

金刺梨黄色素提取条件及稳定性研究

Studies on the extraction process and its stability of yellow pigment from *Rosa sterilis* D. shi

谢国芳^{1,2}

田永林^{1,2}

邓玉莲^{1,2}

周笑犁^{1,2}

XIE Guo-fang^{1,2}

TIAN Yong-lin^{1,2}

DENG Yu-ling^{1,2}

ZHOU Xiao-li^{1,2}

刘永玲^{1,2}

赵治兵^{1,2}

马立志^{1,2}

LIU Yong-ling^{1,2}

ZHAO Zhi-bing^{1,2}

MA Li-zhi^{1,2}

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550005)

(1. Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University, Guiyang, Guizhou 550005, China;

2. Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang, Guizhou 550005, China)

摘要:以金刺梨果实为原料,通过提取剂筛选和均匀设计等试验确定金刺梨黄色素的提取条件,分析光照、pH、氧化剂、还原剂、金属离子、糖等物质对其稳定性和抗氧化能力的影响。结果显示:金刺梨黄色素的最佳提取条件为:以80%丙酮为提取剂,料液比1:16(g/mL),提取温度58℃,提取时间3.5h,提取2次。金刺梨黄色素在日光下虽不稳定,但仍有较强的抗氧化能力,在pH5~7时色泽和抗氧化能力较稳定;H₂O₂破坏黄色素的色泽和抗氧化能力,Na₂SO₃可显著提高其吸光值、FRAP和TRPA;对Zn²⁺、Cu²⁺、K⁺、Mg²⁺、Na⁺和Al³⁺等金属离子较稳定,对Fe³⁺不稳定,所试金属离子对金刺梨黄色素抗氧化能力均有一定影响;葡萄糖、蔗糖和麦芽糖等对金刺梨黄色素色泽影响不大,麦芽糖可提高其FRAP。

关键词:金刺梨;黄色素;提取;稳定性

Abstract: The extraction conditions of yellow pigment from *Rosa sterilis* D. shi were optimized by extraction agent screening and uniform experimental design, and the effects of light, pH, oxidant, reducing agent, metal ions and sugar on their stability and antioxidant capacity was investigated. The optimum extraction conditions of *Camellia oleifera* cake were obtained as follows: 80% acetone, the ratio of material to liquid is 1:16(g/mL), each time ultrasonic assisted extraction for 3.5 h at 58℃, and extraction 2 times. The yellow pigment was unstable in the sunlight, but showing a strong

antioxidant capacity. Yellow pigment and its antioxidant capacity was relatively stable in the pH 5~7. H₂O₂ destroyed the color and its antioxidant capacity of yellow pigment. Na₂SO₃ could significantly increase the absorbance, FRAP and TRPA of yellow pigment. It was stable to Zn²⁺, Cu²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺ and Al³⁺, but unstable to Fe³⁺, the tested metal ions had a certain effect on antioxidant capacity of yellow pigment. Glucose, sucrose and maltose had little effect on stability of yellow pigment, while maltose could improve the FRAP.

Keywords: *Rosa sterilis* D. shi; yellow pigment; extraction; stability

金刺梨(*Rosa sterilis* D.shi)又称无籽刺梨,蔷薇科蔷薇属多年生灌木,为贵州省特有种系,金刺梨果实含有蛋白质、糖、维生素、氨基酸、总酚、微量元素和SOD等功效成分^[1-3],鲜果香气成分丰富、香味浓郁^[4-6]。近年来,随着金刺梨产业的快速发展,由于大量金刺梨鲜果集中上市,导致价格急剧下降,加之鲜果采后易纤维化、失水等引起食用品质和商品价值下降,严重制约该产业发展。目前,虽已开发了果酒、果醋、饮料、果酱、酸奶含片等金刺梨产品^[7-10],但均以金刺梨果汁为原料,由此产生大量的果渣。由于缺乏精深加工技术,果渣直接废弃,不仅浪费果渣中有效成分,还造成环境污染。

本试验拟对金刺梨黄色素提取条件进行优化,研究光照、pH、氧化剂、还原剂、金属离子、糖类对其稳定性及抗氧化能力的影响,明确金刺梨黄色素的提取条件及其适宜的食品体系,实现金刺梨黄色素开发利用,为延长金刺梨产业链提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

金刺梨鲜果:采摘于贵州省安顺市普定县金刺梨种植基

基金项目:贵州省大学生创新创业训练计划项目(编号:201610976036);贵州省普通高等学校特色重点实验室(编号:黔教合KY字[2016]007号)

