

马齿苋花色苷的稳定性分析

陈凌, 骆卢佳, 曹巧巧, 贺伟强, 张建群

(嘉兴职业技术学院农业与环境学院, 浙江嘉兴 314036)

摘要: 以野生马齿苋为原料, 榨汁提取马齿苋花色苷并研究其稳定性。结果表明: 马齿苋花色苷在酸性条件、低温、避光有利于其稳定; 氧化剂和还原剂都能使马齿苋花色苷稳定性降低; 木糖醇随浓度的增加对马齿苋花色苷有增色作用, 呈对称的正态分布走势, 浓度为10%达到峰值, 随后随浓度增加增色减弱; 甘露醇随浓度增加对马齿苋花色苷的减色作用增强; 随着甜菊糖苷用量增加对马齿苋花色苷先减后增再降, 呈倾斜的S形, 浓度为0.06%时减色到谷底, 浓度为0.13%时增色到峰值, 超过此浓度增色下降, 但浓度为0.26%时仍然处于增色状态; 柠檬酸和乳酸浓度为0~3%时随浓度增加增色作用增大, 浓度>3%随浓度的增加增色作用减弱直至减色; 金属离子 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 K^+ 对马齿苋花色苷影响较小, 而 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 对马齿苋花色苷有明显的破坏作用。马齿苋花色苷的稳定性研究, 为马齿苋榨汁保健饮料的配制提供参考。

关键词: 马齿苋; 花色苷; 稳定性

文章编号: 1673-9078(2019)01-227-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.032

Stability Analysis of Anthocyanin from *Portulaca oleracea*

CHEN ling, LUO Lu-jia, CAO Qiao-qiao, HE Wei-qiang, ZHANG Jian-qun

(Jiaxing Vocational and Technical College of Agriculture and Environment, Jiaxing 314036, China)

Abstract: The anthocyanin of purslane was extracted from wild purslane juice and its stability was studied. The results showed that the stability of purslane anthocyanin was improved by low temperature and light avoidance in acidic condition, and the stability of anthocyanin was decreased by oxidant and reductant. With the increase of xylitol concentration, anthocyanins of *Portulaca oleracea* showed a symmetrical normal distribution trend, reached the peak value at 10% of concentration, and then decreased with the increase of concentration. The anthocyanin of *Portulaca oleracea* decreased with the increase of mannitol concentration. With the increase of the amount of stevioside, the anthocyanin of *Portulaca oleracea* continually decreased to the bottom of the valley at 0.06% of concentration, increased to the peak value at 0.13% of concentration, and the color decreased beyond this concentration. However, when the concentration is 0.26%, it is still in the state of increasing color. When the concentration of citric acid and lactic acid was 0~3%, the effect of chromaticity increased with the increase of concentration, but the effect at concentration > 3% decreased with the increase of concentration until the decolorization. The effect of metal ion Na^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} and K^+ on anthocyanin of *Portulaca oleracea* was relatively small, while that of Ca^{2+} , Cu^{2+} and Fe^{3+} on anthocyanin of purslane was obvious. These results provide reference for the preparation of purslane juice healthy beverage.

Keywords: *Portulaca oleracea*; anthocyanin; stability

花色苷 (anthocyanin) 是一类具有苯并吡喃结构的类黄酮化合物, 广泛存在于植物各个组织中的水溶性天然色素, 具有很好的抗氧化性, 能与活性氧 (ROS), 如过氧化物、超氧化物、羟基等反应, 还可以与活性氮结合, 阻断新自由基形成^[1,2]。还具有抗炎, 抑制癌症、心血管疾病、糖尿病、肥胖等疾病^[3]。植物花色苷作为一种天然食用色素, 因其来源天然、安全无毒、抗氧化、保护心脑血管等优点近年来渐渐受到国内外学者的重视^[4]。但由于花色苷结构特殊, 极易受 pH、氧气、光照、温度、酶等因素影响而降解褪

