

三角梅红色素的稳定性

李丽¹, 罗李秀¹, 邱然², 王祥余³, 邵淑娟^{4,5}, 吴键航^{1*}, 宗绪岩^{1*}

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)
(2. 华润啤酒(控股)有限公司, 北京 100005)(3. 广东溢多利生物科技股份有限公司, 广东珠海 519000)
(4. 菏泽市行政审批服务局, 山东菏泽 274000)(5. 菏泽市食品药品检验检测研究院, 山东菏泽 274000)

摘要: 该文研究了三角梅花瓣中红色素的稳定性, 由于该色素在提取、保存和应用中无法避免加热、调节 pH 值以实现酶、微生物的灭活和水分的去除, 在整个过程中三角梅色素的稳定性易受这些条件影响, 为解决此问题, 采用分光光度法对三角梅红色素的稳定性进行研究。结果表明: 三角梅色素在 pH 值为 7, 温度为 60 °C, 避光保存下最稳定; 相较于还原剂 (Na₂SO₃), 氧化剂 (H₂O₂) 对三角梅色素稳定性影响大, 加入稳定剂可以缓解氧化剂对三角梅色素稳定性的影响; 苯甲酸钠、碳酸氢钠、柠檬酸、维生素 C 和山梨酸钾浓度为 0.4 mol/L 可以延缓三角梅色素的分解; 金属离子 Pb²⁺、Al³⁺、Na⁺ 对色素稳定性的影响不显著; Ag⁺、Bi²⁺ 会使色素吸光值变大, 且颜色变成玫红色, Cu²⁺ 会使色素变成橙红色, 在没有稳定剂的条件下 Fe³⁺ 使色素变成血红色, 因此在实验过程中应该避免与这几种金属离子接触。该研究结果为三角梅红色素的应用提供重要参考和指导。

关键词: 三角梅; 红色素; 提取; 稳定性

文章编号: 1673-9078(2024)12-301-308

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.12.1448

Stability of Red Pigment in *Bougainvillea* Petals: Impact of pH, Temperature, and Chemical Agents

LI Li¹, LUO Lixiu¹, QIU Ran², WANG Xiangyu³, SHAO Shujuan^{4,5}, WU Jianhang^{1*}, ZONG Xuyan^{1*}

(1. Liquor Brewing Biotechnology and Application Key Laboratory of Sichuan Province, College of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644000, China)(2. China Resources Beer (Holdings) Company Limited, Beijing 100005, China)(3. Guangdong Vtr Bio-Tech Co. Ltd., Zhuhai 519000, China)
(4. Heze Administrative Approval Service Bureau, Heze 274000, China)
(5. Heze Food and Drug Inspection and Testing Research Institute, Heze 274000, China)

Abstract: The stability of the red pigment in *Bougainvillea* petals was examined during key processes such as extraction, preservation, and application, focusing on factors including heating, pH adjustment, and water removal for enzyme and microbial inactivation. The stability of the pigment was vulnerable to these conditions throughout the process. Using a

引文格式:

李丽, 罗李秀, 邱然, 等. 三角梅红色素的稳定性[J]. 现代食品科技, 2024, 40(12): 301-308.

LI Li, LUO Lixiu, QIU Ran, et al. Stability of red pigment in *Bougainvillea* petals: impact of pH, temperature, and chemical agents [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(12): 301-308.

收稿日期: 2023-12-05

基金项目: 香料植物资源开发与利用四川省高校重点实验室开放基金项目 (2015XLY007)

作者简介: 李丽 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学, E-mail: kokonice@139.com; 共同第一作者: 罗李秀 (1999-), 女, 硕士, 研究方向: 粮油深加工, E-mail: luolixiu1999@163.com

通讯作者: 吴键航 (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 酿酒过程优化与调控, E-mail: wujianhang1996@163.com; 共同通讯作者: 宗绪岩 (1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 发酵工程与过程控制, E-mail: suse62651@139.com

spectrophotometric method, it was determined that the pigment exhibits maximum stability at a pH of 7, a temperature of 60 °C, and when stored in the dark. The stability of the pigment was more significantly affected by the oxidant hydrogen peroxide than by the reducing agent sodium sulfite. The addition of stabilizers, such as sodium benzoate, sodium bicarbonate, citric acid, vitamin C, and potassium sorbate at a concentration of 0.4 mol/L, helped mitigate the impact of the oxidant on pigment stability. Metal ions such as lead(II), aluminum(III), and sodium(I) did not significantly affect the stability of the pigment. However, silver(I) and bismuth(II) increased the absorbance of the pigment, producing a rosy red color. Copper(II) caused the pigment to turn orange-red, and without stabilizers, iron(III) caused the pigment to turn blood-red. Avoiding contact with these metal ions is recommended during experiments. These findings provide valuable insights for the practical application of *Bougainvillea* red pigment.