作者简介:谢国芳(1987—),男,贵阳学院副教授,硕士。

E-mail: xieguofang616@sina.com

收稿日期:2018-01-20

地,采后立即运回实验室;

乙醇、丙酮、甲醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、水溶性维生素 E(Trolox):分析纯,美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:YH-A 6002 型,瑞安市英衡电器有限公司;
超高速冷冻离心机:TGL-166RS 型,上海安亭科学仪器厂;
超声清洗器:KQ5200DE 型,昆山市超声仪器有限公司;
紫外分光光度计:UV-2550 型,日本岛津公司。

1.3 金刺梨黄色素提取条件

1.3.1 提取剂筛选 取适量金刺梨果实,按 1:20 (g/mL)料液比分别加入水、70%甲醇、70%乙醇、70%丙酮,60℃下超声辅助提取 1 h(200 W),提取 2 次,合并滤液,测定其吸光值。
1.3.2 波长测定 取 1.3.1 中水为提取剂所得的提取液,以蒸馏水为空白,在 200~700 nm 波长范围内进行吸收光谱扫描,通过光谱扫描确定其最佳吸收波长为 280 nm,与紫藤花萼中黄色素吸收波长一致^[11]。
1.3.3 提取条件优化 对金刺梨黄色素提取条件提取剂浓度、提取温度、料液比和提取时间等进行试验设计,以吸光值为考核指标,得出金刺梨黄色素的^{最佳提取条件}。各因素的水平范围见表 1^[12]。

表 1 均匀设计因素水平表

Table 1 Factors and levels of uniform design

水平	A 提取剂 浓度/%	B 提取温 度/℃	C 料液比 (g/mL)	D 提取时 间/h
1	30	30	5	4
2	35	40	10	3
3	40	50	15	2
4	45	60	20	1
5	50	70		
6	55	80		
7	60			
8	65			

1.4 金刺梨黄色素稳定性研究

按 1.3 所得最佳提取工艺提取金刺梨黄色素,稀释使其吸光值为 0.2~0.4 后,研究光照、pH、温度、氧化剂、还原剂、金属离子和糖类等对金刺梨黄色素稳定性的影响。

1.4.1 光照对金刺梨黄色素稳定性的影响 取 100 mL 提取液 9 份,分别于室外阳光直照、室内自然光和避光下放置,每处理 3 个平行,从早上 9:00 至下午 18:00,每隔 1 h 测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.4.2 pH 对金刺梨黄色素稳定性的影响 取 45 mL 提取液 10 份,用 HCl 和 NaOH 溶液调节提取液 pH 分别为 3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,每处理 3 个平行,避光放置 3 h 后测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.4.3 氧化剂对金刺梨黄色素稳定性的影响 以 H₂O₂ 为

氧化剂,取 10 mL 提取液 18 份,以蒸馏水为对照,分别加入相同体积、不同浓度的 H₂O₂ 溶液,使体系最终浓度分别为 0.4%,0.8%,1.2%,1.6%,2.0%,每处理 3 个平行,混匀后避光放置 2 h 后测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.4.4 还原剂对金刺梨黄色素稳定性的影响 以 Na₂SO₃ 为还原剂,取 10 mL 提取液 18 份,以蒸馏水为对照,分别加入相同体积、不同浓度的 Na₂SO₃ 溶液,使体系最终浓度分别为 0.4%,0.8%,1.2%,1.6%,2.0%,每处理 3 个平行,混匀后避光放置 2 h 后测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.4.5 金属离子对金刺梨黄色素稳定性的影响 取 8 mL 提取液 24 份,以蒸馏水作为对照,分别加入 8 mL 0.8 g/L 的 Zn²⁺、Cu²⁺、K⁺、Mg²⁺、Na⁺、Fe³⁺、Al³⁺ 溶液,每处理 3 个平行,混匀后避光放置 2 h 后测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.4.6 食品添加剂对金刺梨黄色素稳定性的影响 取 15 mL 提取液 15 份,以蒸馏水作为对照,分别加入 15 mL 的 10%葡萄糖、10%蔗糖、10%麦芽糖和 2%乳酸,每处理 3 个平行,混匀后避光放置 2 h 后测定其吸光值和体外抗氧化能力。

