

吕宋荚蒾果红色素稳定性的影响因子

陈炳华

(福建师范大学生物工程学院, 福州 350007)

摘要: 对离体吕宋荚蒾果红色素的稳定性及其影响因子进行了分析探讨。结果表明, 吕宋荚蒾果红色素在酸性条件中 (pH<4) 及 60℃ 以下稳定性良好, 对光有一定的耐受性, 但对高温、直射强光及氧化还原介质的耐受性较差。Fe³⁺ 和 Cu²⁺ 可引起色素溶液变色, 并产生沉淀, 导致其稳定性下降, 而 Mn²⁺、Zn²⁺、Al³⁺ 和 Mg²⁺ 对其稳定性则无影响, 且有一定程度的护色效果, 以 Al³⁺ 的效果最佳。3 种添加剂中, 葡萄糖和苯甲酸钠对其的稳定性无影响, 且有一定的护色效果, 而 Vitamin C 则可促进其降解, 导致褪色, 经统计分析, 色素保存率与 Vitamin C 浓度呈显著的负相关。

关键词: 吕宋荚蒾; 果实; 红色素; 稳定性; 花色苷

中图分类号: Q946.836

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)06-0493-06

Influencing Factors of the Stability of Red Pigment in *Viburnum luzonicum* Rolfe Fruits

CHEN Bing-hua

(Bioengineering College, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The stability of red pigment in fruits of *Viburnum luzonicum* Rolfe and factors of influencing the colour stability were studied *in vitro*. The results showed that the red pigment was stable below 60℃ and at pH<4, but sensitive to high temperature, strong light and oxidation-reduction media. Fe³⁺, Cu²⁺ could alter the colour of red pigment solution, caused precipitation, and decreased its stability, but Mn²⁺, Zn²⁺, Al³⁺, Mg²⁺, glucose and sodium benzoate had no effect on the stability, and showed a certain colour maintenance, especially Al³⁺, which could obviously increase the stability of red pigment. Vitamin C enhanced the degradation and decoloration of red pigment, which showed a significantly negative relationship between colouration and Vitamin C concentration.

Key words: *Viburnum luzonicum*; Fruit; Red pigment; Colour stability; Anthocyanins

吕宋荚蒾 (*Viburnum luzonicum* Rolfe) 为忍冬科荚蒾属灌木, 分布于广东、广西、云南、台湾、江西、浙江和福建等省, 多生于海拔 150-900 m 的山坡灌丛或林缘^[1], 福建境内野生资源蕴藏量大。吕宋荚蒾果实成熟后呈红色, 酸甜适中, 可鲜食, 亦可加工成果酒或果汁。吕宋荚蒾果实具有成熟期集中、易采摘, 色素色价高等特点, 其花色苷总量为 3365 mg kg⁻¹, 其主要组分属芍药素型花色苷类^[2]。红色素是存在于植物细胞液中的一类水溶性天然色素, 来源十分

丰富, 但这类色素化学性质不稳定, 其颜色易受光、热、空气和金属离子等因素的影响, 目前未能广泛作为食用色素。为此, 研究者一直致力于不同来源的红色素之稳定性及着色方面的研究, 旨在扩展此类色素的应用范围^[3]。

近年来, 从蓝靛果 (*Lonicera caerulea* var. *edulis*)^[4]、杨梅 (*Myrica rubra*)^[5]、草莓 (*Fragaria ananassa*)^[6] 及尾叶悬钩子 (*Rubus caudifolius*)^[7] 等果实来源的红色素已有较多研究, 而吕宋荚蒾作为南方特色的野生色

素资源,目前国内相关的报道很少。本文在对吕宋荚蒾果红色素的提取、纯化及其性质分析的基础上^[2],进一步就该色素的稳定性和添加剂对其呈色行为的影响进行试验研究,为此类红色素的开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

吕宋荚蒾 (*Viburnum luzonicum* Rolfe) 成熟果实采自福建省明溪县境内,采回后立即洗净、沥干,置于 -25℃ 冰箱中保存,备用。试剂均为分析纯。仪器:752 型紫外光栅分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)、pHS-25 型酸度计(上海雷磁)、UV-2201 型紫外可见分光光度计(日本岛津)、RE-52AAA 旋转蒸发器(上海嘉鹏)、360-FT 型红光分光光度计(美国尼高力)。