色^[5-7], 导致其在加热、光照、氧化和金属离子环境中花色苷不稳定。

花色苷具有 C6-C3-C6 骨架的类黄酮色素和配糖体组成的糖苷 (其结构如图 1^[8]所示), 其中 B 环上 R_1 和 R_2 的取代基不同就形成不同的花色素, 不同类型花色苷因所含羟基数量、位置及结合糖基种类的不同, 其抗氧化活性有较大差异^[9]。植物中的花色苷组成与植物的种类息息相关, 不同植物其花色苷的组成及含量不同。马齿苋花色苷与其他果蔬的花色苷组成、活性是否存在差异, 国内外的相关报道鲜见。

目前对马齿苋酚类、多糖、黄酮的研究较多, 但对马齿苋花色苷的研究至今未见。马齿苋榨汁不仅有诱人的红色 (是花色苷所致), 还含有多糖、酚类、黄

收稿日期: 2018-09-09

基金项目: 浙江省嘉兴市科技局项目 (2018AY11013)

作者简介: 陈凌(1962-), 女, 教授, 研究方向: 植物源食品添加剂

酮等活性物质及多种营养成分,研究加热、光照、氧化、食品添加剂及金属离子对马齿苋花色苷的影响,为无添加(不加糖、色素和防腐剂)马齿苋保健饮料的研制提供参考。

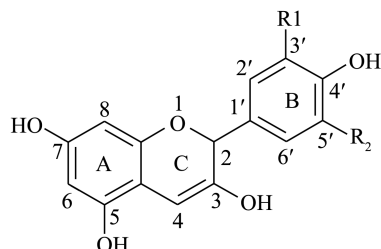


图1 花色苷的骨架结构

Fig.1 Chemical structures of anthocyanidins

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

马齿苋采自嘉兴职业技术学院校园内, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 CaCl_2 、 NaCl 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、甘露醇均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (AR), 巨化集团公司试剂厂; Na_2SO_3 、 NaOH 、硫酸钾均为分析纯,江苏强盛功能化学股份有限公司; H_2O_2 、浓盐酸,浙江中星化学试剂有限公司; 木糖醇(食品级),天津市主谷科技发展有限公司; 柠檬酸(AR), 杭州萧山化学试剂厂; 乳酸(食品级), 河南省金丹乳酸科技股份有限公司; 甜菊糖苷(食品级), 上东浩天药业有限公司。

DK-S24 型恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; UV-1800PC 紫外可见分光光度计, 上海光谱仪器有限公司; ATY224 分析天平, 日本岛津; JYZ-E6 九阳原汁机, 九阳股份有限公司; Synergy UV 超纯水仪, Merck Millipore (美国) 等。

1.2 方法

1.2.1 马齿苋花色苷的提取

新鲜马齿苋洗净、用纯净水过一遍, 蒸汽杀青 ($100\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $1 \times 10^5\text{ Pa}$ 压力下杀青 4 min)、榨汁提取花色苷、储藏于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱备用。

1.2.2 pH 对马齿苋花色苷稳定性的影响

取 14 支无色比色管, 每支中加入 10 mL 马齿苋花色苷溶液, 用盐酸或 NaOH 溶液调节马齿苋花色苷溶液的 pH 为 1~14, 在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.3 温度对马齿苋花色苷稳定性的影响

在支 4 比色管中加入 10 mL 马齿苋花色苷溶液, 分别置于 4 个不同温度 ($4\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $60\text{ }^\circ\text{C}$)

下避光放置 3 h, 待回到室温后, 在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.4 光照对马齿苋花色苷稳定性的影响

取 2 个无色试剂瓶, 每瓶中加入 10 mL 马齿苋花色苷溶液, 分别置于室内自然光照射和实验柜中避光环境下 1 d 后在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.5 氧化还原剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

吸取 10 份 10 mL 马齿苋榨汁, 分别加入 0.1%、0.5%、1% 的 Na_2SO_3 、Vc 和 H_2O_2 , 在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 避光环境下放置 3 h 后在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.6 酸味剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

