

食品配料及添加剂对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

王丽霞^{1,2}, 戴婷玉³, 邹雨¹, 朱丽¹, 张琼^{3,*}, 肖丽霞^{4,*}

(1.莆田学院 环境与生物工程学院, 福建 莆田 351100; 2.莆田学院 枇杷种质资源创新与利用福建省高校重点实验室, 福建 莆田 351100; 3.闽南师范大学 生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000; 4.扬州大学 食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要:为研究玫瑰茄花色苷的稳定性,采用超声波辅助法和大孔树脂吸附法对玫瑰茄干花萼中花色苷进行提取纯化,以吸光度为指标,研究葡萄糖、白砂糖、麦芽糖、蜂蜜、麦芽糊精、甜蜜素、食盐、抗坏血酸8种常见食品配料及添加剂对玫瑰茄花色苷稳定性的影响。结果表明,葡萄糖和麦芽糊精根据添加量不同对玫瑰茄花色苷表现出增色作用及破坏作用;白砂糖、麦芽糖、蜂蜜、食盐、抗坏血酸对玫瑰茄花色苷均有不同程度的增色作用,其中蜂蜜的效果最好;甜蜜素对玫瑰茄花色苷具有破坏作用。

关键词:玫瑰茄;花色苷;纯化;食品添加剂;稳定性

Effects of Food Ingredients and Additives on the Stability of Anthocyanin from Roselle

WANG Li-xia^{1,2}, DAI Ting-yu³, ZOU Yu¹, ZHU Li¹, ZHANG Qiong^{3,*}, XIAO Li-xia^{4,*}

(1. School of Environmental and Biological Engineering, Putian University, Putian 351100, Fujian, China; 2. Key Laboratory of Loquat Germplasm Innovation and Utilization, Putian University, Putian 351100, Fujian, China; 3. Department of Biology Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China; 4. College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu, China)

Abstract: In order to study the stability of anthocyanin in roselle, the anthocyanin was extracted and purified by an ultrasonic-assisted method and macro porous resin adsorption method. The effects of eight common food Ingredients and additives (glucose, sucrose, maltose, honey, maltodextrin, sodium cyclamate, salt, ascorbic acid) on the stability of the anthocyanins from roselle were studied with absorbance value as index. The results showed that glucose and maltodextrin showed protective and degradation effects on roselle anthocyanin depending on the amount of addition. Sucrose, maltose, honey, salt and ascorbic acid all had different degrees of hyperchromic effect on roselle anthocyanin, among which honey was the best. Sodium cyclamate had destructive effect on roselle anthocyanin.

Key words: roselle; anthocyanin; purification; food additive; stability

引文格式:

王丽霞,戴婷玉,邹雨,等.食品配料及添加剂对玫瑰茄花色苷稳定性的影响[J].食品研究与开发,2020,41(18):15-20
WANG Lixia, DAI Tingyu, ZOU Yu, et al. Effects of Food Additives on the Stability of Anthocyanin from Roselle [J]. Food Research and Development, 2020, 41(18):15-20

基金项目:莆田学院博士科研启动基金(2019022);2017级莆田学院大学生创新创业项目(201911498072);莆田学院科研创新专项项目(2018ZP08)

