汁总色差值 TCD 变化较小, 贮藏期间中色泽更加稳定。在 37℃ 贮藏第 12 d, 其花色苷保留率分别提高了 9.91% 和 10.36%, 且对果汁的其余理化指标影响均较小, 辅色作用较为显著, 故可考虑将阿魏酸和绿原酸作为辅色剂应用于三华李清汁。

关键词: 三华李; 酚酸; 色泽稳定性

文章编号: 1673-9078(2020)07-165-172

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.1187

Comparative Analysis of Color Stability of Sanhua Plum Juice during Storage with Different Phenolic Acids

LI Yi-na^{1,2}, ZOU Ying¹, YU Yuan-shan¹, XIAO Geng-sheng¹, XU Yu-juan¹, ZOU Bo¹

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

(2. College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to enhance the stability of anthocyanins in Sanhua plum juice, five different phenolic acids (kuomeric acid, ferulic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, vanillic acid) were selected as copigments in this experiment to study the auxiliary color of Sanhua plum juice. They were stored at 4, 25 or 37℃ for 21 days. The color, anthocyanin content, antioxidant activity, light transmittance, soluble solids, pH and other physical and chemical indexes of Sanhua plum juice were measured every 3 days. Results showed that with the increase of storage time and temperature, the light transmittance of Sanhua plum juice decreased, and the degradation rate of anthocyanin accelerated. The color of Sanhua plum juice was maintained and the quality of juice was improved by adding phenolic acid. Different phenolic acids have different auxiliary color effects. Among them, the color of kuomeric acid auxiliary color group changed greatly, the light transmittance was 7.74% on the

引文格式:

李依娜, 邹颖, 余元善, 等. 不同酚酸对三华李清汁贮藏期间色泽稳定性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 165-172

LI Yi-na, ZOU Ying, YU Yuan-shan, et al. Comparative analysis of color stability of Sanhua plum juice during storage with different phenolic acids [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 165-172

收稿日期: 2019-12-04

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0400703); 广东省自然科学基金团队项目 (2015A030312001); 广州市科技民生科技攻关项目 (201803020007); 广东省优稀水果创新团队项目 (2019KJ116)

作者简介: 李依娜 (1996-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 余元善 (1983-), 男, 研究员, 研究方向: 食品科学与工程

21 th day of storage at 37 °C, the anthocyanin retention rate was only 15.32%, and the auxiliary color effect was not significant; In contrast, the total color difference value TCD of Sanhua plum juice supplemented with ferulic acid and chlorogenic acid auxiliary color changed little, and the color was more stable during the storage period. On the 12th day of storage at 37 °C, the retention rate of anthocyanin increased by 9.91% and 10.36% respectively, and it had little effect on the other physical and chemical color indexes of the juice. The auxiliary color effect was relatively significant. Therefore, ferulic acid and chlorogenic acid could be considered as copigment for Sanhua plum juice.

Key words: Sanhua plum; phenolic acids; color stability

三华李(*Prunus salicina* Lindl. cv. sanhua)为蔷薇科李亚科, 是华南地区著名的特色水果, 因最早在广东翁源县三华镇种植而得名^[1]。三华李的季节性很强, 一般在5月下旬至6月中旬果熟上市, 但由于成熟期集中、采后呼吸作用强, 不耐贮藏, 极大地限制了其供应期。三华李酸甜可口, 肉厚核小, 肉中含有花色苷使其呈现晶莹的紫红色, 可作为优良的制汁原料^[2]。

花色苷是广泛存在于植物组织的一类水溶性色素。作为果蔬主要的呈色物质, 花色苷易受光照、pH、温度等的影响而发生降解, 从而导致果蔬汁在加工贮藏过程中发生褐变^[3,4]。酚酸作为常用的辅色剂, 且具有较强的生物活性, 可改善并稳定含花色苷食品的颜色。植物中发现的酚酸类化合物主要有两类, 羟基肉桂酸类有咖啡酸、对香豆酸(阔马酸)等, 羟基苯甲酸类有香草酸、五倍子酸等, 还有不属于以上两种类型的缩合酸如绿原酸、单宁酸等^[5,6]。楼乐燕等通过紫外-分光光度法和CIELab法探究单宁酸和绿原酸对杨梅花色苷在水溶液体系中的辅色效果, 发现经辅色后的杨梅花色苷色泽热稳定性明显提高^[7]。苏帆等发现没食子酸、咖啡酸、阿魏酸、绿原酸对红肉苹果花色苷均能产生明显的辅色效应, 且显著增强了花色苷在加热、光照、氧化、Fe³⁺条件下的稳定性^[8]。闫怀锋研究模拟体系下有机酸和酚醛对甘蔗花色苷的辅色作用, 发现阿魏酸和4-香豆酸对甘蔗花色苷的辅色作用强于其它三种辅色剂^[9]。

色泽是影响果蔬汁感官质量的重要指标之一, 故本实验选取阔马酸、阿魏酸、咖啡酸、绿原酸、和香草酸五种具有代表性的酚酸对三华李清汁进行辅色研究, 分别在4 °C、25 °C、37 °C条件下进行21 d货架期贮藏, 通过测得的色差、透光率、花色苷含量、DPPH自由基清除率、pH、可溶性固形物(TSS)等色泽和理化指标对三华李清汁贮藏期间色泽稳定性进行评价, 旨在为开发色泽更加稳定的三华李果汁制品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