Key words: *Bougainvillea*; red pigment; extraction; stability

食品着色剂能改善食物色泽, 改善口感, 延长保质期, 检验食品品质, 还能影响消费者的决定以及购买意愿, 在食品工业中应用广泛^[1]。一些功能型天然色素, 如花青素、甜菜碱、叶黄素、类胡萝卜素等, 接近天然形式, 无毒无害, 抢占合成色素市场, 更受到食品界的青睐。开发天然色素成为各行业科技工作者普遍关注的课题。虽然天然色素安全、无毒副作用, 但在提取、保存和应用过程中容易受各种因素(如光照、温度、糖、氧气、pH值、金属离子、添加剂等)的影响而发生褪色、变色等方面的变化, 严重制约了天然色素代替人工合成色素的进程。

三角梅是石竹目紫茉莉科宝巾花属藤本灌木^[2], 它的种植简单而广泛, 除了可以作为观赏植物外, 还具有食用价值, 在印度、摩洛哥和墨西哥有食用三角梅和用三角梅治疗疾病的记录^[3]。三角梅花瓣色泽艳丽, 主要为紫红或玫瑰红, 研究表明三角梅花中的红色素不仅色泽鲜艳, 而且具有极强的抗氧化^[4]、消炎、镇痛^[5]、降血糖、免疫调节等功能^[6], 是开发天然食用色素的良好资源, 具有广阔的应用前景^[7]。作为天然色素, 三角梅红色素未成为食品和饮料、化妆品、医药、纺织等领域潜在的天然色素^[8]。目前, 有学者对使用分子生物学技术, 对新苞片种质亲缘关系、群体水平泛转录组表达谱、花色变异和花色变化的分子机制进行了研究, 为未来确定各亚属和种的分类提供基础^[9], 同时对三角梅在干旱、盐碱等不同环境中的种植方式进行深入研究^[10]。除了基础科学之外, 三角梅在园林、绿化工程中的应用、三角梅苞片和花的活性成分的提取和药理方面也是目前的研究热点^[11-14]。但是缺乏对三角梅花瓣中红色素的稳定性研究较少, 因此需要进一步研究各种影

响因素在使用过程中对三角梅色素稳定性的影响。本文对三角梅在不同温度、酸碱性条件以及食品添加剂等环境下的稳定性进行研究, 了解三角梅红色素稳定性性质, 对其今后作为食品增色剂用于生活或者作为染料用于工业都能提供理论基础, 对其抗氧化的研究可以在医疗和保健领域找到它的利用价值, 从而为三角梅资源的研究和开发提供理论上的支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

三角梅采摘于四川轻化工大学校内; 氯化钠, 成都金山化学试剂有限公司; 葡萄糖、维生素C、茶多酚、苯甲酸钠、山梨酸钾、碳酸氢钠(食品级), 河南中辰生物科技有限公司; 柠檬酸(食品级), 山东轩实业股份有限公司; 亚硫酸钠(食品级), 天津市科茂密欧化学试剂有限公司; 甲醇(分析纯), 上海源叶生物科技有限公司; 硫酸铜(分析纯), 天津市众联化学试剂有限公司; 氯化铝、硝酸银、醋酸铅、氯化铁、冰乙酸、盐酸、过氧化氢(分析纯), 成都市科隆化学品有限公司。

UV-1601型紫外分光光度计, 北京北分瑞利分析仪器(集团)有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 三角梅红色素提取工艺流程

新鲜三角梅(鲜采于川南地区)清洗干净后自然晾干, 用研钵捣碎, 加入溶剂按照一定的工艺条件进行提取, 提取液离心后待用。提取流程如下:

新鲜三角梅→切碎→研磨→浸提→离心→三角梅红色素提取原溶液

1.2.2 三角梅红色素最大吸收峰的测定

称取 0.5 g 三角梅, 于研钵中破碎后加入 100 mL 去离子水, 常温下浸泡 2 h, 离心 (3 000 r/min, 10 min), 取上清液, 在 420~600 nm 处测最大吸收峰。

1.2.3 三角梅红色素稳定性的研究

1.2.3.1 稳定剂的选择

取 10 mL 三角梅红色素提取原液于无色透明容量瓶中, 分别加入 0.4 mol/L 的茶多酚、维生素 C、柠檬酸、苯甲酸钠溶液 1 mL, 混匀, 置于常温避光处保存 4 d, 每隔 1 d 观察其颜色、浑浊度等物理现象的变化。

1.2.3.2 稳定剂浓度的选择

取 10 mL 三角梅红色素提取液, 分别加入浓度为 0.2、0.4、0.6、0.8 mol/L 维生素溶液 1 mL, 避光保存, 在 0、1、4、12、24 h 时测其吸光度, 根据吸光度确定稳定剂的最佳用量。

1.2.3.3 温度对色素稳定性的影响

取 10 mL 三角梅红色素提取液, 加入 1 mL 稳定剂, 再分别于 20、30、40、50、60、70、80、90 °C 的恒温水浴锅中保温 60 min 后迅速冷却, 测定吸光度, 同时不加稳定剂重复试验。