吸取 7 份 10 mL 马齿苋花色苷溶液, 分别加入不同质量浓度的酸味剂(柠檬酸、乳酸), 在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 避光环境下放置 3 h 后在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.7 甜味剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

吸取 10 份 10 mL 马齿苋花色苷溶液, 分别加入不同质量浓度的甜味剂(木糖醇、甘露醇、甜菊糖苷), 在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 避光环境下放置 3 h 后在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.8 金属离子对马齿苋花色苷稳定性的影响

取马齿苋花色苷溶液, 分别配制含 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 K^+ 、 Fe^{3+} 浓度均为 10 mmol/L 的马齿苋花色苷溶液, 在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 避光环境下放置 3 h 后在 λ_{max} 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

1.2.9 数据分析

试验数据利用 Excel 表格进行统计, 并计算各重复的测量数据的均值和标准差。用 SPSS 17.0 软件进行统计分析, p 值小于 0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 马齿苋榨汁的紫外吸收光谱特征

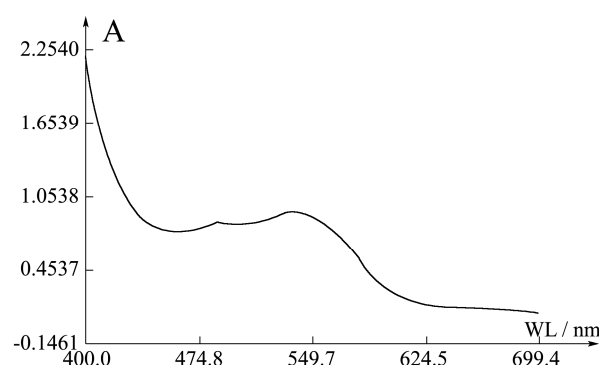


图2 马齿苋花色苷光谱图

Fig.2 Spectrogram of purslane anthocyanins

将马齿苋榨汁溶液扫描,在 535 nm 有吸收峰(图 2),此峰是花色苷的吸收峰,因此选定 535 nm 为测量波长。不同花色苷的最大吸收波长不同,如黑豆种皮花色苷的最大吸收波长为 534 nm^[10]、刺葡萄皮花色苷的最大吸收波长为 530 nm^[2]、玫瑰花花色苷的最大吸收波长为 514 nm^[11]、蓝靛果花色苷的最大吸收波长为 520 nm^[12]。

2.2 马齿苋花色苷的稳定性实验

2.2.1 pH 对马齿苋花色苷稳定性的影响

马齿苋花色苷随 pH 的变化而发生颜色、状态等变化,如表 1 和图 3 所示。溶液从强酸性过渡到弱酸性时,花色苷溶液从橙色过渡到红色;中性时为褐色;pH 为 8 时呈黑褐色;pH 在 9~14 时,随 pH 值的增大从褐色过渡到黄色。pH=5 时的颜色和状态最佳,此时接近马齿苋榨汁本身的 pH 值。pH<3 时花色苷溶液为黄色,当 pH 大于 7 时,随着 pH 的上升,花色苷结构发生变化,导致花色苷稳定性下降。这是因为在酸性条件下花色苷主要以红色的吡喃型阳离子结构存在,在中性条件下主要以无色的查尔酮结构存在,碱性条件下主要以蓝色醌型结构存在,蓝色的醌型结构不稳定,会形成共振稳定的醌型阴离子,导致在紫外光范围内有吸收而不是在可见光范围内^[13]。当溶液的