成熟的三华李(信宜香妃), 采购于广州天河区农贸市场。

果胶酶、阔马酸、阿魏酸、绿原酸、咖啡酸、香草酸, 购于上海源叶生物科技有限公司; DPPH 购于天津市福晨化学试剂厂; 无水乙醇购于天津市天新精细化工开发中心。

1.2 仪器与设备

WF-A2000 型榨汁机, 美的有限公司; HWS24 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司; ALC-210.4 型电子分析天平, 德国 ACCULAB 公司; UV1800 型紫外分光光度计, 日本岛津公司; UltraScan VIS 型全自动色差仪, 美国 Hunter Lab 公司; RFM3400 阿贝折光计, 英国 Bellingham+Stanley 公司; PB-10 型 pH 计, 赛多利斯公司。

1.3 实验方法

1.3.1 三华李清汁的制备

新鲜三华李→去核→打浆→四层纱布粗滤→果胶酶酶解, 灭酶, 离心过滤→三华李粗汁→抽滤→三华李清汁

1.3.2 添加酚酸进行辅色处理

选择阔马酸, 阿魏酸, 绿原酸, 咖啡酸, 香草酸5种不同酚酸作为辅色剂, 参考Zhang等人^[10]的方法并结合实际成本问题, 按花色苷与辅色剂质量比为4:1的比例在三华李清汁中添加酚酸, 酚酸先用极少量的无水乙醇溶解。对照组为不添加酚酸的三华李清汁。混合均匀后分装小瓶, 于65 °C水浴30 min 灭菌, 灭菌后迅速冷却。

1.3.3 进行货架期贮藏

将对照组和辅色处理的三华李清汁分别置于4 °C冰箱及25 °C、37 °C恒温培养箱中贮藏21 d, 每隔三天测定色差、透光率、花色苷含量、pH、可溶性固形物(TSS)、DPPH 自由基清除率等色泽和理化指标。

1.3.4 相关指标的测定

1.3.4.1 色差的测定

采用 UltraScan VIS 型全自动色差仪对三华李清汁样品的色泽进行测定。以未处理的三华李清汁为色

差测定的参比样,于反射模式下测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值^[11]。 L^* 值从 100 到 0 表示由白色变为黑色, a^* 值由小到大代表颜色从绿变红, b^* 值由小到大代表颜色从蓝变黄。基于 $L^*a^*b^*$ 值计算色度表示色彩的饱和度。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

总色差 (total color difference, TCD) 表示总的颜色变化。

$$TCD = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

1.3.4.2 花色苷的测定

采用 pH 示差法并稍作修改测三华李清汁花色苷含量^[12]。配制 0.025 mol/L 的 KCl 溶液,用浓盐酸调节至 pH 1.0; 配制 0.4 mol/L 的醋酸钠溶液,用浓盐酸调节至 pH 4.5。往样品中分别加入 pH 1.0 和 pH 4.5 的缓冲液,避光放置 15 min,测定 510 nm 和 700 nm 处的吸光值。结果用矢车菊素-3-葡萄糖苷计算。

$$\text{最终吸光值 } A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

$$\text{花色苷含量 (mg/L)} = (A \times \text{MW} \times \text{稀释倍数} \times 1000) / (\epsilon \times l)$$

式中: MW 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子量 449.2, ϵ 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数 26900, l 表示光径为 1 cm 的比色皿。

1.3.4.3 DPPH·清除率的测定

采用 DPPH 法测定三华李清汁的抗氧化能力,参考 Sokół-Lętowska Anna 等^[13]的方法并稍作修改。

取稀释后的样品 50 μL , 加入 150 μL DPPH·溶液 (0.2 mmol/L), 混匀后在室温条件下避光反应 20 min,用酶标仪测定波长 517 nm 处的吸光度,以 Trolox 为标准品,测定不同质量浓度的 Trolox 对 DPPH 自由基的清除率,绘制标准曲线,实验同时设试剂空白组 (无水乙醇)、对照组 (以等体积甲醇代替样品)、样品空白组 (以等体积无水乙醇代替 DPPH·溶液)。样品对 DPPH 自由基清除能力以 Trolox 当量表示。DPPH·清除率按下式计算。