1.5 抗氧化能力测定

1.5.1 Fe²⁺ 还原/抗氧化能力 (FRAP) 参照 Todorovic 等^[13]的方法。

1.5.2 DPPH 自由基清除能力 (DPPH) 参照 Tauchen 等^[14]的方法。

1.5.3 总还原力 (TRPA) 参照 Oliveira 等^[15]的方法。

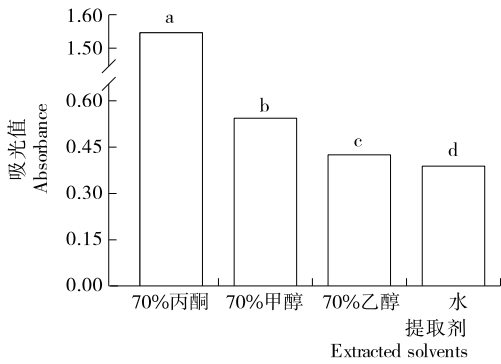
1.6 数据处理

采用 Uniform Design Version 3.0 软件进行均匀试验设计和分析,试验结果采用 Microsoft Excel 软件进行整理,并以平均值±标准偏差方式表示,采用 Graphpad Prism 7.00 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 金刺梨黄色素提取条件

2.1.1 提取剂选择 由图 1 可知,与水相比,有机溶剂可显著提高粗提液的吸光值(P<0.05),其中,70%丙酮作为提取



不同字母表示不同提取剂间差异显著(P<0.05)

图 1 提取剂对黄色素吸光值的影响

Figure 1 Effects of different extracted solvents on absorption of yellow pigment

液的吸光值显著高于 70%乙醇和 70%甲醇($P<0.05$),因此选用丙酮作为金刺梨黄色素提取剂。

2.1.2 金刺梨黄色素提取条件优化 均匀设计试验方案及结果见表 2。

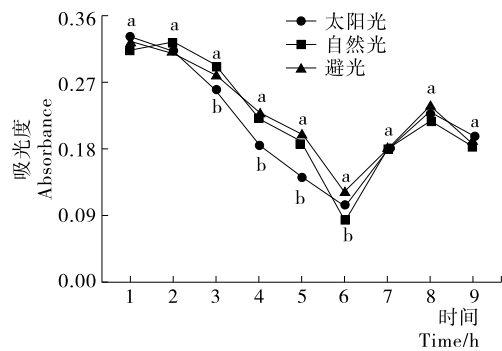
表 2 均匀设计方案及结果

Table 2 Uniform design and result

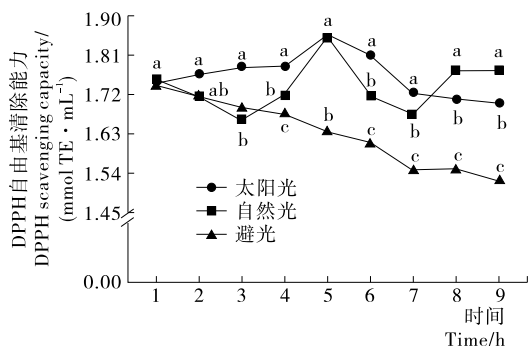
序号	A	B	C	D	吸光值
1	1	2	2	1	0.472
2	2	3	3	1	0.556
3	3	5	4	1	0.675
4	4	6	1	2	0.271
5	5	1	3	2	0.492
6	6	3	4	2	0.649
7	7	4	1	3	0.444
8	8	6	2	3	0.280
9	9	1	4	3	0.495
10	10	2	1	4	0.450
11	11	4	2	4	0.696
12	12	5	3	4	0.585

由表 2 可知,在试验 11 条件下提取液的吸光值最高。采用均匀试验设计软件进行逐步回归分析,其回归方差分析结果见表 3,所得的吸光值随各因素变化的四元二次回归方程:

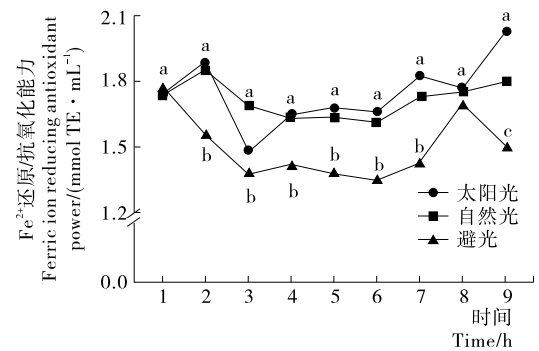
$$Y = -2.69 - 0.137A + 0.317B - 0.484C - 0.392D + 0.000\ 859A^2 - 0.000\ 273B^2 + 0.001\ 65C^2 + 0.005\ 51D^2. \quad (1)$$