1.2.3.4 光照时间对色素稳定性的影响

取 10 mL 三角梅红色素提取液, 加入 1 mL 稳定剂, 用试管塞塞住, 放在日光下, 每 1 h 取样, 测定其吸光度, 同时不加稳定剂重复试验。

1.2.3.5 pH 值对色素稳定性的影响

取 9 mL 三角梅红色素提取液, 加入 1 mL 稳定剂, 再分别加入 pH 值为 2、4、6、7、8、10、12 的溶液, 充分摇匀, 静置, 测定色素溶液的吸光度, 观察颜色的变化, 同时不加稳定剂重复试验。

1.2.3.6 氧化还原剂对色素稳定性的影响

取 8 份 9.0 mL 三角梅红色素提取液, 加入 1 mL 稳定剂, 分别加入 0.01、0.03、0.1、0.2 mol/L 的 H₂O₂ 溶液, 0.005、0.01、0.03、0.1 mol/L 的 Na₂SO₃ 溶液, 另取 9.0 mL 三角梅红色素提取液加入 1 mL 蒸馏水, 测定吸光度为原液吸光度, 静置 60 min, 观察颜色变化, 测定溶液的吸光度, 同时不加稳定剂重复试验。

1.2.3.7 金属离子对色素稳定性的影响

取三角梅提取色素母液 0.5 mL, 加入 1 mL 稳定剂, 再分别加入 0.1 mol/L 的 Cu²⁺、Al³⁺、Bi²⁺、Ag⁺、Pb²⁺、Na⁺、Fe³⁺ 溶液 10 mL, 且用去离子水

定容至 25 mL, 静置 60 min, 观察溶液颜色变化, 测溶液吸光度, 同时不加稳定剂重复试验。

1.2.3.8 食品添加剂对色素稳定性的影响

取三角梅提取色素母液 0.5 mL, 加入 1 mL 稳定剂, 分别加入 0、0.1、0.5、1 mol/L 的食品添加剂 (柠檬酸、苯甲酸钠、碳酸氢钠、维生素 C、山梨酸钾) 溶液 5 mL, 静置 60 min, 测定其吸光度, 同时不加稳定剂重复试验。

1.3 数据处理

利用 Excel 软件对数据进行处理, 并用 Origin 2022 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 三角梅红色素最大吸收峰的测定结果

花色苷可见光范围最大吸收波长在 480~550 nm 范围内, 由图 1 可知, 提取的三角梅红色素在可见光区 540 nm 处有最大吸收, 说明该色素可能是一种花色苷色素^[15], 并确定该实验所用最大吸收波长为 540 nm。

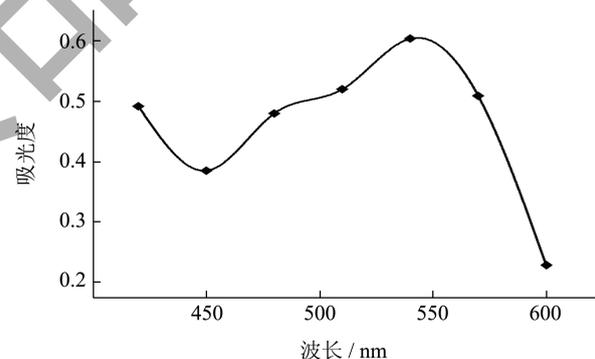


图 1 三角梅红色素溶液最大吸收峰测定

Fig.1 The maximum absorption peak of the red pigment solution of *Bougainvillea*

2.2 三角梅红色素稳定性试验结果

2.2.1 稳定剂对三角梅红色素的影响

表 1 是稳定剂对三角梅红色素颜色、浑浊度等物理现象的影响, 添加了稳定剂的提取液比未添加稳定剂的提取液更稳定。放置 1 d, 所有溶液未出现显著变化。放置 3 d 后, 除添加维生素 C 的提取液颜色基无显著变化, 只出现轻微浑浊, 添加其余稳定剂的溶液均出现颜色变深, 浑浊, 甚至出现霉点的现象。到 4 d 时, 添加维生素 C 的提取液才出现颜色变深和少许霉点。

表 1 稳定剂对三角梅红色素的影响

Table 1 Effect of stabilisers on the red pigmentation of *Bougainvillea*

放置 时间/d	稳定剂				
	无稳定剂	茶多酚	维生素 C	柠檬酸	苯甲酸钠
1	深红, 清澈				
2	紫红, 略浑浊	紫红, 清澈	深红, 清澈	紫红, 略浑浊	紫红, 较浊
3	紫红, 较浑浊, 少许霉点	紫红, 略浑浊, 少许霉点	深红, 略浑浊	紫红, 略浑浊, 少许霉点	紫红, 较浑浊, 多霉点
4	暗红, 有絮状物, 多霉点	暗红, 浑浊, 多霉点	暗红, 较浑浊, 少许霉点	暗红, 浑浊, 多霉点	暗红, 浑浊, 有絮状物, 多霉点