$$\text{清除率} / \% = \frac{(A_1 - A_0) - (A_i - A_j)}{(A_1 - A_0)} \times 100\%$$

式中: A_1 为对照组吸光度; A_0 为试剂空白组吸光度; A_i 为样品组吸光度; A_j 为样品空白组吸光度。

1.3.4.4 透光率的测定

以蒸馏水为参比溶液,于 720 nm 处测定透光率,测定前将三华李清汁摇匀。

1.3.4.5 可溶性固形物、pH 的测定

可溶性固形物 (total soluble solid, 以下简称 TSS) 采用阿贝折光仪直接测定。pH 值用 pH 计直接测定。

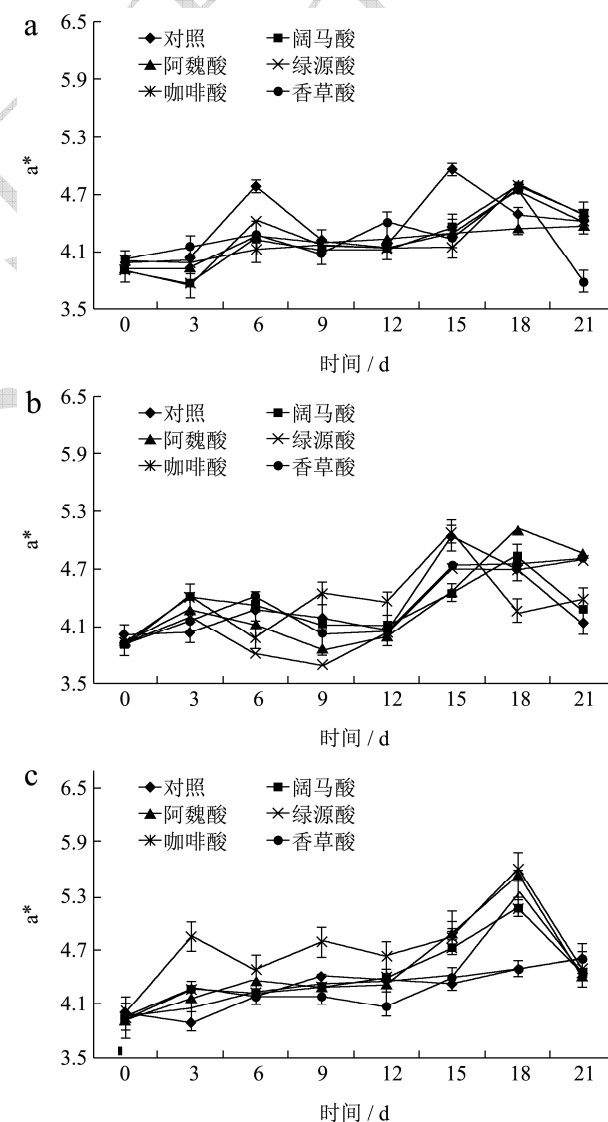
1.3.5 数据统计与分析

每个样品设 3 个平行,实验数据均采用 Excel 2010 和 SPSS 软件进行分析,采用单因素方差分析 (One-way analysis of variance, ANOVA) 和邓肯氏 (Duncan's) 差异分析,显著性水平设置为 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 酚酸辅色对三华李清汁贮藏期间色泽的影响

添加酚酸辅色后对三华李清汁色泽的影响结果由图 1 所示。图 1 显示了三华李清汁在不同贮藏温度下的红度 a^* 、色彩饱和度 C^* 以及总色差 TCD 的变化。



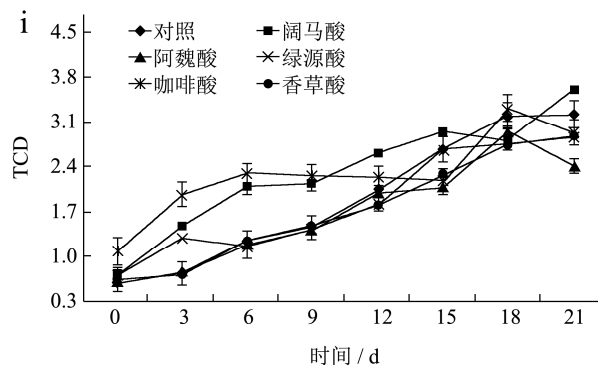
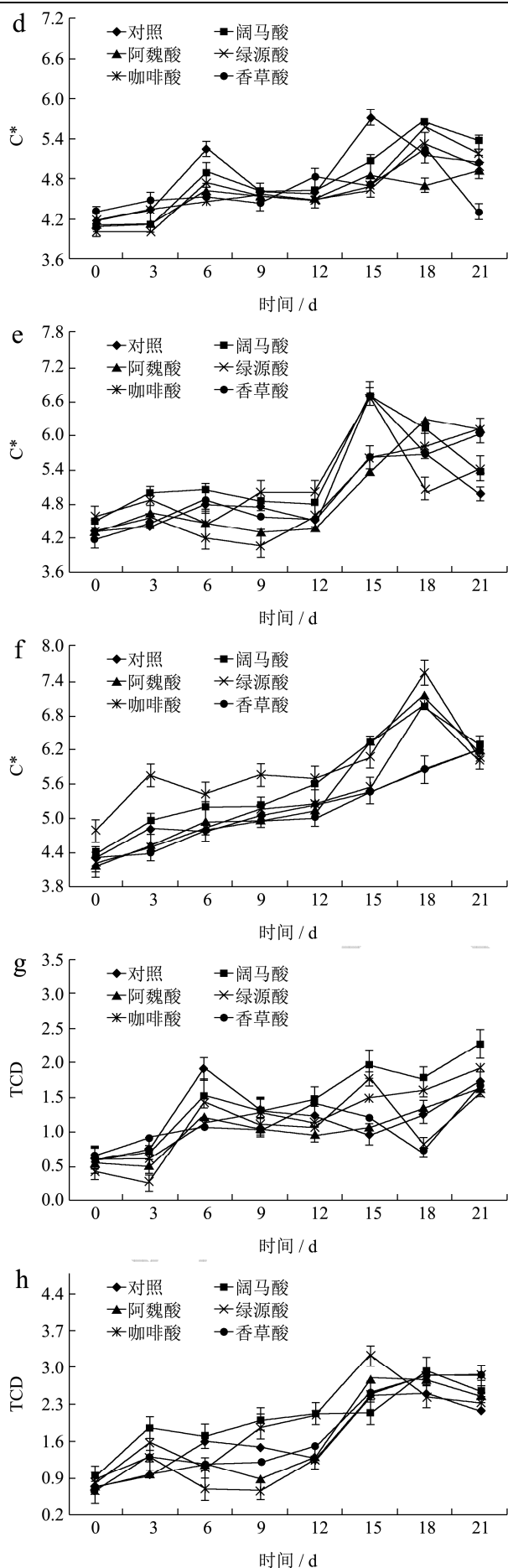


