

五味子色素的提取工艺优化及其稳定性研究

王珊珊¹, 谷 舞¹, 许 汝¹, 李泰雅¹, 王缤晨²

(1. 沈阳工学院 生命工程学院, 辽宁 抚顺 113122; 2. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034)

摘要:以五味子色素提取液中花色苷含量为指标,乙醇浓度、提取时间、料液比、提取温度为考察因素,在单因素实验基础上利用响应面方法优化五味子色素提取工艺,并以色素色度为指标,研究五味子色素的稳定性。结果表明,以55%浓度乙醇为提取液,按1:20 g/mL的料液比,在80℃下提取80 min,五味子色素提取量最大,为11.89 mg/L。五味子色素稳定性实验表明:五味子色素光稳定性较好;蔗糖、抗坏血酸对色素有稳定、增色作用;五味子色素易被双氧水氧化;在酸性、中性和弱碱性条件下五味子色素较稳定,强碱条件下颜色改变;Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺对色素稳定性无明显影响,Al³⁺对色素稳定性有破坏作用,Fe³⁺、Cu²⁺对色素稳定性有保护作用。

关键词:五味子色素;提取;响应面分析;稳定性

中图分类号:R 284.2 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2017)02-0078-07

Optimization of extraction process of Schisandra pigment and its stability

WANG Shan-shan¹, GU Wu¹, XU Ru¹, LI Tai-ya¹, WANG Bin-chen²

(1. College of Life Engineering, Shenyang Institute of Technology, Fushun Liaoning 113122;

2. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Liaoning Dalian 116034)

Abstract: The extraction technology of Schisandra pigment was optimized by response surface method on the basis of single factor experiment with anthocyanin from Schisandra pigment extract as index and ethanol concentration, extraction time, solid-liquid ratio and extraction temperature as factors. The pigment stability was studied with chroma as index. The results showed that: with the ethanol of concentration of 55% as the extracting solution, the solid-liquid ratio 1:20 g/mL, extracted for 80 min at 80℃, the amount of pigment extracted from the fruit can reach the maximum of 11.89 mg/L. The pigment stability experiments showed that light stability was good; sucrose and ascorbic acid were of stable and hyperchromic effect; the pigment was oxygenated easily by hydrogen peroxide, and was stable in acidic, neutral and alkaline conditions; the pigment changed color under alkali conditions; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ had little effect on the stability of the pigment, Al³⁺ had damaging effect on the stability of the pigment, and Fe³⁺ and Cu²⁺ had protective effect on the stability of the pigment.

Key words: Schisandra pigment; extraction; response surface analysis; stability

五味子(*Schisandra chinensis* Bail)为我国常用滋补强壮中药,始载于神农本草经,结合代表五行的辛、甘、酸、苦、咸五种味道于一身^[1]。五味子具有多种有效成分和多项药理作用^[2],能调节心脑血管

系统、改善血液循环、兴奋中枢神经,对治疗疲劳、嗜睡、神经衰弱有特效。适量的五味子还有利于恢复心肌的正常功能^[3]。天然植物色素多具有很强的药理作用,具有明显的抗氧化^[4-5]、抗癌活性^[6-8]作用,加上其安全性高、色泽鲜艳,常被用来做食品着色剂^[9],五味子中含有丰富的花色苷类天然红色素,具有抗氧化^[10]、抗突变^[11]和预防心血管疾

收稿日期:2016-07-18

基金项目:省级大学生创新创业项目(20163201000017)

作者简介:王珊珊,1984年出生,女,讲师。

病^[12]等生理学功能,是一种极具开发潜力的天然活性成分,可广泛应用于食品、药品、化妆品等产业^[13]。目前已知的花色苷类色素有20多种,常见的有矢车菊素、天竺葵素、飞燕草素、芍药素、牵牛素、锦葵素。近年来,国内外对植物源天然色素的研究较为关注,但有关五味子色素的报道不多。因此,对五味子色素提取工艺及稳定性进行研究具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

五味子:抚顺市成大方圆连锁大药房。

乙醇、过氧化氢、抗坏血酸、蔗糖、盐酸、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸铝、氯化钾、碳酸钠、硫酸镁、氯化铁、氯化钙:均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