维生素 C 保存效果最好, 其次是茶多酚、柠檬酸, 苯甲酸钠稳定效果最差。可能与稳定剂自身结构有关, 维生素 C 具有清除自由基的作用, 作为酸性物质还可以钝化促进自动氧化的金属离子, 从而对三角梅红色素保护效果显著。学者对 *Rivina humilis* L. 浆果汁中甜菜碱稳定性进行研究, 表明使用维生素 C 可以增强甜菜碱的化学稳定性^[16]。本实验相添加苯甲酸钠的三角梅红色素提取液在 2 d 时就出现浑浊现象, 添加 Vc 的三角梅红色素提取液在 4 d 才出现浑浊, 刘英丽^[17]用 0.4 mol/L 的苯甲酸钠和 0.4 mol/L 的 Vc 做甜菜红素提取液的稳定剂, 在 7 d 后颜色分别呈现出最深的红色和较深的红色, 证明添加苯甲酸钠和 Vc 可以保护甜菜红素的稳定性。可能是色素提取液中的大分子物质与苯甲酸钠发生了反应。说明单独添加 Vc 对三角梅红色素的稳定性有显著提高, 因此实验选择 Vc 做三角梅红色素提取液的稳定剂。

2.2.2 稳定剂浓度对三角梅红色素的影响

图 2 表示稳定剂的浓度三角梅红色素的影响, 根据 2.2.1 试验结果, 选择维生素 C 作为三角梅红色素提取液的稳定剂, 色素吸光度均出现下降趋势。保存时间到 4 h 时, 吸光度随着稳定剂浓度变化几乎未出现下降, 因此保存时间小于 4 h 时, 添加稳定剂的三角梅色素较稳定性。可能是粗制色素提取液中含有的抗氧化剂和酚类物质与维生素 C 共同起抗氧化作用, 保护色素。到第 24 小时, 添加 0.4 mol/L 维生素 C 的三角梅红色素的吸光度只降低了 0.089, 说明添加 0.4 mol/L 维生素 C 的三角梅红色素更稳定, 也有实验证明低浓度的抗坏血酸能增加甜菜碱的稳定性^[18]。随着浓度增加, 特别添加 0.8 mol/L 维生素 C 的三角梅色素吸光度反而下降了 0.111, 这可能是由于高浓度维生素 C 溶液与色素提取液中的溶解氧发生反应生成脱氢抗坏血酸的过程中产生了过氧化氢促进氧化^[19]。

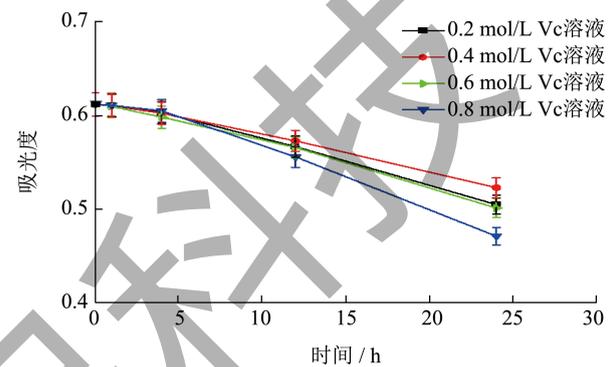


图 2 稳定剂浓度对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.2 Effect of concentration on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

2.2.3 温度对色素稳定性的影响

图 3 表示三角梅红色素在相应温度下保存 1 h 取出冷却后的吸光度, 由图可知, 无论是否添加稳定剂, 三角梅红色素在不同温度下都发生了不同程度的降解。温度为 60 °C 时, 添加稳定剂和未添加稳定剂的三角梅色素吸光度仅降低了 0.030 和 0.043, 色素在较低温度下, 随温度升高吸光度下降缓慢, 颜色变化也不显著, 说明色素在较低温度下稳定性好。超过 60 °C 后, 色素吸光度下降显著, 颜色也逐渐从红色变为棕色, 当温度达到 90 °C 时为添加稳定剂的三角梅色素吸光度降低了 0.444, 因此, 三角梅色素应该在低于 60 °C 下保存。原因可能是三角梅红色素中含有羟基 (-OH) 和羰基 (C=O), 随着温度升高活性升高, 易受到羟基自由基 (-OH)、超氧阴离子 (-O₂) 和脂肪族侧链断裂产生的自由基的影响^[20]。高温处理的溶液诱导了增色效应, 使酚类化合物的去质子化, 形成红棕色查耳酮^[21]。罗伟强等^[22]研究 pH 值为 7 的三角梅红色素溶液在 75 °C 时, 色素颜色稳定基本无变化, 超过 75 °C 后加热 1 h 色素颜色变浅。刘伟等^[23]研究温度对紫甘蓝色素的影响结果表明, 温度小于 60 °C, 色素吸光度下降缓慢, 温度到 70 °C 时, 色素吸光度下降迅速。

仲冉等^[24]研究温度对红肉火龙果甜菜苷影响,发现高温处理对色素有显著影响,温度超过 80 °C 时红色会迅速消失。实验都证明色素在超过 60 °C 的环境中,稳定性随着温度升高而降低,与本实验结果类似。温度过高,色素不稳定,维生素 C 也被破坏,稳定效果差。因此色素的利用和保存都应该在中低温的环境下进行,本实验中稳定剂在温度这一影响因素中作用小。