酸性较强时,一些酰基化的花色苷或者是多聚体花色苷会发生水解作用^[14]。因此在提取、贮藏、应用中宜采用弱酸性条件。

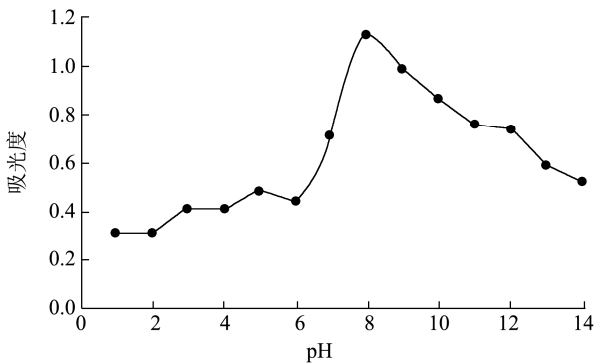


图 3 pH 对马齿苋榨汁吸光度的影响

Fig.3 Effect of pH on absorbance of *Portulaca oleracea* juice

2.2.2 温度对马齿苋花色苷稳定性的影响

由表 2 可知,在 4~40 ℃时,马齿苋榨汁为红色,当温度为 60 ℃时,马齿苋榨汁为黄色,且随着温度的升高,吸光度减小。花色苷的二苯基苯并吡喃阳离子 AH⁺的水解反应 AH⁺→B 和开环反应 B→C 都是吸热反应并且都伴随熵的增大,因此当温度升高时,平衡向着无色的查尔酮和甲醇假碱形式转化^[6],因此马齿苋花色苷不耐热,热稳定性差,要低温贮藏。

表 1 pH 对马齿苋花色苷稳定性的影响

Table 1 Effect of pH on stability of anthocyanin from *Portulaca oleracea*

pH	1	2	3	4	5	6	7
颜色	橘黄色	橘黄色	橘红色	红色	红色	红色	褐色
沉淀物	无	无	无	无	无	无	无
pH	8	9	10	11	12	13	14
颜色	黑褐色	深褐色	褐色	褐色	褐色	浅褐色	浅褐色
沉淀物	悬浮物	悬浮物	较多悬浮物	少量悬浮物	少量悬浮物	无	无

表 2 温度对马齿苋花色苷稳定性的影响

Table 2 Effect of temperature on color of anthocyanins from *Portulaca oleracea*

温度	4 ℃	28 ℃	40 ℃	60 ℃
吸光度	0.361±0.00324	0.343±0.00570	0.314±0.00308	0.238±0.00458
颜色	红色	红色	红色	黄色

2.2.3 光照对马齿苋花色苷稳定性的影响

新鲜榨汁、光照及避光 1 d 后的马齿苋榨汁的颜色及吸光度见表 3。马齿苋鲜榨汁的颜色是粉红色的,放置几天后颜色逐渐加深,这是由于光对花色苷的影响是两方面的,首先光是花色苷生物合成的重要因子,但同时光又会加速花色苷的降解^[6,7],光照可以引起花色苷降解生成 C4 羟基的中间产物,该中间产物在 C2 位上水解开环,最后生成查尔酮,查尔酮快速降解成

苯甲酸及 2,4,6-三羟基苯甲醛等产物^[15],因此在光照条件下易降解损失,在使用和保存时应该避光处理。

表 3 光照对马齿苋花色苷稳定性的影响

Table 3 Effects of illumination on stability of anthocyanin in

<i>Portulaca oleracea</i>			
存放条件	光照	避光	新鲜榨汁
吸光度	0.453±0.00529	0.459±0.00667	0.330±0.00308
颜色	红色	红色	粉红色

2.2.4 氧化还原剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

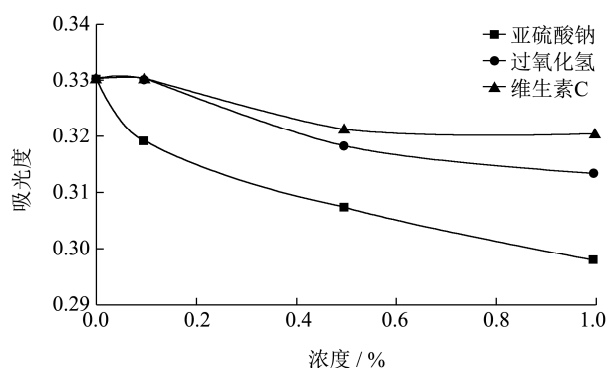


图4 氧化还原剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

Fig.4 Effect of oxidizing reductant on stability of anthocyanin in *Portulaca oleracea*