1.2 红色素的提取、分离及纯化

吕宋荚蒾果(1 kg)经捣碎,用 1.5 mol/L HCl-95% EtOH (pH3.0) 浸提,抽滤得红色素液,减压浓缩得粗制色素浸膏,再用 60%~75% EtOH 除果胶,浓缩至少量后,参照高居易^[9]和宋长铤^[10]的方法上 DEAE-纤维素层析柱(1.5 cm×20 cm),用酸性乙醇洗脱,洗脱液减压浓缩得暗红色色素浸膏。红色素浸膏经大规模纸层析法分离、纯化获得暗红色粉末状的红色素,经纸上色谱、紫外光谱及红外光谱分析,其主要成分的光谱特性与文献^[9,10]报道的芍药素-3-葡萄糖-p-香豆酸很接近。

1.3 稳定性的影响因子

pH 值 用 0.2 mol/L HCl-KCl、柠檬酸-Na₂HPO₄ 和硼砂-NaOH 缓冲液配制成红色素质量浓度为 1.2%、pH 值为 1-12 的系列溶液,于室温下静置 2 h 后,观察不同 pH 值的色素溶液颜色及 A_{515nm} 值变化。

光和温度 取 pH3.0 柠檬酸-Na₂HPO₄ 缓冲液红色素溶液,分别于室内自然光、日光灯下(58.8 μmol m⁻²s⁻¹) 和黑暗中放置 24 d,每 2 d 于 515 nm 处测一次其吸光值并观察颜色变化。取 pH3.0 的红色素溶液,分别在 40℃、60℃、80℃ 和 100℃ 的恒温水浴中处理 4 h,每隔 30 min 取样,待

冷却后于 515 nm 处测其吸光值,并按下式计算保存率:色素保存率(%)=(处理后吸光值/处理前吸光值)×100%。

抗氧化还原性 分别以 H₂O₂ 和 Na₂SO₃ 为氧化剂和还原剂,配制含 0.06%、0.09%、0.12%、0.15%、0.18%、0.24%、0.30% 的 7 种 H₂O₂ 浓度的等量红色素试验液 (pH3.0) 或含 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5% 的 7 种 Na₂SO₃ 浓度的等量红色素试验液 (pH3.0),于室温下避光密闭放置 60 min,每隔 15 min 于 515 nm 处测定一次溶液的吸光值,计算色素保存率。

不同金属离子 参照文献^[7]方法,用 MnSO₄、CuSO₄、ZnSO₄、Al(NO₃)₃、MgSO₄、Fe₂(SO₄)₃ 分别配制含 Mn²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Al³⁺、Mg²⁺ 和 Fe³⁺ 6 种金属离子的色素溶液 (pH3.0),每种离子的浓度均为 0.01 mol/L。以不含上述金属离子的色素溶液 (pH3.0) 作为对照。将上述各溶液于室温下放置 30 d,每 3 d 测 1 次样液的吸光值(以 pH3.0 磷酸盐缓冲液调零),并观察颜色的变化。

添加剂 以质量浓度 2% 的红色素溶液 (pH3.0) 为母液,分别添加不同浓度的葡萄糖、Vitamin C 和苯甲酸钠 3 种添加剂,以不含添加剂的等体积的色素液作为对照,将上述各溶液于室温下密闭避光处保存,定期于 515 nm 处测 1 次各自的吸光值(以 pH3.0 磷酸盐缓冲液调零),计算色素保存率。处理组与对照组间数据的差异性用 t 检验,由 SAS 软件处理。

以上所有实验设 3 次重复,取平均值。

2 结果和分析

2.1 pH 值的影响

由表 1 可知,在酸性及弱酸性条件下,红色素溶液在最大吸收峰处的吸光值随 pH 值增大而急剧下降,颜色由鲜红变为微红;在弱碱性及碱性条件下,该红色素在可见光区的最大吸收峰消失,颜色从淡褐色→褐色→污蓝,24 h 后,pH≥10.0 溶液变为黄色,这主要由于在不同 pH 缓冲液中花色苷的存在形式(四种结构)不同所致,从而对其稳定性及色泽产生影响,随着 pH 值增大,其降解加快,稳定性降低^[12,13]。可见,该红色素适用于酸性环境中。