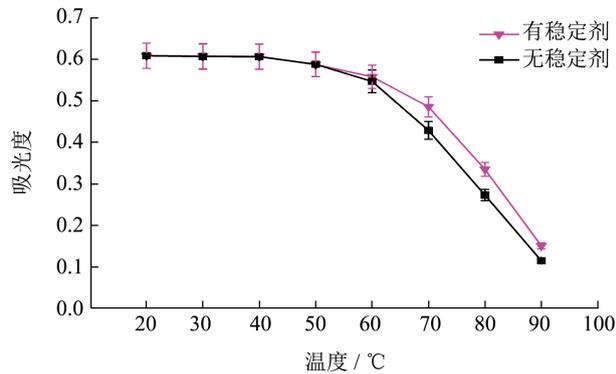


图3 不同温度对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.3 Effect of different temperatures on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

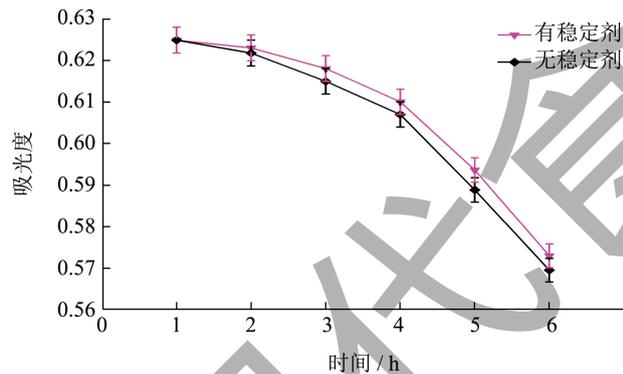


图4 光照时间对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.4 Effect of light duration on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

2.2.4 光照时间对色素稳定性的影响

图4研究在自然光照下,光照时间对添加稳定剂和未添加稳定剂的三角梅红色素稳定性的影响。无论是否添加稳定剂,随着光照时间延长,吸光度都降低,光照时间到6 h 时仅下降了 0.056,虽然光照对三角梅色素吸光度影响小,在三角梅红色素提取加工过程中也应该尽量避免长时间阳光直射,尽量避免使用室外线杀菌,减少光线对色素的影响。张强等^[25]用自然光和紫外线光的照射后测定马齿苋红色素吸光度,实验结果表明,经过自然光光照射

6 h 后的色素吸光度下降不显著,但经过紫外光照射后色素吸光度下降非常显著,并证明紫外线光长时间照射后色素结构改变导致色素吸光度降低,自然光中有较强的紫外光,要避免阳光直射马齿苋红色素,与本实验得出结论相同。可能是因为色素发色基团中的电子被激发到了更高的状态,增加了分子的反应性或者降低了分子的活化能,色素分解速度加快,使得色素吸光度降低。

2.2.5 pH值对色素稳定性的影响

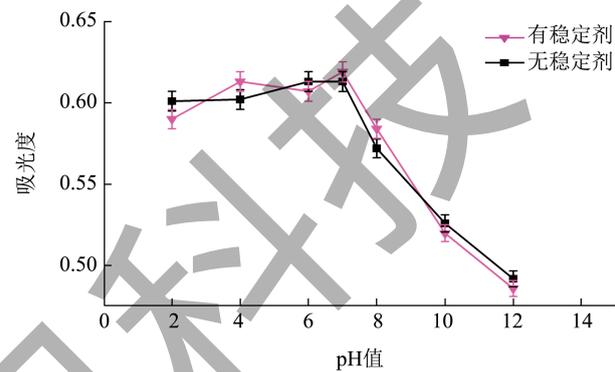


图5 pH值对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.5 Effect of pH on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

图5表示 pH 值对色素稳定性的影响。添加稳定剂和未添加稳定剂的色素吸光度都出现下降,且趋势几乎一致。pH 值为 2 至 pH 值为 7 范围内,三角梅色素吸光度增加,在 pH 值为 6~7 时吸光度变化小且在 pH 值 7 时达到最大值 0.613,当 pH 值 > 7,三角梅红色素开始变淡,并逐渐变黄,pH 值为 8 时,吸光度下降了 0.041,因此三角梅色素应该在 pH 为 6~7 下保存。刘雨桐等^[26]研究发现 pH 值 < 5 或 pH 值 > 7 五指毛桃黄酮类色素含量明显减少,颜色明显改变。Sen 等^[27]发现火龙果果皮色素在 pH 值为 6 时保存率最高,稳定性最强,碱性条件下会导致色素损失。赵娟娟等^[28]研究黄顶菊色素稳定性结果表明强酸碱性条件下更容易破坏色素的结构,使吸光值下降,黄色素应该在中性或弱酸条件下使用,与本实验结果类似,分析原因可能是碱性增强,色素的醛亚胺键逐渐水解,颜色黄移,生成完全离子化的无色或浅黄色的查尔酮。生活中绝大多数食品 pH 值介于酸性和弱酸性之间,可见三角梅红色素适合在食品体系中使用。