由图4可知,随着氧化还原剂浓度的增大,马齿苋花色苷吸光度不断减小,颜色渐渐变浅。浓度小于0.1%时, H_2O_2 和 Vc 几乎不影响马齿苋花色苷的稳定性,这是因为花色苷是一种抗氧化物质,具有非常强的自由基清除能力。氧化还原剂对马齿苋花色苷稳定性的影响由大到小的顺序是:亚硫酸钠>过氧化氢>维生素C。一般认为花色苷能和亚硫酸氢根发生加成或缩合反应(在酸性条件下亚硫酸钠与酸反应生成亚硫酸氢钠),生成另一种无色的化合物,使花色苷褪色^[15]。 H_2O_2 可直接亲核进攻花色苷的C2位使花色苷开环生成查耳酮,查耳酮进一步降解生成各种无色的酯类物质和香兰素的衍生物,这些氧化物进一步降解为小分子物质,或者相互之间发生聚合反应,使花色苷降解^[16]。抗坏血酸被氧化后能产生 H_2O_2 ,因此氧化还原剂可破坏马齿苋花色苷的稳定性。

2.2.5 食品添加剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

2.2.5.1 酸味剂对马齿苋花色苷的稳定性影响

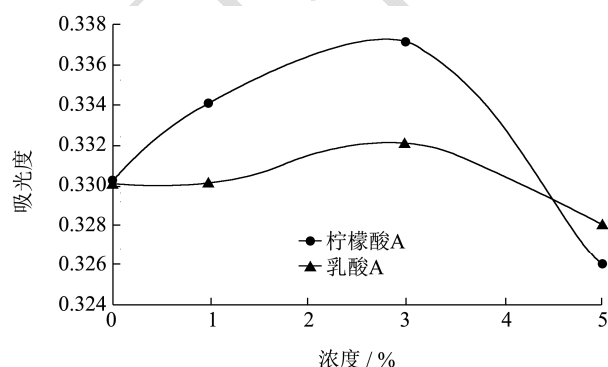


图5 酸味剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

Fig.5 Effect of acid flavor agent on stability of anthocyanin from *Portulaca oleracea*

从图5可知,柠檬酸和乳酸在浓度0%~3%范围随

浓度增加增色作用增强,在浓度3%~5%范围随浓度增加增色效应减弱直至减色。浓度为3%时增色作用最强。柠檬酸对花色苷稳定性的影响强于乳酸,这是因为柠檬酸的酸性强于乳酸(Pka: 乳酸 3.86, 柠檬酸 3.14),这与pH对花色苷的影响一致。

2.2.5.2 甜味剂对马齿苋花色苷的稳定性影响

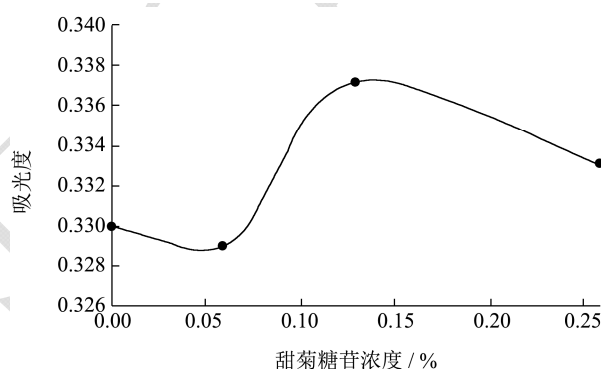
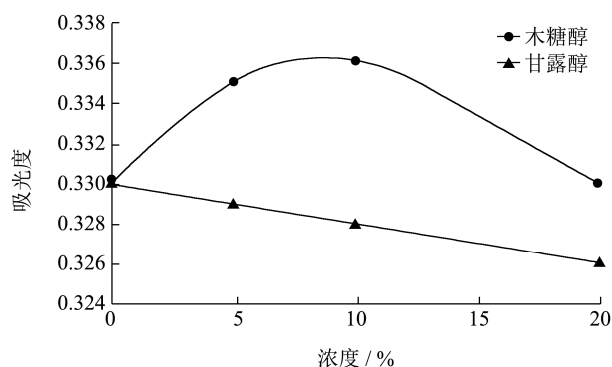