恒温水浴锅 HH-6:常州国华电器有限公司;电子天平 JD100-3:沈阳龙腾电子有限公司;低速台式离心机 TDL-40B:上海安亭科学仪器厂;pH计 PHS-3CU、可见分光光度计 721、恒温培养箱 HPX-9052MBE、高压立式蒸汽灭菌锅 YXQ-LS-50S II、垂直流超净工作台 SW-CJ-2FD、大容量恒温摇床 KYC1112:上海精密科学仪器有限公司。

1.2 五味子色素提取条件的优化

以提取液中花色苷的含量为指标,料液比、乙醇浓度、提取温度、提取时间为考察因素,在单因素实验基础上通过响应面法优化五味子色素的提取。

1.3 色素的稳定性研究

色素色度测定:以在最佳提取工艺下制备的色素提取液为处理对象,在五味子色素的三个显著波长(506、519、532 nm)^[14-17]下测得吸光度,取平均值。

1.3.1 光照对色素稳定性的影响

取100 mL色素原液(在最佳工艺下制备的色素提取液),于不同环境(室内散光、紫外灯、日光灯)下静置,1、2、3、4、5 h时分别测色素液的色度。

1.3.2 蔗糖对色素稳定性的影响

取5份100 mL的色素原液,加入蔗糖,使其浓度为0、2%、4%、6%、8%。在室温下放置0.5、1、1.5、2、2.5 h,分别测色素提取液的色度。

1.3.3 过氧化氢对色素稳定性的影响

取4份100 mL的色素原液,加入过氧化氢,使其浓度为0.5%、1%、1.5%、2%。在室温下放置1、

2、3、4、5 h,分别测色素提取液的色度。

1.3.4 抗坏血酸对色素稳定性的影响

取5份100 mL的色素原液,加入抗坏血酸,使其浓度分别为0、1%、2%、3%、4%。在室温下放置0.5、1、1.5、2、2.5 h,分别测色素提取液的色度。

1.3.5 pH值对色素稳定性的影响

取色素原液,使用一定浓度的盐酸和氢氧化钠溶液,将色素液调节到不同pH值,观察其颜色变化。

1.3.6 金属离子对色素稳定性的影响

取6份100 mL的色素原液,分别配制含有0.02 mol/L的 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Na^+ 、 K^+ 的色素溶液,放置10、20、30、40、50 min后,测色素提取液的色度^[14]。

2 结果与分析

2.1 五味子色素中花色苷含量的测定

由于五味子色素目前无标准品作为含量检测对照,本实验以五味子色素提取液中花色苷的含量来鉴定五味子色素的提取效果,采用Giusti等报道的pH示差法测定样品中花色苷的含量^[18-20],根据文献^[21-22]报道,在不清楚待测样品主要成分时以矢车菊色素-3-葡萄糖苷作为对照标准样品,计算公式为:

$$\text{花色苷含量}/(\text{mg/L}) = [(A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700}) \times \text{pH}1.0 - (A_{\lambda_{\text{vis-max}}} - A_{700}) \times \text{pH}4.5] \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000 / \epsilon \times 1$$

式中: $A_{\lambda_{\text{vis-max}}}$ —样品提取液在可见光区的最高吸收波长($\lambda_{\text{vis-max}}$)的吸光值; A_{700} —700 nm处的吸光值;MW—矢车菊色素-3-葡萄糖苷标准分子量,449.2 g/mol; ϵ —矢车菊色素-3-葡萄糖苷消光系数,26 900 L/mol/cm;DF—样品稀释后的体积/最初的体积。

2.2 五味子色素提取单因素实验结果

2.2.1 料液比对色素提取的影响

准确称取5份5 g的五味子粉末,分别置于250 mL三角瓶中,配置浓度为55%的乙醇,分别按料液比为1:15、1:20、1:25、1:30、1:35 g/mL的体积加入三角瓶中,在70℃下水浴1 h,离心去沉淀取上清液,测定花色苷含量。