2.2.6 氧化剂还原剂对色素稳定性的影响

图6、图7分别表示氧化剂 (H_2O_2) 和还原剂

(Na_2SO_3) 对三角梅红色素稳定性的影响。虽然添加还原剂和氧化剂的三角梅色素吸光度都下降, 仅添加氧化剂和同时稳定剂和氧化剂的三角梅色素吸光度分别下降了 0.094、0.213, 仅添加还原剂和同时添加稳定剂和氧化剂的三角梅色素吸光度分别为 0.044、0.045。罗伟强等^[22]研究了三角梅色素稳定性, 赵娟娟等^[28]研究发现随着时间的增加黄顶菊黄色素在第 48 h 后的吸光度下降显著, 说明氧化剂、还原剂的加入会使黄色素变的不稳定, 且破坏作用随着时间的增加而增大。王晓晶等^[29]发现随着氧化剂浓度升高, 木枣红色素的吸光度逐渐降低。严景臣等^[30]研究发现随着氧化剂、还原剂浓度升高, 焦糖色素的色率下降。分析可能是过氧化氢作为一种强氧化剂, 电离后迫使色素颜色改变, 而吸光度降低。亚硫酸钠是强还原剂, 可以增强食物的颜色, 同时还具有防腐功能。本实验经过说明氧化剂对三角梅红色素的稳定性影响较显著, 低浓度的亚硫酸氢钠对三角梅色素的影响不显著。

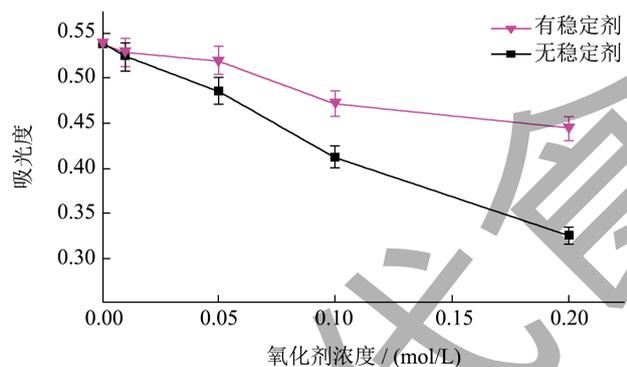


图 6 氧化剂浓度对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.6 Effect of oxidant concentration on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

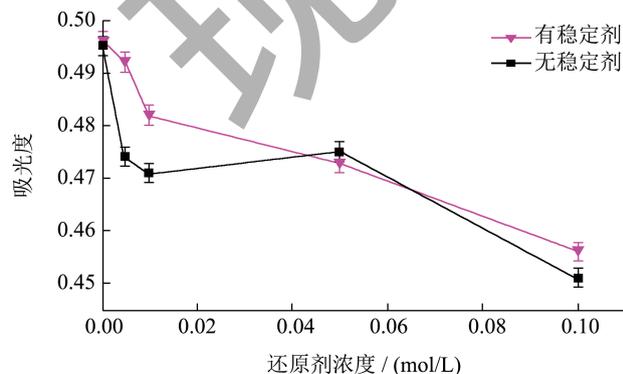


图 7 还原剂浓度对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.7 Effect of reducing agent concentration on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

2.2.7 金属离子对色素稳定性的影响

图 8 表示常见金属离子对三角梅红色素提取液稳定性影响, 对照组溶液呈现鲜红色, 含 Al^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Na^{+} 的色素提取液颜色与对照组颜色相同, 吸光度值改变较小, 说明该三种离子对色素稳定性无显著影响, 原因是离子与色素结合, 使色素更稳定^[31]。含 Ag^{+} 、 Bi^{2+} 的提取液相较于对照组, 吸光度值增大, 颜色呈现玫红色, 含 Cu^{2+} 的提取液吸光度值增加, 颜色为橙红色, 含有 Fe^{3+} 的色素提取液颜色为血红色, 加入稳定剂溶液颜色保持不变, 加入稳定剂后效果不显著。Wang 等^[32]、边名鸿等^[33]研究姜黄色素、细菌红色素稳定性结果也证明了要避免与含有 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 的器皿、包装接触, 与本实验结论相同, 分析原因可能是金属离子与三角梅红色素中羟基发生了络合反应, 形成离子-色素复合物。 Cu^{2+} 催化三角梅红色素氧化生成 2-脱羧基-黄嘌呤新甜菜苷(黄色)导致^[34]。 Fe^{3+} 与破坏三角梅红色素中双键, 与酚羟基络合, 破坏色素结构, 导致溶液变成血红色。因此在提取保存和应用过程中应该避免与 Ag^{+} 、 Bi^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 离子接触。由此分析可以用三角梅红色素络合金属离子, 降低游离离子在食品中的浓度, 从而抑制含有未配对电子的金属离子催化产生自由基的过程。