作者简介:王丽霞(1979—),女(汉),副教授,博士,从事玫瑰茄、魔芋葡甘聚糖结构、功能、高值化方面的研究。

*通信作者:张琼(1980—),女,副教授,博士,研究方向:植物生理生态和污染生态;肖丽霞(1966—),女,教授,博士,研究方向:农产品加工与贮藏。

玫瑰茄(*Hibiscus subdariffa* L.),又称洛神花、洛神葵、洛神果、山茄、红角葵、洛济葵,是锦葵科木槿属一年生草本植物或多年生灌木,生长于热带和亚热带地区^[1]。原产于印度、马来西亚、非洲,在我国福建、台湾、广东、海南、广西、云南等地有栽培。玫瑰茄花萼中富含多酚尤其是花色苷类色素,主要成分为飞燕草素 3-桑布双糖苷、矢车菊素-3-桑布糖苷,还有少量的飞燕草素-3-O-葡萄糖苷及矢车菊素-3-O-葡萄糖苷^[2]。具有多种生理功能,如抗氧化、清除自由基、抗炎、减肥、抗高血脂、抗高血压、抑制血小板聚集、利尿、抗泌尿系结石、抗菌、抗癌、保肝、护肾、抗肿瘤、免疫调节、解除镉中毒等功能^[3-10]。作为一种天然食品添加剂,玫瑰茄红色素被广泛应用于功能性食品和保健品的原料和着色。然而,花色苷通常不稳定,易受到多种外界环境因素,如光、温度、pH 值、金属离子、二氧化硫、酶、氧化剂、抗坏血酸(V_c)、糖及其降解产物等的影响,而导致颜色改变和生物活性降低^[11]。关于玫瑰茄色素稳定性的研究主要有光照、温度、pH 值、金属离子、有机酸等对其稳定性的影响,结果表明,玫瑰茄花色苷在碱性条件下不稳定,耐热性差,耐光性能不好,金属离子如 Fe³⁺、Cu²⁺等对其稳定性具有破坏作用^[12-13],而食品添加剂对其稳定性影响的研究少见报道。

本试验系统研究了几种常用食品配料及添加剂(葡萄糖、白砂糖、蜂蜜、麦芽糖、麦芽糊精、甜蜜素、食盐、抗坏血酸)对玫瑰茄花色苷稳定性的影响,以期对玫瑰茄花色苷的应用提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

玫瑰茄干花萼:漳州市金三角生物科技有限公司;HPD-100 大孔树脂:泰州国兴科教设备有限公司;食盐、抗坏血酸、麦芽糖、麦芽糊精、白砂糖、葡萄糖、甜蜜素、蜂蜜:市购,食品级。

1.2 仪器设备

WK-150 全新气流式超微粉碎机:欣镇企业有限公司;FA2004 电子天平:广州市博勒泰贸易有限公司;KQ-200VDE 双频数控超声波清洗器:昆山市超声仪器有限公司;TGL-20M 台式高速冷冻离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;SHZ-D(III)循环水式真空泵、RE-301 旋转蒸发器:巩义市予华仪器有限责任公司;BSZ-30 自动收集器:上海青浦沪西仪器厂;ZK-82A 真空干燥箱:上海实验仪器总厂;UV-1100 紫外分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;DHG-9030A 电热鼓风干燥箱:上海精宏实验设备有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 玫瑰茄花色苷的制备

取适量玫瑰茄干花萼于超微粉碎机中粉碎,以微粉与蒸馏水 1:130(g/mL)的比例混合均匀,超声处理,并冷冻离心得上清液^[14]。后减压浓缩得红色黏稠粗提液,经大孔树脂纯化^[15],再减压浓缩得到纯化的玫瑰茄花色苷浓缩液,真空干燥得到紫红色粉末,即为玫瑰茄花色苷,其中花色苷含量为 10.8 mg/g。

1.3.2 食品配料及添加剂对玫瑰茄花色苷稳定性的影响试验

配制 50 mL 系列质量浓度的食品配料及添加剂溶液,然后分别加入 0.02 g 花色苷粉末,缓慢摇匀。以未添加食品配料及添加剂的花色苷溶液设置为添加食品配料及添加剂的花色苷溶液的对照,在 520 nm 波长下测定吸光值,再于 75 °C 恒温干燥箱中加热 1 h,迅速冷却后再次测定吸光值,加热、冷却、测定步骤重复 5 次。以研究随着加热时间的延长不同浓度食品配料及添加剂对玫瑰茄花色苷稳定性的影响。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据整理并作图,用 SPSS 19.0 最小显著极差法(least significant difference, LSD) 进行多重比较,显著水平 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 葡萄糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

葡萄糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响规律如图 1 所示。

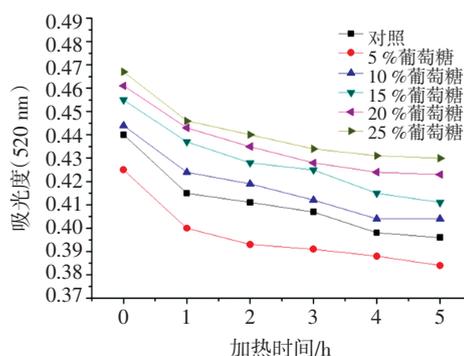


图 1 葡萄糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.1 Effects of the addition of glucose on the stability of roselle anthocyanin