图1 酚酸对三华李清汁贮藏期间色泽的影响

Fig.1 Effects of phenolic acids on color stability of Sanhua plum juice during storage

由图 1a 和图 1d 中可知,在 4℃ 贮藏温度下,酚酸辅色的三华李清汁的红色 a^* 值以及色彩饱和度 C^* 值随着贮藏时间的延长并无明显区别,这说明在低温条件下,三华李清汁颜色变化较为缓慢,能较好地保持颜色稳定。而在加速实验条件下,随着贮藏温度的增加,酚酸辅色的三华李清汁的 a^* 和 C^* 有不同的波动,对照组的 a^* 和 C^* 值逐渐低于酚酸辅色组,说明加入酚酸可使三华李清汁的红色和色彩饱和度变得更加稳定。其中,在图 1c 和图 1f 中,在 37℃ 贮藏 21 d 期间,可以明显看出,咖啡酸辅色组的 a^* 值和 C^* 值均高于对照组和其他四种酚酸辅色组,辅色效果较为突出。

总色差 TCD 方面,如图 1g、图 1h 和图 1i 所示,在 4℃、25℃ 以及 37℃ 贮藏温度下,随着贮藏时间的延长,三华李清汁的总色差整体变化呈现上升趋势,且对照组的总色差值变化显著。说明贮藏时间越长且贮藏温度越高,对照组三华李清汁的色泽越不稳定。相比较之下,添加酚酸的三华李清汁的总色差较为稳定,五种酚酸对三华李清汁的色泽稳定性作用有所差异。其中,没马酸辅色组的总色差值较大,辅色效果不理想;绿原酸辅色组和阿魏酸辅色组的颜色变化较小,在贮藏后期还能保持较好的色泽。而单宁酸和芥子酸辅色组的杨梅清汁红色 a^* 值、色彩饱和度 C^* 以及总色差 TCD 变化均减缓,验证了酚酸可使贮藏期间的果汁保持较好色泽。

楼乐燕等^[14]研究发现贮藏后期的杨梅清汁色块同样有褐变的趋势。分析原因可能是花青素-色素复合物在储存过程中易受温度、紫外线照射、储存时间的影响而发生降解。随着贮藏时间的延长和贮藏温度的增大,花色苷发生降解生成无色的查耳酮或其同分异构体 α -二酮,从而导致发生褐变反应生成棕色物质而影响了果汁的色泽^[15-18]。

2.2 酚酸辅色对三华李清汁贮藏期间花色苷

稳定性的影响

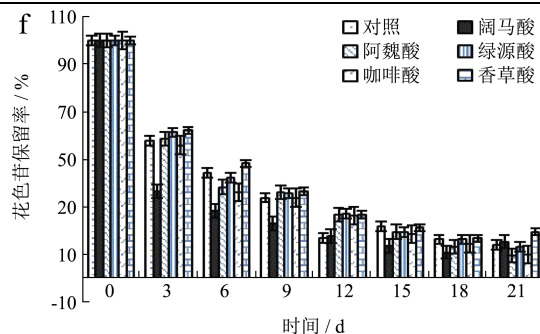
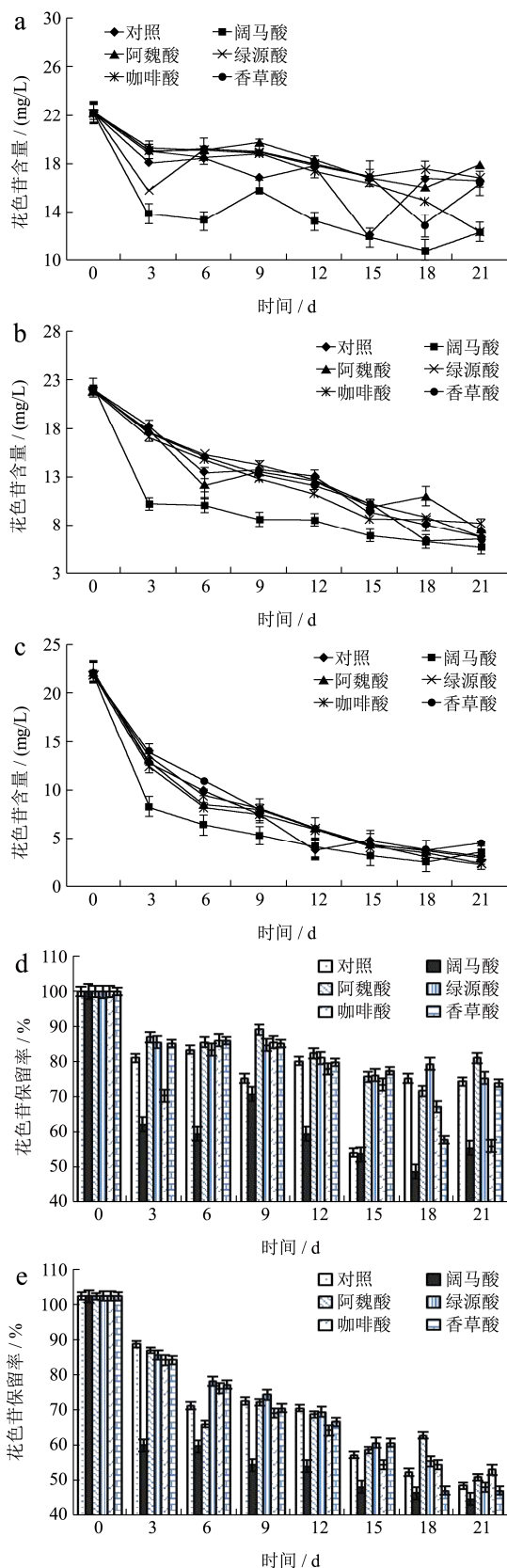