表 1 不同 pH 值对吕宋荚蒾果红色素稳定性的影响
Table 1 Effects of different pH values on the stability of red pigment in *V. luzonicum* fruits

| | pH | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|------|------|-----------|-----------|--------------|-------------|-------------|-------|---------------|---------------|
| | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 |
| A _{515nm} | 1.09 | 1.02 | 0.69 | 0.24 | 0.09 | 0.11 | | | | | | |
| 颜色 | 鲜红 | 鲜红 | 红 | 红 | 浅红 | 微红 | 淡紫 | 淡褐 | 淡褐 | 褐色 | 污蓝 | 污蓝 |
| Colour | Fresh red | Fresh red | Red | Red | Light red | Light red | Light purple | Light brown | Light brown | Brown | Bluish purple | Bluish purple |

2.3 光和温度的影响

图 1A 表明, 吕宋荚蒾红色素对直射日光最敏感, 降解快, 日光照射 24 d 后, 其色素的保存率仅为 8.38%; 而室内自然光与黑暗条件下的保存率较为接近, 分别为 48.34% 和 43.03%, 显示该红色素对光有一定的耐受性, 与其它植物来源的天然红色素如尾叶悬钩子红色素^[7]对光稳定性相似。图 1B 表明, 红色素在 100℃ 下降解很快, 处理 4 h, 期间其保存率的变化达极显著水平 (P<0.01), 在 80℃ 下的变化达显著水平 (P<0.05), 而在 40℃ 和 60℃ 下, 放置 4 h, 期间其保存率变化差异不显著 (P>0.05), 且溶液颜色仍保持红色, 可见, 在 60℃ 下吕宋荚蒾果红色素稳定性良好, 但随着温度的升高, 该色素降解加快, 稳定性下降。

2.4 红色素的抗氧化还原性

H₂O₂ 和 Na₂SO₃ 对吕宋荚蒾红色素稳定性的影响见图 2A 和图 2B, 在 pH3.0 下, 色素保存率随 H₂O₂ 或 Na₂SO₃ 浓度的升高而急剧下降, 且该溶液颜色由原来的鲜红变为浅红或浅褐。但随着处理时间的延长 (60 min 以内), 两者对红色素的影响有

所不同, 还原剂 Na₂SO₃ 的作用时间较氧化剂 H₂O₂ 快; 其结果虽都导致红色素的褪 (变) 色及稳定性下降, 但机理有所不同^[8]。表明该红色素抗氧化还原性较差, 使用时应避免与其接触。

2.5 金属离子的影响

表 2 表明, 含 Mn²⁺、Zn²⁺、Al³⁺ 和 Mg²⁺ 的红色素溶液, 其吸光值均高于对照, 且颜色保持红色, 色调无变化, 表明这 4 种离子对色素稳定性无影响, 且有不同程度的护色效果。尤其是 Al³⁺ 与对照的吸光值差异达极显著水平 (P<0.01), 显示可显著提高其稳定性。其原因是这些离子可与红色素形成复合物, 使其稳定性增强。因此可尝试将 Al³⁺ 作该色素的助色素^[9], 这有待于深入研究。而添加 Fe³⁺ 和 Cu²⁺ 后, 色素液吸光值与对照组差异达极显著水平 (P<0.01), 随着放置时间的延长, 15 d 后色素液产生大量沉淀, 18 d 后吸光值大幅下降, 且颜色变为棕红, 表明 Fe³⁺ 和 Cu²⁺ 明显导致该红色素稳定性减弱。这可能是 Fe³⁺ 能与红色素形成英心结构 π 络合物, 从而使色素溶液的颜色发生变化, 原最大吸收峰消失, 失去色素的特点^[4,6,10]。