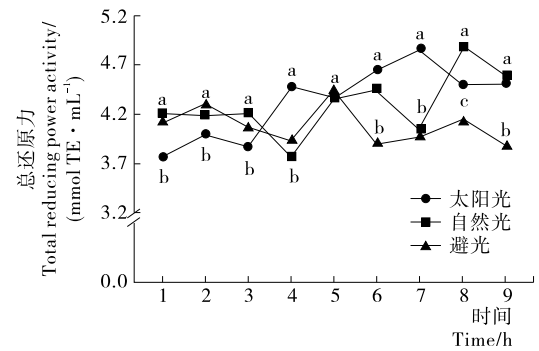
(a) 吸光值



(c) DPPH



(b) FRAP



(d) TRPA

不同字母表示不同光照下差异显著($P<0.05$)

图 2 光照对黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响

Figure 2 Effect of light on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment

回归方程的方差分析结果见表 3。由表 3 可得,回归方程模型显著($P<0.05$),回归方程的决定系数 $R^2=0.876\ 6$,即方程可以解释 87.66%的综合值数据变异,方程的拟合性好。因此可以用该回归方程对试验结果进行分析预测。

表 3 回归方程的方差分析表

Table 3 Variance analysis table of regression equation

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	F 临界值
模型	8	0.183	0.229	23.900	8.845
误差项	3	0.026 0	0.009 58		
总误差	11	1.150	11.000		

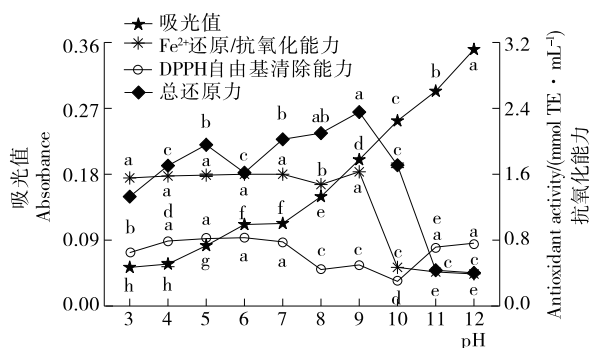
根据回归分析结果,以吸光值为依据,得到最优金刺梨黄色素的提取条件为:提取剂浓度 79.74%、提取温度 58.06℃、料液比 1:16.3(g/mL)、提取时间 3.56 h。从实际操作考虑,取提取剂浓度 80%、提取温度 58℃、料液比 1:16(g/mL)、提取时间 3.5 h,做 4 次验证实验得到提取液的吸光值为 0.689。因此,在采用均匀设计与吸光值得到的金刺梨黄色素提取条件较为准确可靠,具有实用价值。

2.2 金刺梨黄色素稳定性研究

2.2.1 光照对金刺梨黄色素稳定性的影响 由图 2 可知,金刺梨黄色素贮藏期间吸光度呈现先降后升的趋势。前 2 h 不同光照间差异不显著($P>0.05$),3~6 h 时太阳光直照金刺梨黄色素吸光值下降显著快于避光和室内自然光照($P<0.05$),随后(6~8 h)不同光照下金刺梨黄色素均显著上升($P<0.05$),说明太阳光促进金刺梨黄色素降解,与紫藤花萼黄色素的光敏性基本一致^[11],6 h 后黄色素的吸光值增加主

要是室温降低引起金刺梨黄色素可逆性变化引起的;在室内自然光和太阳光直照下黄色素的 FRAP 变化趋势一致;在太阳光直照下黄色素的 DPPH 呈现先增后降的趋势,在 5 h 时达到最大值,随后下降;在室内自然光下黄色素的 DPPH 则在前 3 h 内略微下降随后上升,在 5 h 时达到最大值;避光下黄色素的 FRAP 和 DPPH 显著低于室内自然光和太阳光直照($P<0.05$),可能是光照吸收紫外光增加黄色素的能量,从而促进 Fe^{2+} 的氧化反应和 DPPH 清除能力。