由图1可看出,当乙醇浓度为55%,70℃水浴1 h,不同料液比条件下色素含量先迅速增高后以一定速率逐渐降低,料液比为1:20时含量最高,为

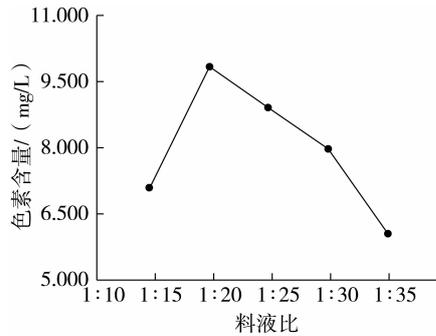


图 1 料液比对色素提取的影响

9.852 mg/L,当料液比小于 1:20 时含量几乎呈直线下降。

2.2.2 乙醇浓度对色素提取的影响

准确称取 5 份 5 g 五味子粉末,分别置于 250 mL 三角瓶中,分别加入浓度为 45%、55%、65%、75%、85% 的乙醇 100 mL,在 70 °C 水浴锅中水浴 1 h,4 000 r/min 离心 15 min 去沉淀取上清液,测定花色素苷含量。

由图 2 可看出,料液比为 1:20 g/mL 在 70 °C 条件下浸提 1 h,当乙醇浓度从 45% 提高至 55% 时花色素苷含量略有上升,当乙醇浓度为 55% 时出现峰值,含量为 8.447 mg/L,当乙醇浓度大于 55% 时,随着乙醇浓度的提高花色素苷含量逐渐降低。

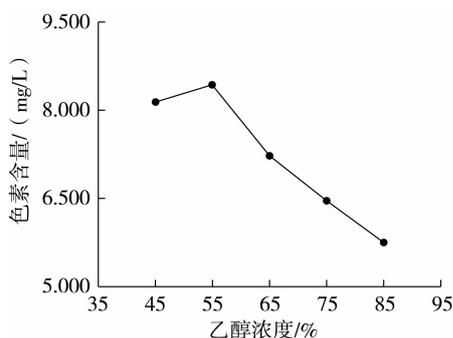


图 2 乙醇浓度对色素提取的影响

2.2.3 提取温度对色素提取的影响

准确称取 5 份 5 g 五味子粉末,分别置于 250 mL 三角瓶中,按料液比为 1:20 g/mL 加入 55% 的乙醇,分别置于温度为 40、50、60、70、80 °C 的水浴锅中水浴 1 h,离心去沉淀取上清液,测定花色素苷含量。

由图 3 可看出,当乙醇浓度为 55%,料液比 1:20 g/mL,在不同温度下水浴 1 h,随着温度的提高,花色素苷含量先呈梯度上升,后迅速降低。在

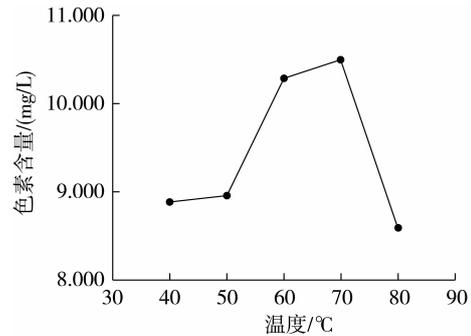


图 3 提取温度对色素提取的影响

40~50 °C 之间含量基本没变化,高于 50 °C 后随着温度的提高,花色素苷含量缓慢上升,70 °C 时达到峰值,为最适提取温度,在该温度下的含量为 10.504 mg/L,再提高温度,花色素苷含量迅速下降。

2.2.4 提取时间对色素提取的影响

准确称取 5 份 5 g 五味子粉末,分别置于 250 mL 三角瓶中,按料液比 1:20 g/mL 加入 55% 的乙醇,在 70 °C 水浴锅中分别水浴 40、50、60、70、80 min,离心去沉淀取上清液,测定花色素苷含量。

由图 4 可看出,乙醇浓度为 55%,料液比 1:20 g/mL,在 70 °C 条件下水浴,随着水浴时间的延长,花色素苷含量先提高后降低。在时间为 40~50 min 间花色素苷含量几乎不变,大于 60 min 后再延长水浴时间,花色素苷含量迅速提高,在 70 min 时含量最大,为 11.347 mg/L,超过 70 min 后含量迅速降低。