图6 甜味剂对马齿苋花色苷稳定性的影响

Fig.6 Effects of sweeteners on stability of anthocyanins from *Portulaca oleracea*

如图6所示,木糖醇在所试浓度范围具有增色效应,随浓度的增加呈正态分布,浓度为10%时达到峰值,浓度为20%时无影响;甘露醇在所试浓度范围内有减色作用,且随浓度的增加减色作用增强;甜菊糖苷随浓度的增加先减后增再降,呈倾斜的S形,在浓度为0.06%时减色到谷底,浓度为0.13%时增色到峰值,随后随浓度的增加增色减弱。这是由于甜菊糖苷是以相同的双萜配基构成的8种配糖体的混合物,糖及其降解产物对花色苷的稳定性影响与糖浓度有关,在低浓度的糖存在下,花色苷的降解加速^[6];随着甜菊糖苷浓度的增加显示辅色作用,花色苷和辅色剂的浓度是辅色效果的重要影响因子,辅色剂与花色苷的比值增加会得到更好的辅色效果^[17],但超过一定浓度由于辅色剂与花色苷分子间通过分子堆积、氢键结合等作用使花色苷稳定性增强的同时,甜菊糖苷的多羟基引入又使花色苷的颜色紫移,一般羟基化程度较高的花色苷稳定性较低。

表 4 金属离子对马齿苋花色苷稳定性的影响

Table 4 Effects of metal ions on stability of anthocyanins from <i>Portulaca oleracea</i>								
金属离子	CK	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Na ⁺	K ⁺
沉淀物	无	无	沉淀	无	无	无	无	无
颜色	浅红色	红色	红色	红色	绿色	棕色	红色	红色

2.2.6 金属离子对马齿苋花色苷稳定性的影响

不同金属离子对马齿苋花色苷的影响不同，有护色作用也有破坏作用，这与金属离子和花色苷本身的结构和浓度有关，只有在 B-环上含有邻位羟基的花色苷才能和金属离子如钙、铁、铜、铝等形成配合物^[18]，使颜色加深。由表 4 和图 7 可知，加入 Ca²⁺的马齿苋榨汁溶液产生白色沉淀，沉降后其吸光度增大，红色加深；加入 Cu²⁺和 Fe³⁺的溶液虽然吸光度增加，但颜色已不是红色，加入 Cu²⁺的溶液呈绿色，是由于 Cu²⁺本身的蓝色所致；加入 Fe³⁺的溶液呈棕色，可能是由于 Fe³⁺本身的黄色所致；加入 Na⁺、Mg²⁺、Zn²⁺、K⁺等离子的色素溶液吸光度值变化较小，仍呈现红色，可能是由于这些金属离子不与马齿苋花色苷发生反应，从而使颜色相对稳定。

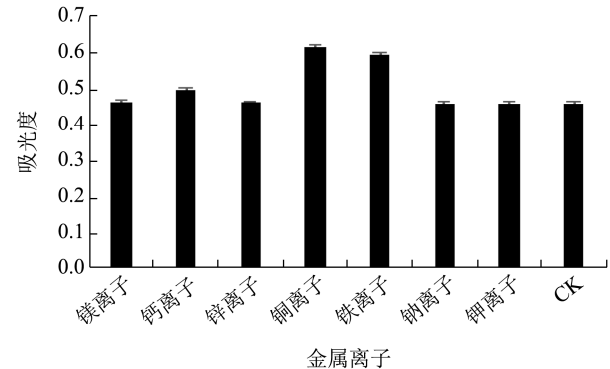


图 7 金属离子对马齿苋花色苷吸光度的影响

Fig.7 Effect of metal ions on the absorbance of anthocyanin from *Portulaca oleracea*