由图 1 可知,随着加热时间的延长,所有组别所测得的吸光值均在降低且变化趋势大致相同。即加热 2 h 时,吸光值降低趋势明显,加热 2 h 后吸光值降低趋势变得缓慢,表明加热对花色苷起降解作用,这是因为花色苷的降解是一个吸热过程^[16];此外,由图 1 可见,

含 10%~25% 浓度葡萄糖的玫瑰茄花色苷溶液吸光值大于未添加葡萄糖花色苷溶液的吸光值,且随着葡萄糖浓度的增加,吸光值增大越显著($p < 0.05$),而 5% 浓度的葡萄糖溶液中玫瑰茄花色苷溶液的吸光值显著低于对照组中花色苷溶液吸光值($p < 0.05$),即高浓度葡萄糖对玫瑰茄花色苷起到增色作用,且浓度越高,增色效果越明显;而低浓度葡萄糖对玫瑰茄花色苷具有降解作用。这是由于在高浓度糖存在情况下,水分活度降低,花色苷生成假碱式结构的速度减慢,花色苷的颜色得到了保护;在低浓度糖存在条件下,花色苷降解加速^[17]。当加热 5 h 时,添加高浓度葡萄糖的玫瑰茄花色苷溶液吸光值仍然高于对照组,说明高浓度葡萄糖能够提高玫瑰茄花色苷的热稳定性。M. Kopjar 等^[18]亦研究发现葡萄糖对黑莓果汁贮藏过程中花色苷含量有积极的影响。因此,在加工过程中可以通过添加高浓度葡萄糖来提高玫瑰茄花色苷的热稳定性,且葡萄糖的添加浓度应以大于 10% 为宜。

2.2 白砂糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

白砂糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响规律如图 2 所示。

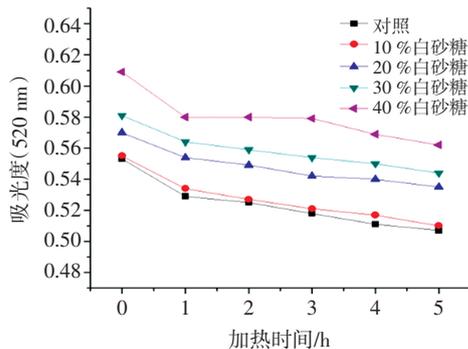


图 2 白砂糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.2 Effects of the addition of sucrose on the stability of rose hip anthocyanin

由图 2 可知,添加白砂糖的玫瑰茄花色苷溶液的吸光值均大于玫瑰茄花色苷溶液的吸光值,且随着白砂糖浓度的增加,玫瑰茄花色苷溶液吸光值增加越明显($p < 0.05$),即白砂糖对玫瑰茄花色苷起到增色作用。P.J.Tsai 等^[17]研究表明,蔗糖是玫瑰茄花色苷很好的保护剂,尤其在高浓度时,归因于蔗糖溶液束缚了水分子的移动。而 M. Kopjar 等^[18]研究发现添加蔗糖对黑莓果汁贮藏过程中花色苷含量有消极影响。也有研究表明蔗糖对花色苷的稳定性无显著影响,如 E.Sadilova 等^[19]研究了葡萄糖、果糖、蔗糖对 pH3.5 的草莓汁、接骨木莓汁及黑胡萝卜汁在 95 °C 加热 2 h 和 4 h 热稳定性的影响,发现:添加葡萄糖、果糖、蔗糖对用黑胡萝

卜浓缩液制备的果汁花色苷没有明显的稳定作用。这是由于原料不同,其中所含花色苷种类和结构不同导致^[20]。

2.3 麦芽糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

麦芽糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响规律如图 3 所示。

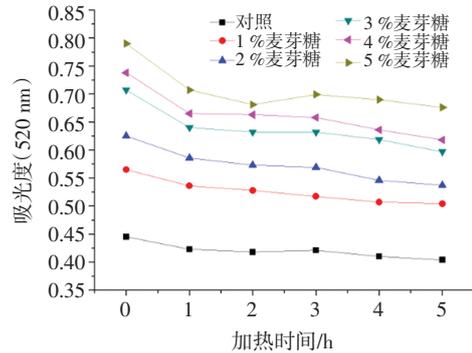


图 3 麦芽糖添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.3 Effects of the addition of maltose on the stability of rose hip anthocyanin