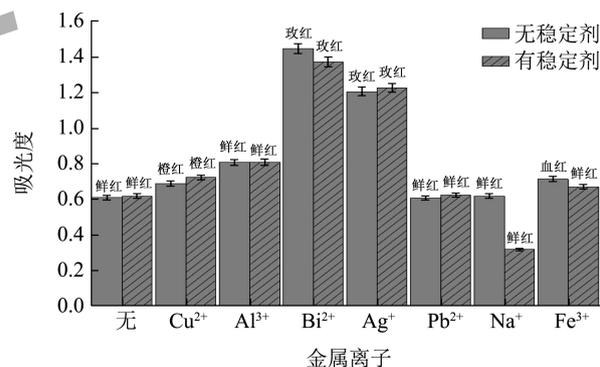


图 8 金属离子对三角梅红色素稳定性的影响

Fig.8 Effect of metal ions on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

2.2.8 食品添加剂对色素稳定性的影响

图 9 表示食品添加剂对色素稳定性的影响, 添加不同添加剂的三角梅色素溶液吸光度变化趋势小, 因此添加剂在一定程度上可以延缓三角梅红色素降解, 添加了苯甲酸钠的色素溶液吸光度下降快。徐馨等^[35]实验表明苯甲酸钠对火龙果色素稳定性不显著, 与本实验研究结论不符, 分析原因, 苯甲酸钠最小抑制浓度 $\geq 0.4 \text{ mol/L}$, 虽然试验浓度达

到,但稳定效果不好,可能是苯甲酸钠在色素提取液(中性)中发生解离,降低苯甲酸钠的抑菌作用,而且 Na^+ 对三角梅红色素的影响小,因此在该实验范围内,对三角梅红色素表现出较弱的作用。

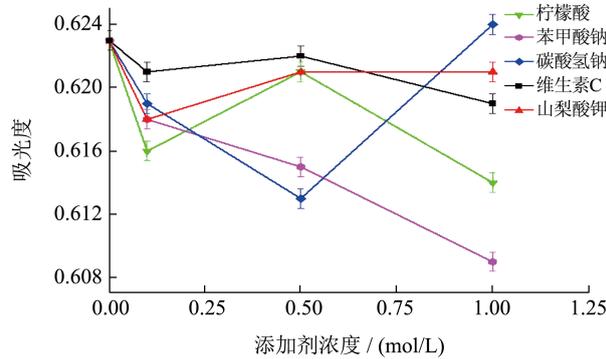


图9 食品添加剂对三角梅色素稳定性的影响

Fig.9 Effect of food additives on the stability of red pigment of *Bougainvillea*

3 结论

试验以新鲜三角梅为原料,用葡萄糖溶液提取三角梅红色素,探讨了稳定剂种类、稳定剂浓度、温度、光照时间、pH值、氧化还原剂、金属离子和食品添加剂对三角梅红色素稳定性的影响。试验结果表明,三角梅红色素不宜在碱性或过酸条件下使用;温度超过 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,光照时间过长易破坏三角梅红色素,在应用时应该避光、低温存储;添加稳定剂能增强色素稳定性。三角梅红色素对氧化剂耐受力比较弱,添加维生素C可以增强对过氧化氢的耐受力,低浓度还原剂对其影响不显著;金属离子 Pb^{2+} 、 Al^{3+} 、 Na^+ 对色素稳定性的影响不显著;实验或生产中应避免三角梅红色素与含有 Ag^+ 、 Bi^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 的试剂器皿接触。在本实验条件下,一定剂量范围内苯甲酸钠、碳酸氢钠、柠檬酸、维生素C、山梨酸钾可以延缓色素的降解。该研究结果可以为三角梅红色素提取储存和在食用调味品中的利用过程提供指导。