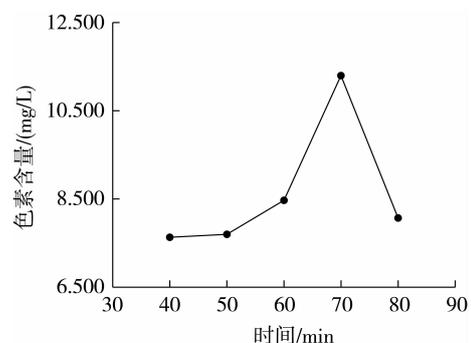


图 4 提取时间对色素提取的影响

2.3 响应面分析法优化五味子色素提取工艺

2.3.1 回归模型的建立及方差分析

在单因素实验基础上利用 Design - Expert 软件进行 Box - Behnken 设计和数据处理,确定最佳提取工艺。

根据单因素实验结果,选取花色素苷提取量为指标,乙醇浓度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、提取温度(D)为考察因素,进行4因素3水平的Box-Behnken Design(BBD)实验设计,实验因素水平见表1。响应面分析方案与结果见表2。利用Design-Expert 8.0.6软件对实验数据进行多元回归拟合,获得以五味子色素提取量为响应值的回归方程:

$$\text{提取量} = 7.58 - 0.17A + 0.78B - 1.63C + 0.1D - 0.37AB - 0.27AC + 0.032AD - 0.32BC + 0.48BD + 0.76CD - 0.79A^2 + 0.22C^2 + 1.12D^2$$

表1 响应面实验因素水平

水平	A 乙醇浓度/%	B 提取时间/min	C 料液比/(g/mL)	D 提取温度/°C
-1	45	60	1:20	60
0	55	70	1:25	70
1	65	80	1:30	80

表2 响应面分析方案及实验结果

序号	A	B	C	D	提取量/(mg/L)
1	0	0	0	0	7.615
2	0	-1	1	0	5.427
3	-1	0	0	1	8.85
4	-1	-1	0	0	5.761
5	1	-1	0	0	6.045
6	0	0	0	0	7.581
7	0	1	0	-1	8.174
8	0	0	1	-1	5.736
9	0	0	1	1	8.967
10	0	0	-1	1	10.604
11	-1	0	0	-1	7.364
12	1	0	0	-1	6.888
13	0	1	-1	0	10.288
14	-1	0	1	0	5.744
15	0	0	-1	-1	10.395
16	0	0	0	0	7.06
17	-1	1	0	0	7.782
18	0	1	1	0	6.245
19	0	0	0	0	7.698
20	0	0	0	0	7.431
21	1	0	-1	0	8.817
22	1	0	1	0	5.026
23	1	1	0	0	6.604
24	0	1	0	1	10.646
25	0	-1	-1	0	8.191
26	0	-1	0	1	7.773
27	1	0	0	1	8.5
28	0	-1	0	-1	7.222
29	-1	0	-1	0	8.18

回归模型方差分析结果显示(表3):该模型极显著($P < 0.0001$),失拟项不显著($P > 0.05$),回归模型的决定系数 $R^2 = 0.9949$,调整系数 $R_{Adj}^2 = 0.9898$,说明该模型与实际拟合较

好,自变量与响应值之间线性关系显著,可以用于五味子色素提取量的理论预测。从回归方程系数显著性检验可知,各因素对色素提取率的影响程度依次为:料液比 > 提取温度 > 提取时间 > 乙醇浓度;交互项AB、AC、BC、BD、CD极显著($P < 0.01$);二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对色素提取率有极显著影响($P < 0.01$)。

表3 回归模型方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	Prob > F	显著性
模型	67.53	14	4.82	194.68	<0.0001	**
A	0.36	1	0.36	14.54	0.0019	**
B	7.24	1	7.24	292.17	<0.0001	**
C	32.04	1	32.04	1293.20	<0.0001	**
D	7.62	1	7.62	307.47	<0.0001	**
AB	0.53	1	0.53	21.57	0.0004	**
AC	0.29	1	0.29	11.70	0.0041	**
AD	0.003969	1	0.003969	0.16	0.6950	
BC	0.41	1	0.41	16.51	0.0012	**
BD	0.92	1	0.92	37.24	<0.0001	**
CD	2.28	1	2.28	92.15	<0.0001	**
A^2	4.02	1	4.02	162.44	<0.0001	**
B^2	0.40	1	0.40	16.08	0.0013	**
C^2	0.31	1	0.31	12.64	0.0032	**
D^2	8.17	1	8.17	329.78	<0.0001	**
残差	0.35	14	0.025			
失拟项	0.31	10	0.031	3.27	0.1327	
纯误差	0.038	4	0.009464			
总和						