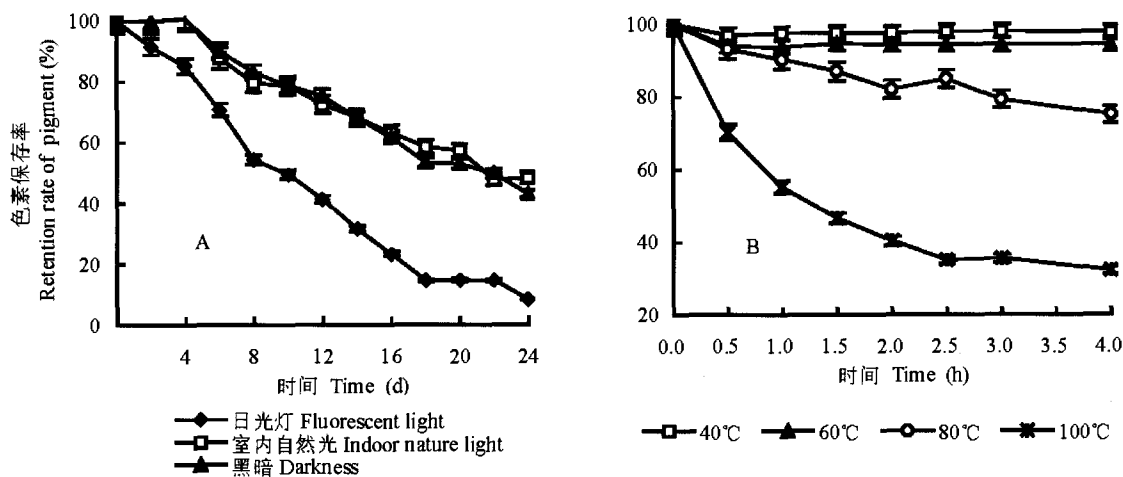


图 1 光和温度对吕宋荚蒾果红色素稳定性的影响

Fig. 1 Effects of light (A) and temperature (B) on the stability of red pigment in *V. luzonicum* fruits

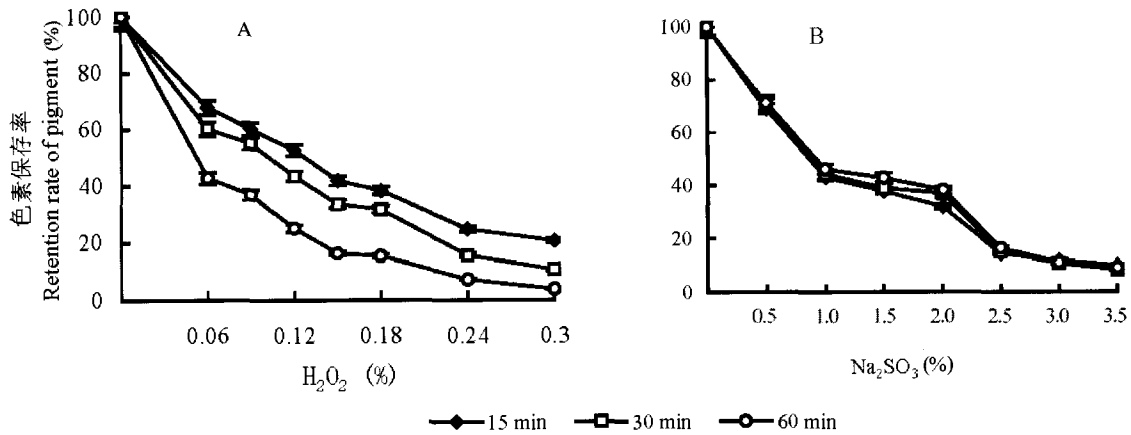


图 2 过氧化氢和亚硫酸钠对吕宋荚蒾果红色素稳定性的影响

Fig. 2 Effects of H_2O_2 (A) and Na_2SO_3 (B) concentrations on the stability of red pigment in *V. luzonicum* fruits表 2 不同金属离子(0.01 mol/L)对吕宋荚蒾果红色素稳定性(A_{515nm})的影响Table 2 Effects of different metal ions (0.01 mol/L) on the stability (A_{515nm}) of red pigment in *V. luzonicum* fruits