图2 酚酸对三华李清汁贮藏期间花色苷稳定性的影响

Fig.2 Effects of phenolic acids on anthocyanin stability of Sanhua plum juice during storage

注: a、d: 贮藏温度 4 °C; b、e: 贮藏温度 25 °C; c、f: 贮藏温度 37 °C。

图2显示了在不同的温度贮藏条件下, 酚酸对三华李清汁花色苷稳定性的影响。由图2a可看出, 在4 °C贮藏温度条件下, 三华李清汁花色苷稳定性表现最好, 随着贮藏时间的增加, 花色苷含量整体变化呈现小幅度下降, 其中阿魏酸、绿原酸和香草酸辅色组花色苷含量均高于对照组, 且花色苷保存率大致高达75%以上。在图2b和图2c中, 在25 °C及37 °C的贮藏温度下, 三华李清汁花色苷的降解加速, 且随着贮藏时间的增加, 三华李清汁花色苷含量呈现明显的下降趋势, 这可能是贮藏温度升高了辅色反应形成的非共价键被破坏^[19]。特别是在37 °C下, 各组的花色苷含量减少最为明显。由图2f可知, 对照组在第3 d时花色苷保留率为57.67%, 第12 d时花色苷保存率降为16.67%; 而阔马酸、阿魏酸、绿原酸、咖啡酸、香草酸辅色组在第12 d时花色苷保存率分别为17.57%、26.58%、27.03%、26.13%、26.58%, 与对照组相比分别提高了0.90%、9.91%、10.36%、9.46%和9.91%。这说明在加速实验中, 酚酸对于三华李清汁花色苷仍产生一定的辅色作用。其中阔马酸辅色效果不显著, 在三种不同的贮藏温度下, 添加阔马酸辅色的三华李清汁花色苷含量均低于对照组, 花色苷保存率也是呈现最低。但对于其他几种酚酸, 除咖啡酸辅色效果表现一般外, 阿魏酸、绿原酸以及香草酸均增加了花色苷的稳定性。

2.3 酚酸辅色对三华李清汁贮藏期间抗氧化活性的影响

由图3可知, 随着贮藏时间的增加, 三华李清汁的抗氧化活性呈现不同程度的下降。在图3a和图3b中, 在4 °C和25 °C贮藏12 d后, 对照组和五种酚酸

辅色组的抗氧化活性均出现小幅度的下降,但六组三华李清汁的抗氧化活性表现相近,添加酚酸组并未表现较强的抗氧化活性。这可能是因为低温和室温条件下,低浓度的酚酸在保留花色苷时并没有发挥较强的抗氧化作用,因而各实验组 DPPH 清除率并无明显区别。由图 3c 可看出,在 37 °C 的加速实验中,各组的 DPPH 清除率在第 12 d 后开始出现较明显的下降,在第 18 d、21 d,五种酚酸辅色组的抗氧化活性均高于对照组,说明酚酸在较高温度下对三华李清汁辅色的同时也一定程度地维持了其抗氧化活性。Kemal Sevgi 通过使用四种不同的测试系统来评估十种不同酚酸的抗氧化性,其研究表明酚酸通过其自身的羟基能够清除几乎所有类似自由基的氧化剂分子^[20]。本次实验添加的酚酸浓度较低,选择的五种酚酸受贮藏温度和贮藏时间的影响对于三华李清汁 DPPH 自由基清除作用并不显著。