参考文献

- [1] RIZKIYAH D N, PUTRA N R, IDHAM Z, et al. Optimization of red pigment *anthocyanin* recovery from *hibiscus sabdariffa* by subcritical water extraction [J]. Processes, 2022, 10(12): 2635-2635.
- [2] 康宇乾, 杨挺, 李雪青, 等. 不同三角梅品种苞片色彩表型及色素组成分析[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 714-723.
- [3] 徐凤侠, 林春松, 黄青云, 等. 三角梅甜菜色素制备及稳定技术[D]. 厦门: 福建省亚热带植物研究所, 2010.
- [4] ALINE L M, LAMIEN C E, COMPAORÉ M M, et al. Polyphenol content and antioxidant activity of fourteen wild edible fruits from Burkina Faso [J]. Molecules, 2008, 13(3): 581-594.
- [5] OGUNWANDE I A, AVOSEH O N, OLASUNKANMI K N, et al. Chemical composition, anti-nociceptive and anti-inflammatory activities of essential oil of *Bougainvillea glabra* [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2019, 232: 188-192.
- [6] 李永强, 杨士花, 毕晓菲, 等. 二次通用旋转试验设计优化三角梅红色素提取工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2010, 5: 68-72.
- [7] GIL A L A P, NAVARROLB, VERAMP, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of the ethanolic extract of *Bougainvillea xbuttiana* [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 144(3): 712-719.
- [8] 张慧会, 曾莹, 圣倩倩, 等. 不同三角梅品种苞片色素成分分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(3): 929-940.
- [9] HUANGHX, JI H L, JU S, et al. Pantranscriptome combined with phenotypic quantification reveals germplasm kinship and regulation network of bract color variation in *Bougainvillea* [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1018846.
- [10] LIN K H, LI J M, WU C W, et al. Effects of plant growth regulators and polyamines on bract longevity in *Bougainvillea buttiana* [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2021, 62(2): 149-157.
- [11] ZHANG Y, GOTO M, ODA A, et al. Antiproliferative aspidosperma-type monoterpenoid indole alkaloids from *Bousignonia mekongensis* inhibit tubulin polymerization [J]. Molecules, 2019, 24(7): 1256.
- [12] TRAN Y BN, NGUYENVK, NGUYEN P T K, et al. Cytotoxic flavonoids from the roots of *Bougainvillea spectabilis* [J]. Phytochemistry Letters, 2021, 42: 117-120.
- [13] GARCÍA I G O, BARRERA A L G, GONZÁLEZ F J A, et al. *Bougainvillea glabra* Choisy (*Nyctaginaceae*): review of phytochemistry and antimicrobial potential [J]. Frontiers in Chemistry, 2023, 11: 1276514.
- [14] SALEEM H, USMAN A, MAHOMOODALLY M F, et al. *Bougainvillea glabra* (Choisy): a comprehensive review on botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicity [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 266: 113356.
- [15] 康宇乾, 杨挺, 李雪青, 等. 不同三角梅品种苞片色彩表型及色素组成分析[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 714-723.
- [16] KHAN M I, GIRIDHAR P. Enhanced chemical stability, chromatic properties and regeneration of betalains in *Rivina humilis* L. berry juice [J]. Food Science and Technology,

- 2014, 58(2): 649-657.
- [17] 刘英丽.响应面优化微波辅助提取甜菜红色素及其稳定性研究[J].食品研究与开发,2015,36(18):44-49.
- [18] THIPPESWAMY B, JOSHI A, SETHI S, et al. Chemical additives for preserving the betalain pigment and antioxidant activity of *Red Beetroot* [J]. *Sugar Tech*, 2022, 24(3): 1-10.
- [19] 徐菡,赵镇雷,李晓璐,等.食品添加剂对甜菜汁中甜菜红色素热稳定性的影响[J].烟台大学学报(自然科学与工程版),2014,27(3):224-228.
- [20] 何语静.基于天然色素光、热敏性变色机理强化复配着色剂的研究及应用[D].滁州:安徽科技学院,2023.
- [21] OSCAR J G, AURELIO L M, EMMANUELJ G P, et al. Thermal and pH stability of *Justicia spicigera* (*Mexican honeysuckle*) pigments: Application of mathematical probabilistic models to predict pigments stability [J]. *Food Chemistry*, 2023, 6: 100158.
- [22] 罗伟强,刘宝,韦冬萍,等.三角梅红色素的提取及稳定性研究[J].甘肃化工,2006,20(1):22-24,44.
- [23] 刘伟,刘军海,何敏.超声波辅助提取紫甘蓝色素及稳定性研究[J].中国调味品,2022,47(8):182-186.
- [24] 仲冉,何珺.红肉火龙果中两种甜菜苷色素稳定性研究[J].食品研究与开发,2017,38(15):16-19.
- [25] 张强,刘军海.马齿苋红色素的提取及稳定性研究[J].中国调味品,2023,48(8):193-198.
- [26] 刘雨桐,林燕婷,杨帆,等.五指毛桃黄酮类色素提取工艺优化及颜色稳定性分析[J].分子植物育种,2023,21(21): 7186-7192.
- [27] SEN R, BARUAH A M. Phenolic profile and pigment stability of *Hylocereus species* grown in North-East India [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2023, 116: 105078.
- [28] 赵娟娟,苑园园,王岩,等.黄顶菊黄色素稳定性研究[J].现代农村科技,2022,2:79-80.
- [29] 王晓晶,张永哲.微波辅助提取吕梁木枣红色素工艺优化及稳定性研究[J].天津农业科学,2022,28(10):60-65.
- [30] 严景臣,黄永春,伍新敏,等.氨法焦糖色素稳定性研究[J].中国调味品,2019,44(11):72-75,97.
- [31] CAO H K N, DONG T A D. Study on the effect of metal salts on chlorophyll pigment extraction from fresh *Sauropus androgynus* leaves [J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, 14: 100699.
- [32] WANG W, FU W, LI X, et al. Studies on the stability of dispersed system from water-soluble curcumin [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(11): 34-43.
- [33] 边名鸿,傅彬,左勇,等.一种细菌红色素的稳定性及结构的初步研究[J].中国调味品,2018,43(5):68-73.
- [34] 艾雅娜,张海娟,廖红梅.火龙果果皮中甜菜红素的提取、鉴定及金属离子对其稳定性的影响[J].中国食品学报,2023,23(6):212-221.
- [35] 徐馨,李霞,丁金龙.食品添加剂对火龙果皮红色素稳定性的影响[J].中国食品添加剂,2018,4:141-147.