2.2.2 pH 对金刺梨黄色素稳定性的影响 由图 3 可知,金刺梨黄色素吸光值随 pH 增加呈现持续上升趋势,说明 pH 增加对金刺梨黄色素具有增色作用,与密蒙花黄色素的变化规律一致^[16]。pH 3~9 时黄色素的 FRAP 相对稳定,TRPA 则呈现上升趋势,当 pH 超过 9 之后黄色素的 FRAP 和 TRPA 急剧下降,由于 FRAP 和 TRPA 测定是在特定 pH 体系下,随着 pH 的增加破坏了特定条件下的 pH 体系,从而影响测定结果;pH 3~7 时黄色素的 DPPH 呈现略微上升趋势,随后开始下降,pH 为 10 时降到最低。虽然高 pH 有利于金刺梨黄色素呈色,但破坏了黄色素的抗氧化能力。因此,pH 在 5~7 时金刺梨黄色素的抗氧化能力相对较高。



不同字母表示不同 pH 处理间差异显著($P<0.05$)

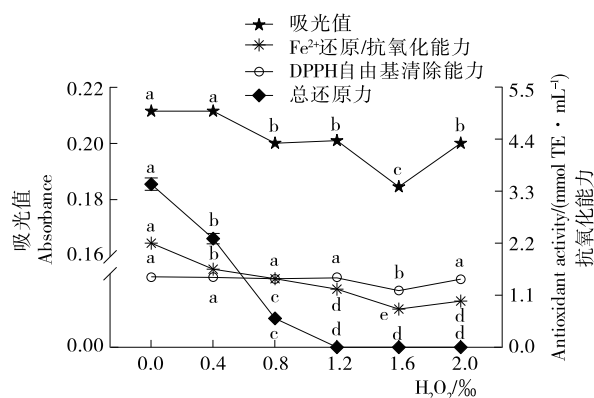
图 3 pH 对金刺梨黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响

Figure 3 Effect of pH on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment

2.2.3 氧化剂对金刺梨黄色素稳定性的影响 由图 4 可知,金刺梨黄色素吸光值、FRAP 和 DPPH 随着氧化剂浓度增加呈现先降后增的趋势,在 H_2O_2 达到 0.16% 时吸光值最低,随后略有上升;TRPA 则随氧化剂浓度增加呈现持续下降的趋势,当食品体系中 H_2O_2 达到 0.12% 时,TRPA 完全丧失,说明金刺梨黄色素抗氧化能力偏弱,适合于添加在低浓度氧化剂食品体系中。

2.2.4 还原剂对金刺梨黄色素稳定性的影响 由图 5 可知,金刺梨黄色素的吸光值、FRAP 和 TRPA 随还原剂浓度增加呈现持续上升趋势,在 0.4% Na_2SO_3 增加最快,然而 DPPH 则随还原剂浓度增加呈现持续下降趋势,说明还原剂对金刺梨黄色素具有增色效果,且提高了对 Fe^{2+} 的氧化能力,但破坏了对 DPPH 自由基的清除能力。因此,金刺梨黄色素适合添加在含有低浓度还原剂食品体系中。

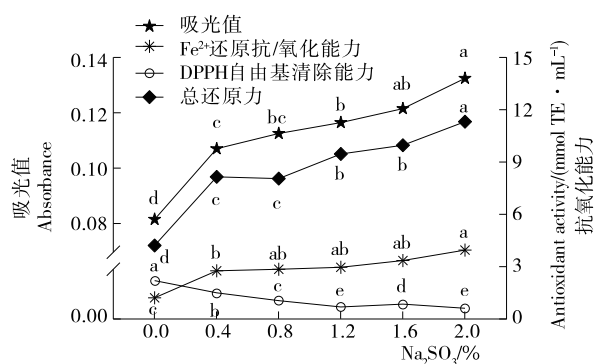
2.2.5 金属离子对金刺梨黄色素稳定性的影响 由表 4 可知,金属离子对金刺梨黄色素的影响存在较大差异,与紫藤



不同字母表示不同浓度 H_2O_2 间差异显著($P<0.05$)

图 4 氧化剂对金刺梨黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响

Figure 4 Effect of oxidant on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment



不同字母表示不同浓度 Na_2SO_3 差异显著($P<0.05$)

图 5 还原剂对金刺梨黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响

Figure 5 Effect of reducer on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment

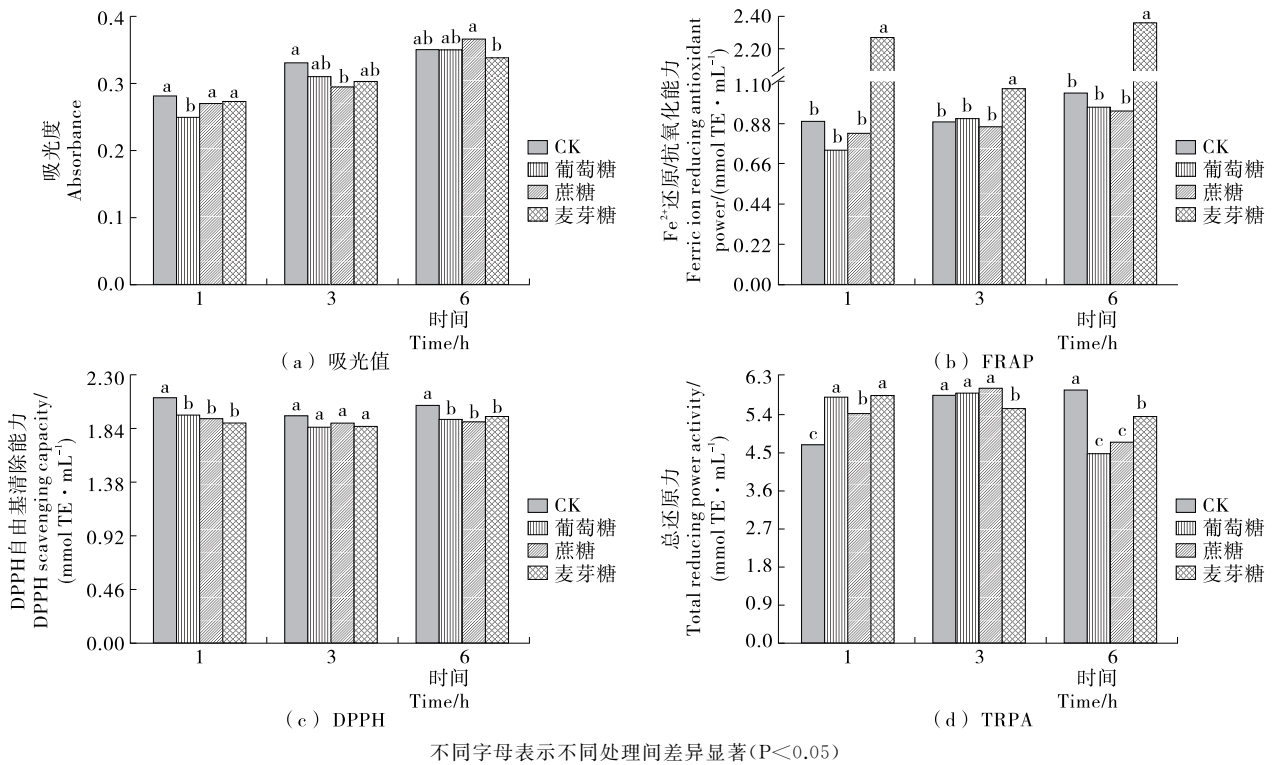
花黄色素的影响一致^[11]。 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 和 Al^{3+} 对金刺梨黄色素的吸光值影响差异不显著($P>0.05$), Fe^{3+} 显著增加黄色素的吸光值($P<0.05$), 具有较好的增色效果; K^+ 、 Na^+ 、 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 对金刺梨黄色素的 FRAP 的影响差异不显著($P>0.05$), Mg^{2+} 显著升高金刺梨黄色素的 FRAP($P<0.05$), Fe^{3+} 显著降低了金刺梨黄色素的 FRAP($P<0.05$); 所试金属离子均显著降低了金刺梨黄色素的 DPPH($P<0.05$), 说明金属离子破坏其对 DPPH 清除能力; Mg^{2+} 和 Al^{3+} 显著增加金刺梨黄色素的 TRPA($P<0.05$), 说明 Mg^{2+} 和 Al^{3+} 具有增加其 TRPA 的效果; K^+ 、 Na^+ 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Zn^{2+} 显著降低了金刺梨黄色素的 TRPA($P<0.05$), 说明对 TRPA 有破坏作用。

2.2.6 糖类对金刺梨黄色素稳定性的影响 由图 6 可知,添加葡萄糖组 1 h 时黄色素的吸光值显著低于对照和其他糖类($P<0.05$),添加糖类 3 h 时金刺梨黄色素的吸光值均低于对照组,然而添加蔗糖组 6 h 时金刺梨黄色素的吸光值高于对照组和其他糖类,与对照组差异不显著($P>0.05$),与糖类对密蒙花黄色素的影响^[17]一致;添加葡萄糖和蔗糖对金刺