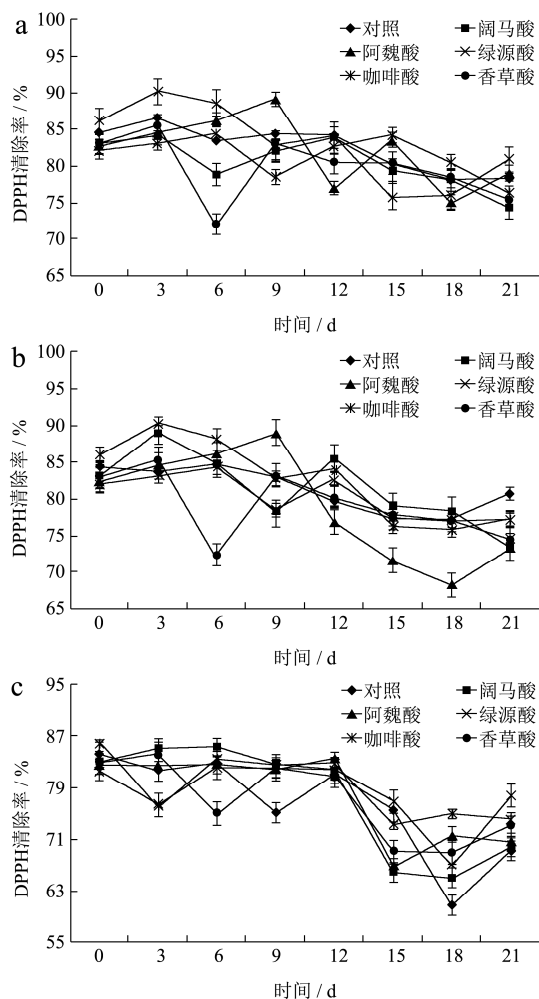


图3 酚酸对三华李清汁贮藏期间抗氧化活性的影响

Fig.3 Effects of phenolic acids on antioxidant capacity of Sanhua plum juice during storage

注: a: 贮藏温度 4 °C; b: 贮藏温度 25 °C; c: 贮藏温度 37 °C。

2.4 酚酸辅色对杨梅清汁贮藏期间透光率的影响

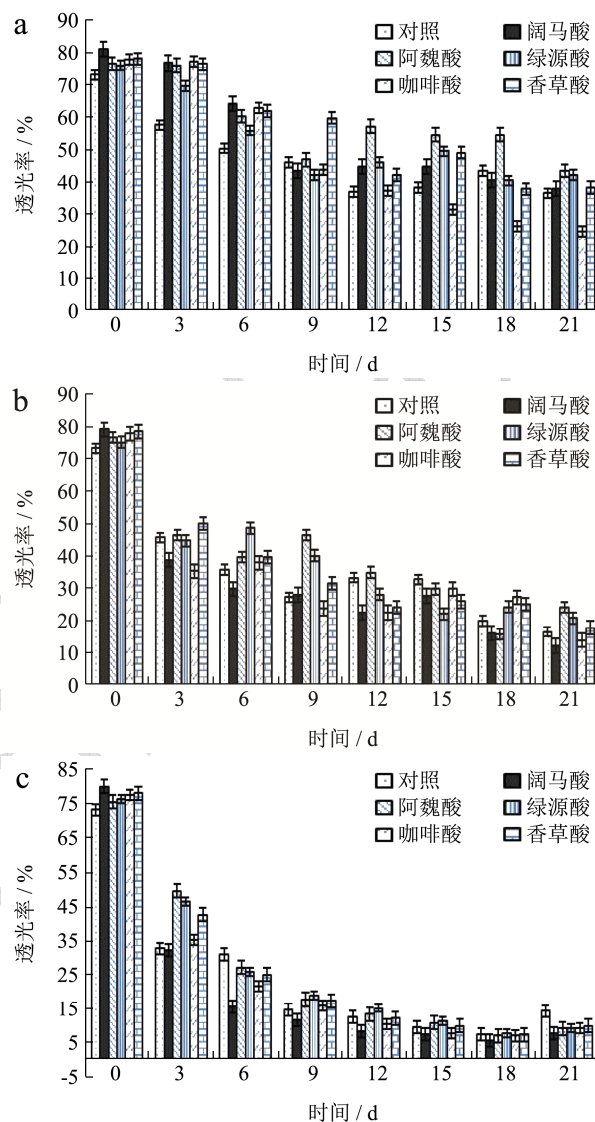


图4 酚酸对三华李清汁贮藏期间透光率的影响

Fig.4 Effects of phenolic acids on transmittance of Sanhua plum juice during storage

注: a: 贮藏温度 4 °C; b: 贮藏温度 25 °C; c: 贮藏温度 37 °C。

如图 4a 所示,在 4 °C 贮藏温度下,第 6 d 的对照组的三华李清汁的透光率为 50.31%,阔马酸、阿魏酸、绿原酸、咖啡酸、香草酸辅色组的三华李清汁的透光率分别为 64.07%、60.2%、55.9%、62.78%、61.92%,之后随着贮藏时间的延长,除咖啡酸辅色组外,其余酚酸辅色组及对照组的透光率下降趋于平缓,且酚酸辅色组的透光率均高于对照组。这说明低温条件下,加入酚酸辅色可一定程度地减缓三华李清汁产生浑浊,维持三华李清汁的品质。由图 4b 和图 4c 中可知,

在 25 ℃和 37 ℃贮藏温度下, 各组三华李清汁的透光率均呈下降趋势, 特别是在 37 ℃时下降显著, 在第 18 d, 对照组透光率降至 7.31%、阔马酸、阿魏酸、绿原酸、咖啡酸、香草酸辅色组的透光率分别为 5.59%、6.88%、7.74%、6.88%、7.31%, 肉眼观察有浑浊物和沉淀形成, 说明在 37 ℃下酚酸作用不明显。楼乐燕等的研究中亦发现对照组及酚酸辅色组的杨梅清汁透光率整体均呈下降趋势。推测酚酸辅色导致透

光率下降的主要原因可能是贮藏过程微量蛋白和多酚类物质在溶液体系中通过疏水作用力和氢键作用力而相互聚合形成混浊物, 或者是酚酸与三华李汁中本身含有的多酚类物质聚合而产生沉淀^[21-23]。