| 时间 Time (d) | Control | Mn^{2+} | Zn^{2+} | Mg^{2+} | Al^{3+} | Cu^{2+} | Fe^{3+} |
|-------------|---------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | 0.62 | 0.639 | 0.685 ^a | 0.629 | 0.786 ^b | 0.796 ^b | 0.867 ^b |
| 3 | 0.585 | 0.623 ^a | 0.684 ^a | 0.597 | 0.776 ^b | 0.786 ^b | 0.833 ^b |
| 6 | 0.557 | 0.576 ^a | 0.632 ^a | 0.572 | 0.726 ^b | 0.716 ^b | 0.792 ^b |
| 9 | 0.528 | 0.550 ^a | 0.614 ^a | 0.547 | 0.710 ^b | 0.673 ^b | 0.743 ^b |
| 12 | 0.522 | 0.543 ^a | 0.604 ^a | 0.533 | 0.701 ^b | 0.655 ^b | 0.716 ^b |
| 15 | 0.512 | 0.540 ^a | 0.593 ^a | 0.528 | 0.676 ^b | 0.631 ^b | 0.681 ^b |
| 18 | 0.503 | 0.531 ^a | 0.580 ^a | 0.516 | 0.670 ^b | 0.603 ^b | 0.580 ^b |
| 21 | 0.500 | 0.522 ^a | 0.574 ^a | 0.510 | 0.656 ^b | 0.581 ^b | 0.493 ^b |
| 24 | 0.483 | 0.510 ^a | 0.557 ^a | 0.493 | 0.653 ^b | 0.541 ^b | 0.404 ^b |
| 27 | 0.468 | 0.498 ^a | 0.521 ^a | 0.488 | 0.580 ^b | 0.449 ^b | 0.333 ^b |
| 30 | 0.461 | 0.491 ^a | 0.464 | 0.469 | 0.544 ^b | 0.371 ^b | 0.305 ^b |

a: $P < 0.01$; b: $P < 0.05$

2.6 葡萄糖的影响

从表 3 可知,添加了不同浓度葡萄糖的红色素溶液,其色素保存率与对照相当或略高于对照,放置 10 d 后,含葡萄糖(浓度 $\geq 2.0 \text{ g L}^{-1}$)的色素液,与对照的保存率差异显著($P < 0.05$),颜色也基本未变,这表明葡萄糖对吕宋荚蒾果红色素的稳定性无影响,且有一定的护色效果。这可能是糖通过降低水的活度而对花色苷的发色团起到全面保护作用的结果^[6]。

2.7 苯甲酸钠的影响

苯甲酸钠是食品工业中常用的防腐剂。从表 4 可知,在前 5 d 内,含苯甲酸钠的色素溶液其色素保存率与对照相当,10 d 后,色素液保存率与对照组差异显著($P < 0.05$),但各浓度间则无显著差异

($P > 0.05$),颜色也基本未变,这表明苯甲酸钠对该色素的稳定性无影响。

2.8 Vitamin C 的影响

Vitamin C 被广泛用作食品、饮料等的抗氧化剂,具有还原性。图 3 表明吕宋荚蒾果红色素溶液的保存率随 Vitamin C 浓度的增加及放置时间的延长而下降,色素液颜色也随之变浅。这是由于色素液放置过程中,Vitamin C 发生氧化,其产生的氧化产物对花色苷结构产生破坏,从而导致该红色素的保存率和稳定性下降^[4]。相关性分析显示,色素保存率与 Vitamin C 浓度呈极显著负相关($P < 0.01$),放置 2 d 和 8 d 后的相关系数分别为 -0.9955 、 -0.8935 。可见,Vitamin C 对该红色素稳定性的影响显著。

表 3 葡萄糖对吕宋荚蒾果红色素稳定性($A_{515\text{nm}}$)的影响Table 3 Effects of glucose on the stability ($A_{515\text{nm}}$) of red pigment in *V. luzonicum* fruits

| 时间 Time (d) | 葡萄糖 Glucose (g L^{-1}) | | | | | |
|----------------|-----------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 8.0 | 10.0 |
| 0 | 0.769 | 0.776(100.91) | 0.787(102.34) | 0.783(101.82) | 0.813(105.72) | 0.799(103.90) |
| 5 | 0.700 | 0.700(100.00) | 0.708(101.14) | 0.713(101.86) | 0.741(105.86) | 0.720(102.86) |
| 10 | 0.667 | 0.689(103.30) | 0.693(103.95) ^b | 0.701(105.15) ^b | 0.694(104.05) ^b | 0.711(104.56) ^b |
| 15 | 0.65 | 0.667(102.62) | 0.678(104.31) ^b | 0.689(106.00) ^b | 0.672(103.38) ^b | 0.698(107.38) ^b |