表 4 金属离子对金刺梨黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响[†]
Table 4 Effect of metal ions on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment

金属离子	吸光值	FRAP/(mmol TE · mL ⁻¹)	DPPH/(mmol TE · mL ⁻¹)	TRPA/(mmol TE · mL ⁻¹)
CK	0.275±0.004 ^b	2.15±0.03 ^b	2.30±0.00 ^a	7.07±0.08 ^b
K ⁺	0.268±0.004 ^b	2.09±0.26 ^b	1.34±0.06 ^{cd}	6.73±0.13 ^c
Na ⁺	0.274±0.014 ^b	2.13±0.01 ^b	1.38±0.02 ^{cd}	6.35±0.17 ^d
Mg ²⁺	0.266±0.006 ^b	2.28±0.05 ^a	1.43±0.00 ^c	7.61±0.27 ^a
Al ³⁺	0.276±0.004 ^b	2.12±0.02 ^b	2.03±0.01 ^b	7.46±0.25 ^a
Cu ²⁺	0.255±0.010 ^b	2.18±0.06 ^b	1.34±0.00 ^d	5.65±0.02 ^e
Fe ³⁺	0.404±0.008 ^a	2.02±0.02 ^c	2.17±0.07 ^b	6.27±0.23 ^d
Zn ²⁺	0.280±0.004 ^b	2.14±0.08 ^b	1.45±0.00 ^c	5.97±0.42 ^d

[†] 同列不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。



不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

图 6 糖类对黄色素吸光值和体外抗氧化能力的影响

Figure 6 Effect of sugar on absorption and antioxidant capacity of yellow pigment

梨黄色素的 FRAP 差异不显著(P>0.05),添加麦芽糖可显著增加黄色素的 FRAP(P<0.05);添加糖类组 1,3 h 时 DPPH 显著低于对照组(P<0.05);添加糖类 1 h 时显著增加黄色素的 TRPA(P<0.05),添加糖类 3 h 时对黄色素 TRPA 影响较小,添加糖类 6 h 时黄色素的 TRPA 反而显著降低了(P<0.05)。

3 结论

金刺梨黄色素具有较好的水溶性、稳定性和安全性,是安全的食品添加剂,利用生产金刺梨果汁产生的残渣提取黄色素,不仅能提高资源利用率和附加值,还能增加具有较好的开发潜力。研究中发现不同贮藏环境和食品体系不仅影响黄色素的稳定性,也对其抗氧化能力产生较大影响,说明在关注色素稳定性的同时,应注重其功效活性,最大限度降

低对色素的影响,而且金刺梨黄色素的组分、化学结构尚不清楚,仍需进一步深入研究。

参考文献

[1] 李婕玲, 胡继伟, 李朝婵. 贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价[J]. 果树学报, 2016(10): 1 259-1 268.
[2] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.
[3] 谢国芳, 徐小燕, 王瑞, 等. 金刺梨果实和叶中酚类、V_c含量及其抗氧化能力分析[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 122-127.
[4] 张丹, 韦广鑫, 曾凡坤. 贵州不同产地无籽刺梨的基本营养成分及香气物质比较[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 166-172.
[5] 付慧晓, 王道平, 黄丽荣, 等. 刺梨和无籽刺梨挥发性香气成分分析[J]. 精细化工, 2012, 29(9): 875-878.

(下转第 163 页)