2.5 酚酸辅色对三华李清汁贮藏期间 TSS、pH 的影响

表 1 酚酸对三华李清汁贮藏期间 TSS、pH 的影响

Table 1 Effects of phenolic acids on TSS、pH of Sanhua plum juice during storage

贮藏温度	组别	TSS			pH		
		3 d	12 d	21 d	3 d	12 d	21 d
4 ℃	对照	9.78±0.07 ^a	9.96±0.02 ^a	9.89±0.03 ^a	3.12±0.01 ^a	3.09±0.01 ^a	3.01±0.00 ^a
	阔马酸	10.00±0.02 ^a	10.02±0.01 ^a	9.94±0.02 ^a	3.09±0.00 ^a	3.11±0.01 ^a	3.04±0.01 ^a
	阿魏酸	10.12±0.03 ^a	10.00±0.02 ^a	9.99±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.10±0.00 ^a	3.04±0.01 ^a
	绿原酸	10.11±0.02 ^a	10.07±0.02 ^a	10.00±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.10±0.00 ^a	3.04±0.01 ^a
	咖啡酸	10.06±0.00 ^a	9.93±0.02 ^a	9.97±0.01 ^a	3.10±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.04±0.00 ^a
	香草酸	10.06±0.00 ^a	10.00±0.03 ^a	9.99±0.02 ^a	3.10±0.00 ^a	3.12±0.00 ^a	3.04±0.00 ^a
25 ℃	对照	9.76±0.03 ^a	9.94±0.03 ^a	9.66±0.03 ^a	3.10±0.00 ^a	3.10±0.00 ^a	3.01±0.01 ^a
	阔马酸	10.05±0.03 ^a	10.12±0.07 ^a	9.53±0.10 ^a	3.11±0.01 ^a	3.11±0.01 ^a	3.01±0.00 ^a
	阿魏酸	10.10±0.02 ^a	9.97±0.02 ^a	9.86±0.07 ^a	3.10±0.01 ^a	3.10±0.01 ^a	3.02±0.00 ^a
	绿原酸	10.09±0.05 ^a	10.03±0.02 ^a	9.50±0.05 ^a	3.11±0.00 ^a	3.11±0.00 ^a	3.04±0.00 ^a
	咖啡酸	9.94±0.07 ^a	9.89±0.07 ^a	9.63±0.03 ^a	3.11±0.00 ^a	3.12±0.00 ^a	3.03±0.00 ^a
	香草酸	10.04±0.03 ^a	9.93±0.05 ^a	9.61±0.03 ^a	3.11±0.00 ^a	3.12±0.00 ^a	3.04±0.00 ^a
37 ℃	对照	10.02±0.03 ^a	9.95±0.03 ^a	9.91±0.02 ^a	3.10±0.01 ^a	3.10±0.01 ^a	3.01±0.01 ^a
	阔马酸	9.94±0.05 ^a	9.99±0.03 ^a	10.09±0.03 ^a	3.10±0.00 ^a	3.11±0.01 ^a	3.01±0.01 ^a
	阿魏酸	10.00±0.06 ^a	9.92±0.03 ^a	9.97±0.03 ^a	3.12±0.00 ^a	3.11±0.00 ^a	3.00±0.00 ^a
	绿原酸	9.85±0.03 ^a	9.99±0.01 ^a	9.90±0.01 ^a	3.12±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.02±0.00 ^a
	咖啡酸	9.88±0.02 ^a	10.00±0.02 ^a	9.96±0.01 ^a	3.12±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.02±0.00 ^a
	香草酸	10.04±0.00 ^a	10.03±0.00 ^a	9.97±0.02 ^a	3.12±0.01 ^a	3.10±0.00 ^a	3.02±0.01 ^a

注: 对于同一贮藏温度, 同列上标字母相同表示差异不显著 ($p>0.05$)。

TSS 是指液体或流体食品中所有溶解于水的化合物的总称, 包括糖、酸、维生素、矿物质等等。pH 通常用来表示有效酸度即被人感受器官所能感受到的酸度。由表 1 可见, 在 4 ℃、25 ℃和 37 ℃贮藏条件下, 不同酚酸辅色组的 TSS 含量、pH 值差别不大, 与对照组相比均无显著性变化, 且在贮藏期间也无显著性变化 ($p>0.05$), 与钟瑞等人^[24]的研究结果一致。这可能是因为三华李中总酸、糖组分等物质都无明显变化的原因, 且由于三华李清汁中有天然的缓冲介质(大部分是苹果酸钾)的存在^[25], 故 TSS、pH 值的变化都不明显。说明酚酸辅色对于三华李清汁 TSS 含量以及 pH 值无影响。

3 结论

添加酚酸可使三华李清汁维持较好的色泽。在加速货架期试验中, 三华李清汁透光率整体呈下降趋势, 花色苷降解速率加快, 加入酚酸辅色的三华李清汁颜色更加稳定, 花色苷降解速率降低, TSS 含量、pH 值无明显变化。不同酚酸辅色效果有所差异, 其中阔马酸辅色组的颜色变化较大, 在 37 ℃贮藏第 21 d 透光率为 7.74%, 花色苷保留率仅为 15.32%, 辅色效果不显著; 咖啡酸辅色组的红度 a^* 值和色彩饱和度 C^* 值保持在较高水平, 但对花色苷的辅色效果表现一般; 相比较之下, 添加阿魏酸和绿原酸辅色的三华李清汁总色差值 TCD 变化较小, 贮藏期间中色泽更加稳定。在 37 ℃贮藏第 12 d, 其花色苷保留率分别提高了 9.91%和 10.36%, 较好地维持三华李清汁的品质, 且对果汁的其余理化指标影响均较小, 可考虑选择阿魏