b: $P < 0.05$ 表 4 苯甲酸钠对吕宋荚蒾果红色素稳定性($A_{515\text{nm}}$)的影响Table 4 Effects of sodium benzoate on the stability ($A_{515\text{nm}}$) of red pigment in *V. luzonicum* fruits

| 时间 Time (d) | 苯甲酸钠 Sodium benzoate (g L^{-1}) | | | | | |
|----------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 0.00 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| 0 | 0.699 | 0.696(99.57) | 0.686(98.14) | 0.686(98.14) | 0.686(98.14) | 0.693(99.14) |
| 5 | 0.618 | 0.610(98.71) | 0.606(98.06) | 0.595(96.28) | 0.597(96.60) | 0.634(115.51) ^b |
| 10 | 0.535 | 0.601(112.34) ^b | 0.595(111.21) ^b | 0.581(108.60) ^b | 0.582(108.79) ^b | 0.618(115.51) ^b |
| 15 | 0.497 | 0.585(117.71) ^b | 0.563(113.28) ^b | 0.552(111.07) ^b | 0.554(111.47) ^b | 0.581(116.90) ^b |

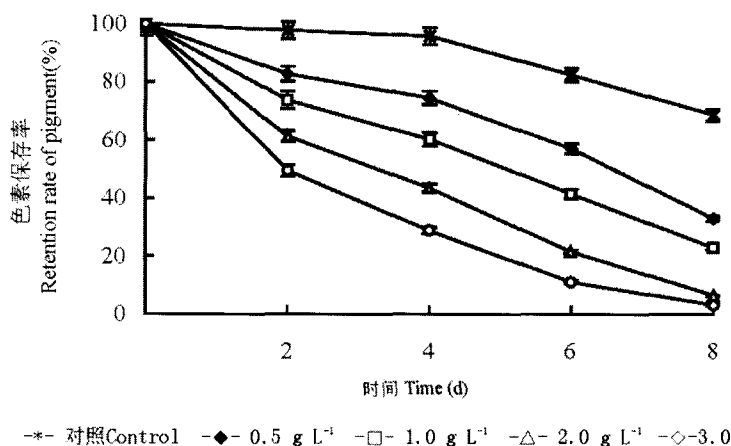
b: $P < 0.05$ 

图 3 Vitamin C 对吕宋荚蒾果红色素稳定性的影响

Fig. 3 Effects of Vitamin C on the stability of red pigment in *V. luzonicum* fruits

3 讨论

吕宋荚蒾果红色素在酸性条件及 60°C 以下稳定性良好, 对高温、直射光照不稳定, 抗氧化还原能力, 这些性质属花色苷类红色素的共性^[10], 也是其它植物来源红色素^[4-7]的共同缺点, 因此限制了此类红色素的直接应用范围。但国外在花色苷天然类似合成、天然花色苷化学改性衍生物的合成等方面取得了许多重大成果, 并实现了工业化生产^[3]。可见, 深入研究不同来源红色素的化学结构, 进一步通过分子间辅色作用和化学改性提高其稳定性, 合成安全

的花色苷等同物色素^[3], 是解决目前此类天然红色素应用问题的有效方法。

某些金属离子会与花色苷结合形成着色稳定的络合物, 影响色素的稳定性。陈健初等^[14]认为 Al^{3+} 和 Fe^{2+} 对杨梅花色苷的色泽稳定性无显著影响, 而高居易^[5]等则认为 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Al^{3+} 和 Cu^{2+} 对杨梅红色素稳定性影响均不显著, 而 Mg^{2+} 和 Fe^{3+} 则影响显著; 郭大勇等^[6]认为, Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Cu^{2+} 的存在对草莓红色素特征光谱及颜色无影响, 其中 Zn^{2+} 和 Cu^{2+} 有一定增色作用, 而 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 则有明显不良影响, 可导致褪色; 戚向阳等^[4]认为 Al^{3+} 、 Zn^{2+}