由图 3 可知,玫瑰茄花色苷在不同浓度的麦芽糖溶液中的吸光值均高于对照组,表明麦芽糖对玫瑰茄花色苷具有较强的增色效应,且随着麦芽糖浓度的增高,增色作用越明显($p < 0.05$)。这是由于麦芽糖本身含有色素,并且具有一定的黏性,增加了花色苷溶液的黏度,从而增强了花色苷的受热稳定性;另外添加麦芽糖同样降低了水分活度,减缓了花色苷的降解速度。研究表明麦芽糖对阴香花色苷也有很强的辅色效应^[21]。

由试验现象可观察到,当进一步提高麦芽糖浓度时,由于麦芽糖具有一定的黏性,浓度越高越不容易在水中完全溶解,加入花色苷后,溶液不完全澄清,且随着加热时间的延长,高浓度的麦芽糖溶液中出现絮状物,会吸附住一些花色苷,可能导致玫瑰茄花色苷稳定性下降。因此,在加工过程中可以通过添加适当浓度的麦芽糖来提高玫瑰茄花色苷的稳定性。

2.4 蜂蜜添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

蜂蜜添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响如图 4 所示。

由图 4 可知,在不同浓度的蜂蜜溶液中花色苷溶液的吸光值均高于对照组,且随着加热时间延长,吸光值呈现逐渐上升的趋势。即 4 种添加量的蜂蜜对玫瑰茄花色苷均具有增色作用。此外,10%~30% 的蜂蜜溶液中花色苷溶液的吸光值随着蜂蜜浓度的增加而增大,而 40% 的蜂蜜溶液中花色苷溶液的吸光值却低于 30% 蜂蜜溶液中的花色苷的吸光值,说明蜂蜜对玫

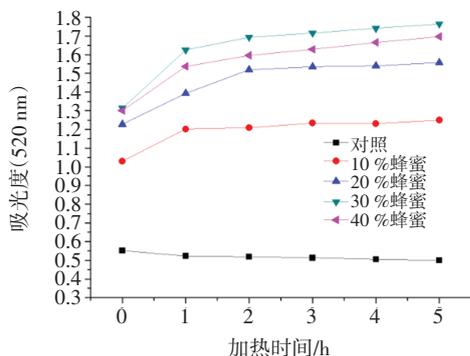


图4 蜂蜜添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.4 Effects of the addition of honey on the stability of roselle anthocyanin

瑰茄花色苷具有保护作用,并能提高玫瑰茄花色苷的稳定性,但当其达到一定浓度时这种辅色作用会呈现出减弱的趋势。P.J.Tsai 等^[17]也研究表明,蜂蜜在浓度达到 40% 或者加热超过 50℃ 时,会导致玫瑰茄花色苷严重降解。因此,在加工过程中可以通过添加一定浓度的蜂蜜来提高玫瑰茄花色苷的稳定性,并以 30% 的蜂蜜浓度为好。

2.5 麦芽糊精添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

麦芽糊精添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响如图 5 所示。

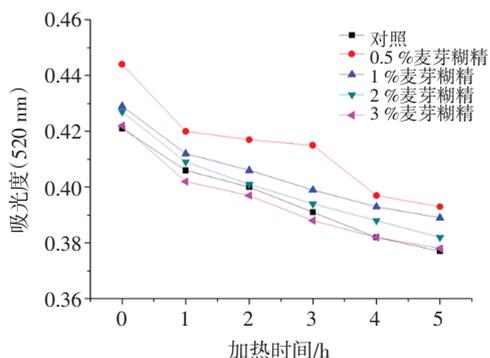


图5 麦芽糊精添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.5 Effects of the addition of maltodextrin on the stability of roselle anthocyanin