3 结论

3.1 马齿苋花色苷在弱酸性条件下较稳定，在强酸和 pH≥7 时，花色苷不稳定；高温和光照都能降低花色苷的稳定性，当温度高于 60 ℃时花色苷被破坏，温度应控制在 40 ℃以下；氧化剂和还原剂都能使马齿苋花色苷稳定性降低；木糖醇随浓度的增加对马齿苋花色苷有增色作用，呈对称的正态分布，浓度为 10% 达到峰值，随后随浓度增加增色减弱；甘露醇随浓度增加对马齿苋花色苷的减色作用增强；甜菊糖苷随着用量增加对马齿苋花色苷先减后增再降，呈倾斜的 S 形，浓度为 0.06%时减色到谷底，浓度为 0.13%时增色到峰值，随后随浓度的增加呈下降趋势，但浓度为 0.26%时仍然处于增色状态；柠檬酸和乳酸浓度为 3%

时增色作用最大，之后随浓度的增加增色作用减弱直至减色；添加 Na⁺、Mg²⁺、Zn²⁺、K⁺离子的花色苷溶液稳定性较好，而添加了 Ca²⁺、Cu²⁺ 和 Fe³⁺的马齿苋花色苷溶液稳定性降低。

3.2 马齿苋榨汁应低温避光贮藏，马齿苋榨汁具有防腐和抗氧化性，因此马齿苋榨汁饮料的配制无需添加抗氧化剂和防腐剂。保持马齿苋榨汁本身诱人的色泽：柠檬酸用量<3%，木糖醇<10%、或甜菊糖苷用量在 0.08%~0.13%范围，这些甜味剂的选用不仅安全性高，且适合糖尿病人、肥胖病人、高血脂病人饮用。

参考文献

[1] 陆漫漫,敬璞.酰基化对花色苷呈色及抗氧化性影响[J].上海交通大学学报(农业科学)版,2016,34(6):29-36
LU Man-man, JING Pu. Effects of acylation on color and antioxidant activity of anthocyanins [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2016, 34(6): 29-36

[2] 王维茜,邓洁红,石星波,等.刺葡萄皮中花色苷的分离纯化与结构鉴定[J].农业工程学报,2016,32(4):296-301
WANG Wei-qian, DENG Jie-hong, SHI Xing-bo, et al. Isolation, purification and structure identification of anthocyanins from *Vitis davidii* foex skin [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(4): 296-301

[3] 苏帆,薛佳,杨曦,等.酚酸对红肉苹果花色苷辅色效果及稳定性的影响[J].中国农业科学,2017,50(4):732-742
SU Fan, XUE Jia, YANG Xi, et al. Effects of phenolic acids on copigmentation and stability of anthocyanins in red-fleshed apple [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(4): 732-742

[4] 郑时莲,邓泽元,蒋海伟,等.茄子皮中花色苷提取方法的比较及其抗氧化活性研究[J].中国食品学报,2017,17(1):92-99
ZHENG Shi-lian DENG Ze-yuan JIANG Hai-wei, et al. Comparison of different extraction methods and antioxidant activity of anthocyanins from eggplant peel [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(1): 92-99

[5] Jakobek L. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins [J]. Food Chemistry, 2015, 175: 556-567