和 Mg^{2+} 可提高兰锭果红色素的稳定性, Fe^{3+} 和 Cu^{2+} 则显著降低色素的稳定性。本实验表明, Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 对吕宋荚蒾果红色素稳定性影响显著, 导致色素液色泽的改变, 并产生沉淀, 而 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Al^{3+} 和 Mg^{2+} 则无影响, 且有不同程度的护色效果, 尤其是 Al^{3+} 护色效果最佳。由此可以认为, Fe^{3+} 对花色苷类红色素的稳定性影响显著, Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Ca^{2+} 影响不显著, 而 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{2+} 等离子则对不同来源的红色素影响差异较大。究其原因可能是红色素中花色苷的主要成分不同所致。

参考文献

- [1] 林来官, 张永田. 福建植物志, 第二卷[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1985. 293-310.
- [2] Chen B H(陈炳华), Chen Q H(陈前火), Liu J Q(刘剑秋), et al. Extraction, purification and characterization of red pigment from *Viburnum luzonicum* fruit [J]. J Fujian Norm Univ (Nat Sci) (福建师范大学学报自然科学版), 2004, 20(4):85-89. (in Chinese)
- [3] Zhong R M(钟瑞敏). Applied studies on the internal relationship between the structure and stability of anthocyanins [J]. J Shaoguan Univ (Nat Sci) (韶关学院学报自然科学版), 2001, 22(12):79-83. (in Chinese)
- [4] Qi X Y(戚向阳), Peng G H(彭光华). Studies on the character of the pigments from *Lonicera caerulea* L. [J]. Hubei Agri Sci(湖北农业科学), 2003, (1):70-73.(in Chinese)
- [5] Gao J Y(高居易), Tang D F(檀东飞), Chen W S(陈伟生). Extraction and characterization of the water soluble red pigment from *Myrica rubra* Siet et Zucc. [J] Nat Prod Res Devel(天然产物研究与开发), 2001, 13(2):59-62.(in Chinese)
- [6] Guo D Y(郭大勇), Yang X P(杨晓萍), Tian G Y(田广宇), et al. The stability of strawberry red pigment [J]. J Huazhong Agri Univ(华中农业大学学报), 2003, 22(4):408-411.(in Chinese)
- [7] Chen B H(陈炳华), Liu J Q(刘剑秋), Shi D M(石冬梅), et al. Basic properties of *Rubus caudifolius* red pigment and its stability [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2001, 7(4): 355-359.(in Chinese)
- [8] Song C X(宋长铤). The analytical method of pigment type of anthocyanidins [J]. Chem Indust Times(化工时刊), 1999, 13(1): 20-24.(in Chinese)
- [9] Jiang P P(姜平平), Lü X L(吕晓玲), Zhu H L(朱惠丽), Review of isolation and identification methods of anthocyanins [J]. China Food Add(中国食品添加剂), 2003, (4):108-111.(in Chinese)
- [10] 马自超, 庞业珍. 天然食用色素化学及生产工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 30-80.
- [11] Wu X Z(吴信子), Piao J Y(朴京一), Zhang X Y(张小勇), et al. Isolation and identification of anthocyanidin from the berries of *Lonicera caerulea* [J]. J Yanbian Univ (Nat Sci) (延边大学学报自然科学版), 2001, 27(3):191-194.(in Chinese)
- [12] Yu X N(于晓南), Zhang Q X(张启翔). Anthocyanin in ornamental plant and color expression [J]. Sci Solv Sci(林业科学), 2002, 38(3):147-153.(in Chinese)
- [13] Pang X Q(庞学群), Zhang S J(张昭其), Duan X W(段学武), et al. Influence of pH and temperature on the stability of anthocyanin from Litchi pericarp [J]. Acta Horticul Sin(园艺学报), 2001, 28(1):25-30.(in Chinese)
- [14] Chen J C(陈健初), Su P(苏平), Ye X Q(叶兴乾). Study on the stability of anthocyanins and its color in Yang-Mei juice [J]. J Zhejiang Agri Unvi(浙江农业大学学报), 1994, 20(2):178-182. (in Chinese)