由图 5 可知,在所研究的浓度范围(0%~3%,以质量计)内,麦芽糊精对玫瑰茄花色苷的影响呈现一定的规律性。其中,0.5%、1%、2%浓度的麦芽糊精对玫瑰茄花色苷具有保护作用,这是由于麦芽糊精作为一种包埋剂,与花色苷形成非共价复合物提高了花色苷的稳定性^[22-23]。Kar Lim 等^[22]研究表明在喷雾干燥过程中随着麦芽糊精的增加,花色苷含量也相应增加,表明麦芽糊精对花色苷具有一定的保护作用。Yingngam 等^[23]研究表明麦芽糊精能够保护浆果提取液在喷雾干燥过程中花色苷的稳定性。但是随着麦芽糊

精浓度的增加,对玫瑰茄花色苷的保护作用减弱。当麦芽糊精浓度达到 3% 时,玫瑰茄花色苷溶液的吸光值低于对照组的吸光值。这可能是由于当麦芽糊精浓度过高时,对花色苷起到过度包埋作用,导致溶液吸光度降低。由此可见,麦芽糊精对玫瑰茄花色苷稳定性的影响与麦芽糊精的浓度有关。即低浓度麦芽糊精对玫瑰茄花色苷具有保护作用,而高浓度的麦芽糊精降低了玫瑰茄花色苷的色泽。因此在玫瑰茄花色苷制品的加工过程中麦芽糊精的添加量以低于 0.5% 为好。

2.6 甜蜜素添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

甜蜜素添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响如图 6 所示。

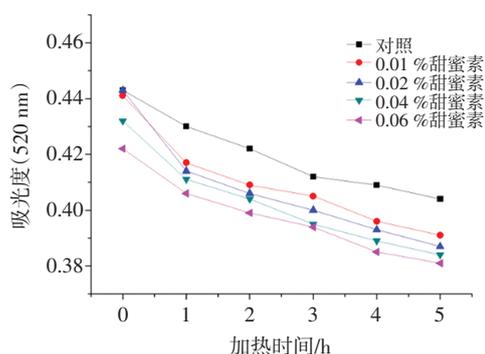


图6 甜蜜素添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.6 Effects of the addition of sodium cyclamate on the stability of roselle anthocyanin

由图 6 可知,添加 4 种浓度的甜蜜素后,玫瑰茄花色苷溶液的吸光值均比对照组低,且甜蜜素浓度越高,吸光度越低($p < 0.05$),溶液颜色也越浅,并且随着加热时间的延长,添加甜蜜素的玫瑰茄花色苷溶液吸光值下降速率更快。说明甜蜜素降低了玫瑰茄花色苷的稳定性。因此,在玫瑰茄产品的加工制作过程中最好用其他甜味剂代替甜蜜素。但张长峰等^[24]研究表明甜蜜素对紫菜苔色素具有增色效应。而夏楚杰等^[25]研究表明甜蜜素对血耳色素稳定性及颜色无明显影响。这是由于不同来源的花色苷种类、结构不同所致。

2.7 食盐添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

食盐添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响如图 7 所示。

由图 7 可知,含 5%~20% 食盐的玫瑰茄花色苷溶液的吸光值均大于对照组,且随着食盐浓度的增加,对玫瑰茄花色苷的增色效果越明显。但是在热处理过程中,随着加热时间延长,食盐对玫瑰茄花色苷的保护作用逐渐减弱。其中,低浓度(5%~10%)的食盐溶液对玫瑰茄花色苷的热稳定性无显著影响($p > 0.05$);高浓度食盐(15%~20%)能够显著提高玫瑰茄花色苷

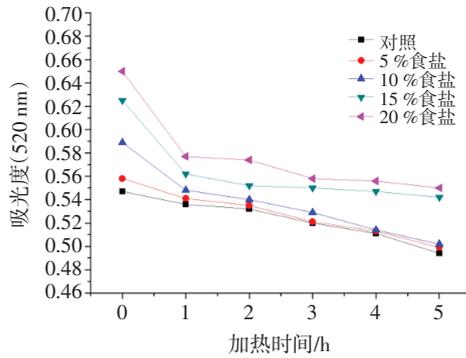


图7 食盐添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.7 Effects of the addition of salt on the stability of roselle anthocyanin

的热稳定性($p < 0.05$)。因此,在玫瑰茄制品加工过程中可适量添加食盐,对玫瑰茄花色苷起辅色作用。章建浩等^[13]也研究表明加入 NaCl 对玫瑰茄红色素无不良影响,且能使颜色增加。