- [6] 孙建霞,张燕,胡小松,等.花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J].中国农业科学,2009,42(3):996-1008
SUN Jian-xia, ZHANG Yan, HU Xiao-song, et al. Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(3): 996-1008
- [7] Bordenave N, Hamaker B R, Ferruzzi M G. Nature and consequences of non-covalent interactions between flavonoids and macronutrients in foods [J]. Food & Function, 2014, 5(1): 18-34
- [8] 孙磊,樊秀彩,张颖,等.部分中国野生葡萄果皮花色苷组分分析[J].果树学报,2015,32(6):1143-1151
SUN Lei, FAN Xiu-cai, ZHANG Ying, et al. Analysis of anthocyanin composition in berry skin of Chinese wild grape [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(6): 1143-1151
- [9] 杨晓慧,陈为凯,何非,等.5个红色酿酒葡萄品种花色苷组成差异分析[J].西北农业学报,2017,26(11):1648-1654
YANG Xiao-hui, CHEN Wei-kai, HE Fei, et al. Varietal differentiation of five *Vitis vinifera* red wine grapes based on their anthocyanin composition [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2017, 26(11): 1648-1654
- [10] 赵巧玲,陈晓梅,赵晋忠,等.黑豆种皮花色苷含量及抗氧化活性的测定[J].山西农业科学,2017,45(8):1240-1243,1267
ZHAO Qiao-ling, CHEN Xiao-mei, ZHAO Jin-zhong, et al. Determination of the anthocyanin content and antioxidant activity of black beans seed coat [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(8): 1240-1243, 1267
- [11] 张唯,严成,张曦,等.超高压提取玫瑰花色苷及稳定性研究[J].中国调味品,2018,43(8):151-157
ZHANG Wei, YAN Cheng, ZHANG Xi, et al. Study on ultra-high pressure extraction and stability of anthocyanins from rose [J]. China Condiment, 2018, 43(8): 151-157
- [12] 刘敬华,王振宇.精制及高纯度蓝靛果花色苷的抗氧化性及稳定性研究[J].食品工业科技,2013,34(19):87-92
LIU Jing-hua, WANG Zhen-yu. Study on antioxidative activity and stability on the refined and high purity of anthocyanins of *Lonicera edulis* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 87-92
- [13] 雷月,黎盛,智红涛,等.粗制及精制蓝靛果花色苷的稳定性和抗氧化性研究[J].食品工业科技,2016,37(2):113-118,124
LEI Yue, LI Sheng, ZHI Hong-tao, et al. Stability and antioxidant activity of anthocyanins from *Lonicera edulis* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(2): 113-118, 124
- [14] 王露,孙双勋,邵焯丹,等.红肉桃花色苷的提取纯化及稳定性研究[J].食品工业科技,2014,35(24):113-117,122
WANG Lu, SUN Shuang-xun, SHAO Ye-dan, et al. Extraction and stability of the anthocyanin from blood-flesh peach [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(24): 113-117, 122
- [15] 管敬喜,文仁德,成果,等.野生毛葡萄皮渣花色苷稳定性研究[J].食品科技,2017,43(12):210-214
GUAN Jing-xi, WEN Ren-de, CHENG Guo, et al. The stability of anthocyanins from the wild *V. quinquangularis* Rehd. grape peel [J]. Food Science and Technology, 2017, 43(12): 210-214
- [16] 张四杰,钱正,刘京晶,等.铁皮石斛花中花色成分抗氧化性和稳定性研究[J].中国中药杂志,2018,43(10):2025-2031
ZHANG Si-jie, QIAN Zheng, LIU Jing-jing, et al. Analysis on stability and antioxidant capacity of color-related components from dendrobium of ficinale flower [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2018, 43(10): 2025-2031
- [17] 田小燕,邓洁红,位佳静,等.花色苷有机酸酰化及黄酮辅色研究进展[J].农产品加工·学刊,2012(11):127-131
TIAN Xiao-yan, DENG Jie-hong, WEI Jia-jing, et al. Research progress on organic acid acylation and flavonoids copigment of anthocyanins [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012(11): 127-131
- [18] 李玲,郭丽萍.超声辅助提取火龙果果皮花色苷及稳定性研究[J].食品工业科技,2017,38(6):298-303,323
LI Ling, GUO Li-ping. Study on ultrasonic-assisted extraction and stability of anthocyanins from pitaya peel [J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(6): 298-303, 323

(上接第164页)

- [28] 顾成波,蔡曼,袁肖寒,等.牡荆苷的植物资源及药理作用研究进展[J].中国中药杂志,2015,40(3):382-389
GU Cheng-bo, CAI Man, YUAN Xiao-han, et al. Research progress on plant resources distribution of vitexin and its pharmacological effects [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 40(3): 382-389
- [29] 张雪,徐道华.牡荆苷的药理作用研究进展[J].中国医药导报,2013,10(35):35-38
ZHANG Xue, XU Dao-hua. Research progress of pharmacological action of vitexin [J]. China Medical Herald, 2013, 10(35): 35-38

现代食品科技