酸和绿原酸作为辅色剂应用于三华李清汁。酚酸对人体具有广泛的生理作用,但在实际生产过程中添加酚酸对于三华李清汁的口感、风味等其它感官指标的影响以及酚酸在人体内吸收和代谢的方式还有待深入研究。

参考文献

- [1] 何忠望,邱粤平.三华李优质丰产栽培技术要点[J].南方农业,2017,11(5):1-2
HE Zhong-wang, QIU Yue-ping. Cultivation techniques for high quality and high yield of plum in Sanhua [J]. Southern Agriculture, 2017, 11(5): 1-2
- [2] 郭翠红,何业华,冯筠庭,等.广东省李产业发展现状调查[J].经济林研究,2015,33(1):141-146
GUO Cui-hong, HE Ye-hua, FENG Jun-ting, et al. Investigation on the development status of li industry in Guangdong province [J]. Economic Forest Research, 2015, 33(1): 141-146
- [3] LIU Cheng-hai, XUE Hong-kun, SHEN Liu-yang, et al. Improvement of anthocyanins rate of blueberry powder under variable power of microwave extraction [J]. Separation and Purification Technology, 2019, 23: 226
- [4] 赵子丹,葛谦,牛艳.花色苷的稳定性研究进展[J].宁夏农林科技,2016,57(2):50-53
ZHAO Zi-dan, GE Qian, NIU Yan. Research progress on the stability of anthocyanin [J]. Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2016, 57(2): 50-53
- [5] SHI Min, HUANG Fen-fen, DENG Chang-ping, et al. Bioactivities, biosynthesis and biotechnological production of phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(6): 953-964
- [6] 陈志杰,吴嘉琪,马燕,等.植物食品原料中酚酸的生物合成与调控及其生物活性研究进展[J].食品科学,2018,39(7): 321-328
CHEN Zhi-jie, WU Jia-qi, MA Yan, et al. Progress in biosynthesis and regulation of phenolic acids in plant food [J]. Food Science, 2008, 39(7): 321-328
- [7] 楼乐燕,岳阳,尹培,等.单宁酸和绿原酸对杨梅花色苷的辅色作用[J].食品与发酵工业,2019,45(4):74-80
LOU Le-yan, YUE Yang, YIN Pei, et al. Cochromogenic effect of tannin and chlorogenic acid on anthocyanin of arbutus [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(4): 74-80
- [8] 苏帆.酚酸辅色及微胶囊化对红肉苹果花色苷稳定性的影响[D].西安:陕西师范大学,2017
- SU Fan. Effect of phenolic acid auxiliary color and microencapsulation on the stability of anthocyanin in red meat apple [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017
- [9] 闫怀锋.有机酸、酚醛对甘蔗花色苷辅色作用的研究[D].广州:华南理工大学,2017
YAN Huai-feng. Study on the co-coloration of anthocyanin in sugarcane by organic acid and phenolic aldehyde [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017
- [10] ZHANG Bo, HE Fei, ZHOU Pan-Pan, et al. The color expression of copigmentation between malvidin-3-O-glucoside and three phenolic aldehydes in model solutions: The effects of pH and molar ratio [J]. Food Chemistry, 2016, 199(15): 220-228
- [11] 龚小洁,余元善,徐玉娟,等.鲜龙眼果肉的干酪乳杆菌发酵特性的研究[J].食品科技,2015,6:6-10
GONG Xiao-Jie, YU Yuan-shan, XU Yu-juan, et al. Fermentation characteristics of *Lactobacillus casei* in fresh longan pulp [J]. Food Science and Technology, 2015, 6: 6-10
- [12] 肖仔君,钟瑞敏,许晓春,等.三华李果渣食用色素提取及其稳定性研究[J].食品与机械,2010,26(2):27-32
XIAO Zai-jun, ZHONG Rui-min, XU Xiao-chun, et al. Study on the extraction and stability of food pigment from plum residue of Sanhua [J]. Food and Machinery, 2010, 26(2): 27-32
- [13] Sokół-Lętowska Anna, Kucharska Alicja Z, Wińska Katarzyna, et al. Composition and antioxidant activity of red fruit liqueurs [J]. Food Chemistry, 2014, 157(15): 533-539
- [14] 楼乐燕,陈虹吉,尹培,等.酚酸增强杨梅清汁贮藏期间色泽稳定性[J].食品科学,2019,40(9):220-227
LOU Le-yan, CHEN Hong-ji, YIN Pei, et al. Phenolic acids enhance the color stability of arbutus juice during storage [J]. Food Science, 2019, 40(9): 220-227
- [15] 单建伟,刘晓津,索海翠,等.植物花色苷的研究进展[J].南方农业学报,2019,50(2):278-285
SHAN Jian-wei, LIU Xiao-jin, SUO Hai-cui, et al. Advances in anthocyanins in plants [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(2): 278-285
- [16] Faria A, Fernandes I, Norberto S, et al. Interplay between anthocyanins and gut microbiota [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(29): 6898-6902
- [17] Bolívar A C, Luis C Z. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants [J]. Food Chemistry, 2003, 86(1): 69-77