2.8 抗坏血酸添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

抗坏血酸添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响规律如图 8 所示。

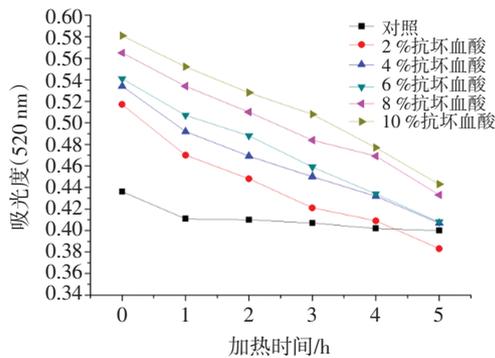


图8 抗坏血酸添加量对玫瑰茄花色苷稳定性的影响

Fig.8 Effects of the addition of ascorbic acid on the stability of roselle anthocyanin

由图 8 可知,含不同浓度抗坏血酸的玫瑰茄花色苷溶液吸光值均高于对照组,且抗坏血酸浓度越高,吸光度越大($p < 0.05$),即抗坏血酸对玫瑰茄花色苷具有增色作用。这是由于抗坏血酸是抗氧化剂,具有还原性,能延缓玫瑰茄花色苷的氧化所致。

此外,由图 8 还可以看出,随着加热时间延长,不同抗坏血酸添加量的花色苷溶液的吸光值均逐渐下降,但对对照组花色苷溶液吸光度下降幅度比较平缓,而含抗坏血酸的花色苷溶液在加热过程中吸光度下降速度较快。其中,含 2% 抗坏血酸的花色苷溶液在加热 5 h 时,吸光值明显低于对照组,即此时抗坏血酸引起玫瑰茄花色苷的降解。这可能是由于花色苷溶液加入抗坏血酸后在较长时间的加热过程中,抗坏血酸氧

化生成过氧化氢,而过氧化氢亲核进攻花色苷的 C2 位,导致花色苷开环产生无色物质,加速花色苷的降解。本试验由于加热处理时间较短,并且在加热过程中花色苷溶液采用保鲜膜封口,花色苷溶液中氧气含量很少,因此抗坏血酸没有氧化生成过氧化氢或生成量很少,因此,在试验时间内,添加抗坏血酸由于抑制了花色苷的氧化而使玫瑰茄花色苷得到了保护。综上所述,在加工过程中可以通过缩短加热时间和提高抗坏血酸的浓度来提高玫瑰茄花色苷在热处理过程中的稳定性。

3 结论

低浓度葡萄糖对玫瑰茄花色苷具有破坏作用,而高浓度葡萄糖能减缓玫瑰茄花色苷的降解,起到增色作用,并能提高玫瑰茄花色苷的热稳定性。低浓度麦芽糖增加了溶液的黏度和稠度,对玫瑰茄花色苷具有较强的辅色效应,但是当浓度过高,在水中不易完全溶解,加热后出现絮状物,并吸附花色苷,溶液不澄清,导致玫瑰茄花色苷稳定性下降。低浓度麦芽糊精通过与花色苷形成非共价复合物,提高了花色苷的热稳定性,对玫瑰茄花色苷具有保护作用,而高浓度的麦芽糊精由于过度的包埋降低了玫瑰茄花色苷的色泽。甜蜜素对玫瑰茄花色苷具有明显的破坏作用,不利于玫瑰茄花色苷的稳定。白砂糖、蜂蜜、食盐和抗坏血酸对玫瑰茄花色苷具有增色作用,并且能够增强花色苷的热稳定性,其中蜂蜜的添加量以 30% 为好。

参考文献:

- [1] Riaz G, Chopra R. A review on phytochemistry and therapeutic uses of *Hibiscus sabdariffa* L[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 102: 575-586
- [2] Gradinaru G, Biliaderis C G, Kallithraka S, et al. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state: effects of copigmentation and glass transition[J]. Food Chemistry, 2003, 83: 423-436
- [3] Mardiah, Zakaria F R, Prangdimurti E, et al. Anti-inflammatory of purple roselle extract in diabetic rats induced by Streptozotocin[J]. Procedia Food Science, 2015, 3: 182-189
- [4] Peter E L, Rumisha S F, Mashoto K O, et al. Ethno-medicinal knowledge and plants traditionally used to treat anemia in Tanzania: a cross sectional survey[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2014, 154: 767-773
- [5] Moyano G, Sayago-Ayerdi S G, Largo C, et al. Potential use of dietary fibre from *Hibiscus sabdariffa* and *Agave tequilana* in obesity management[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 1-9
- [6] Gbolade A. Ethnobotanical study of plant used in treating hyperten-

- sion in Edo State of Nigeria[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 144: 1-10
- [7] Prasongawatana V, Woottisin S, Sriboonlue P, et al. Uricosuric effect of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in normal and renal-stone former subjects[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 117: 491-495
- [8] Aziz Z, Wong S Y, Chong N J. Effects of *Hibiscus sabdariffa* L. on serum lipids: a systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 150: 442-450
- [9] Tsai T C, Huang H P, Chang Y C, et al. An anthocyanin-rich extract from *Hibiscus sabdariffa* Linnaeus inhibits N-nitrosomethylurea-induced leukemia in rats[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 1572-1580
- [10] Formagio A S N, Ramos D D, Vieira M C, et al. Phenolic compounds of *Hibiscus sabdariffa* and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties[J]. Brazilian Journal of Biology, 2015, 75(1): 69-76
- [11] Luna-Vital D, Li Q, West L, et al. Anthocyanin condensed forms do not affect color or chemical stability of purple corn pericarp extracts stored under different pHs[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 639-647
- [12] 任建军. 水溶性玫瑰茄色素稳定性研究[J]. 农产品加工, 2017(9):5-7
- [13] 章建浩,陈松,刘海斌,等. 食用玫瑰茄红色素的稳定性研究[J]. 食品科技,2001(1):49-55
- [14] 王丽霞,王贤龙,王玉玲,等. 超声波辅助提取玫瑰茄色素的工艺研究[J]. 食品研究与开发,2017,38(14):38-43
- [15] 张赛男,李林福,陈毅勇,等. 玫瑰茄花色苷纯化工艺优化研究[J]. 粮油食品科技,2015,23(5):55-60
- [16] Peron D V, Fraga S, Antelo F. Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from juçara (*Euterpe edulis* Martius) and "Italia" grapes (*Vitis vinifera* L.), and the effect of heating on the antioxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 836-840
- [17] Tsai P J, Delva L, Yu T Y, et al. Effect of sucrose on the anthocyanin and antioxidant capacity of mulberry extract during high temperature heating[J]. Food Research International, 2005, 38: 1059-1065
- [18] Kopjar M, Jakšić K, Pilizota V. Influence of sugars and chlorogenic acid addition on anthocyanin content, antioxidant activity and color of blackberry juice during storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2012, 36:545-552
- [19] Sadilova E, Stintzing F C, Kammerer D R, et al. Matrix dependent impact of sugar and ascorbic acid addition on color and anthocyanin stability of black carrot, elderberry and strawberry single strength and from concentrate juices upon thermal treatment[J]. Food Research International, 2009, 42:1023-1033
- [20] 李颖畅,孟宪军,周艳,等. 金属离子和食品添加剂对蓝莓花色苷稳定性的影响[J]. 食品科学,2009,30(9):80-84
- [21] 张镜,刁树平. 食品酸味剂、甜味剂及增稠剂对阴香花色苷稳定性的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(22):266-270
- [22] Lim K, Ma M, Dolan K D. Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products[J]. Journal of Food Science, 2011, 76 (7): 156-164
- [23] Yingngam B, Tantiraksaroj K, Taweetao T, et al. Modeling and stability study of the anthocyanin-rich maoberry fruit extract in the fast-dissolving spray-dried microparticles[J]. Powder Technology, 2018, 325: 261-270
- [24] 张长峰,章艳. 紫菜苔色素稳定性研究[J]. 食品科技,2013,38(7): 258-264
- [25] 夏楚杰,徐琪,吕江潮,等. 血耳色素的稳定性研究[J]. 中国食品添加剂,2017(1):128-134

收稿日期:2019-10-10

尚德守法
共治共享食品安全