- 定[J]. 林业科技开发, 2007, 21(3): 47-49.
- [6] 刘露, 龙媛媛, 郭宗雨, 等. 欧亚旋覆花总黄酮对糖基化终末产物诱导 L929 细胞衰老及 RAGE 表达的影响[J]. 中草药, 2018, 49(3): 626-632.
- [7] 何伟平, 王勤志, 朱晓韵, 等. 茄子提取物对清除自由基作用的研究[J]. 轻工科技, 2012(4): 3-4.
- [8] LIU Chang-qing, JIAO Rui-hua, YAO Ling-yuan, et al. Adsorption characteristics and preparative separation of chaetominine from *Aspergillus fumigatus* mycelia by macroporous resin[J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1 015: 135-141.
- [9] 李琼, 陈恺, 陈燕勤, 等. 大孔吸附树脂分离纯化核桃青皮总多酚[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 175-180.
- [10] DONG Yi, ZHAO Mou-ming, SUN-WSTERHOUSE Dong-xiao, et al. Absorption and desorption behaviour of the flavonoids from *Glycyrrhiza glabra* L. leaf on macroporous adsorption resins[J]. Food Chemistry, 2015, 168: 538-545.
- [11] 高海宁, 李彩霞, 张勇, 等. “黑美人”土豆色素体外抗氧化性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(2): 224-228, 233.
- [12] WU Ya-jun, LIU Jing-jing, GU Su, et al. Orthogonal strategy development using reversed macroporous resin coupled with hydrophilic interaction liquid chromatography for the separation of ginsenosides from ginseng root extract [J]. Journal of Separation Science, 2017, 40(21): 4 128-4 134.
- [13] WU Yuan-feng, ZHANG Lei, MAO Jian-wei, et al. Kinetic and thermodynamic studies of sulforaphane adsorption on macroporous resin[J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1 028(15): 231-236.
- [14] TANG Liu, WEI Xing-chen, AN Fa-liang, et al. Preparative separation of TL1-1 from *Dalmanella eschscholzii* extract by macroporous resin and evaluation of its antimicrobial activities[J]. Journal of Chromatography B, 2017, 1 060(15): 22-29.
- [15] LI Lu, LIU Ju-zhao, LUO Meng, et al. Efficient extraction and preparative separation of four main isoflavonoids from *Dalbergia odorifera* T. Chen leaves by deep eutectic solvents-based negative pressure cavitation extraction followed by macroporous resin column chromatography [J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1 033: 40-48.
- [16] 吕英华, 苏平, 那宇, 等. 桑葚色素体外抗氧化能力研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 3(1): 102-107.
- [17] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay[J]. Free Radical Biology & Medicine, 1999, 26(1): 1 231-1 237.
- [18] 张冰洁. 金银花叶中黄酮类化合物的提取、纯化及其抗氧化研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.

(上接第 152 页)

- [6] 姜永新, 高健, 赵平, 等. 无籽刺梨新鲜果实挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. 食品研究与开发, 2013(14): 91-94.
- [7] 刘芳舒, 张瑜, 罗昱, 等. 无籽刺梨复合果酱配方工艺技术研究[J]. 食品科技, 2015(1): 107-111.
- [8] 严晓月, 刘星, 李永福, 等. 无籽刺梨酸奶含片工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 226-230.
- [9] 贺红早, 张玉武, 刘盈盈, 等. 无籽刺梨果酒酿制工艺优化初探[J]. 酿酒科技, 2015(11): 91-93.
- [10] 罗昱, 王亮, 丁筑红. 浑浊型无籽刺梨果汁饮料的研制[J]. 食品科技, 2014(11): 91-96.
- [11] 董爱文, 向中, 王国庆. 不同处理的紫藤花萼中黄色素提取及理化性质研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(7): 255-259.
- [12] 王钦德. 食品试验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 352-354.
- [13] OLIVEIRA I, BAPTISTA P, MALHEIROR, et al. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity[J]. Food Res Int, 2011, 44(5): 1 401-1 407.
- [14] NUNCIO-JÁUREGUI N, MUNERA-PICAZO S, CALÍN-SÁNCHEZ Á, et al. Bioactive compound composition of pomegranate fruits removed during thinning[J]. J Food Compos Anal, 2015, 37: 11-19.
- [15] TAUCHEN J, MARSIK P, KVASNICOVA M, et al. In vitro antioxidant activity and phenolic composition of Georgian, Central and West European wines[J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 113-121.
- [16] 张姣姣, 杜超, 杨维弘, 等. 密蒙花黄色素的提取及其稳定性分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(3): 49-52.
- [17] 许海棠, 廖艳娟, 欧小辉, 等. 密蒙花黄色素的提取及其稳定性研究[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 218-222.

(上接第 157 页)

- [36] 蔡湛, 兰余, 赵淑娟, 等. 紫薯的抗氧化及活性成分研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(1): 43-48.
- [37] TEOW C C, TRUONG V D, MCFEETERS R F, et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours [J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 829-838.
- [38] HWANG Y P, CHOI J H, HAN E H, et al. Purple sweet potatoanthocyanins attenuate hepatic lipid accumulation through activating adenosine monophosphate-activated protein kinase in human HepG2 cells and obese mice[J]. Nutrition Research, 2011, 31(12): 896-906.
- [39] 李润国, 高岩, 单秀峰. 紫甘薯膳食纤维的提取及对自由基的清除作用[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2014, 32(2): 206-209.
- [40] 周小理, 钱韻芳, 周一鸣. 植物性膳食纤维抗氧化活性的研究与应用[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 158-160.