注: **表示极显著($P < 0.01$), *表示显著($P < 0.05$)。

2.3.2 响应面分析及最佳提取工艺研究

响应面优化主要是根据响应面的三维图以及标准残差图来对影响响应值的独立变量进行进一步的分析,从3D图中可以很直观的看出各个变量之间的交互作用对结果的影响。五味子色素提取工艺优化的响应面及等高线见图5,图5列出了自变量极显著($P < 0.01$)的3项AB、BD、CD,直观地反映了各因素对提取量响应值的影响。

图a表示提取时间、乙醇浓度及两者交互作用对五味子色素提取量的影响。从图中可以看到,当乙醇浓度一定时,随着提取时间的延长,色素提取量逐渐增加;当提取时间一定时,随着乙醇浓度的提高提取量先增大后减小。

图b表示提取时间、提取温度及两者交互作用对五味子色素提取量的影响。从图中可以看出,当提取时间一定时,五味子色素提取量随温度的上升先降低,后逐渐上升;当提取温度一定时,色素提取量随提取时间的延长而增长。

图 c 表示料液比、提取温度及两者交互作用对五味子色素提取量的影响。从图中可以看出,当提取温度一定时,随着液体相对量的增大五味子色素提取量持续下降,当料液比一定时,五味子色素提取量随着提取温度的提高先下降后上升。

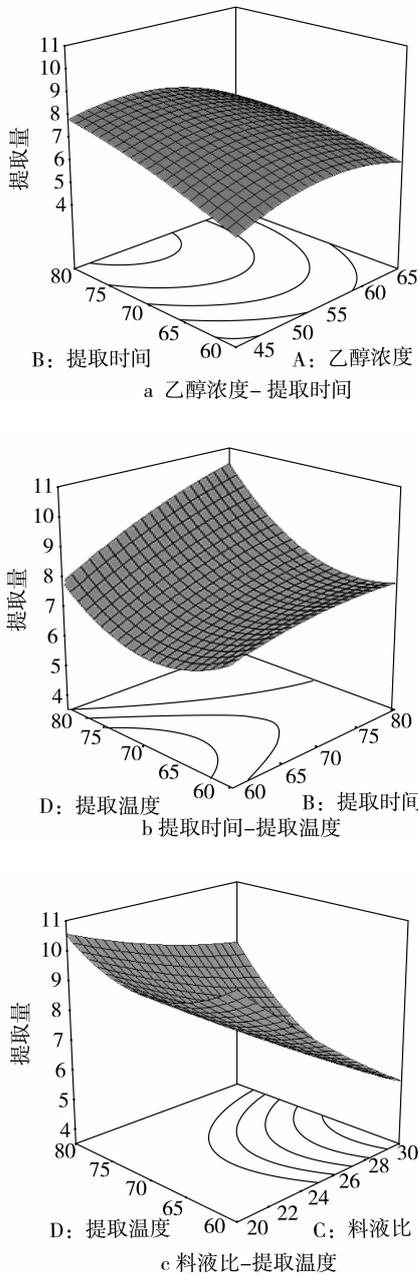


图 5 各因素交互效应对五味子色素提取量影响的曲面图

运用 Design Expert 8.0.6 的响应面分析软件对实验结果进行优化,得到五味子色素的最优条件是:提取时间 80 min,乙醇浓度 53.26%,料液比 1:20 g/mL,提取温度 80 ℃,此时,五味子色素提取量预测达到最大值,为 11.939 9 mg/L。为符合实际操作,将上述最优提取条件简化为:提取时间 80 min,乙醇浓度 55%,料液比 1:20 g/mL,提取温度 80

℃,按此提取工艺提取五味子色素,进行三次重复实验,得到提取量的平均值为 11.89 mg/L,与预测值接近,说明响应面优化得到五味子色素的提取工艺在实践中可行。

2.4 五味子色素稳定性的研究

由于五味子色素目前暂无标准品作为对照,因此,以不同条件下的色素提取液的颜色为指标来检测其稳定性的变化。

2.4.1 光照对色素稳定性的影响

以色度为指标,检测在不同光照条件下色素稳定性的变化,结果如图 6 所示,在紫外光及室内散光的条件下,五味子色素的色度均有上下波动变化,但变化不大,说明光照对五味子色素稳定性影响不大。

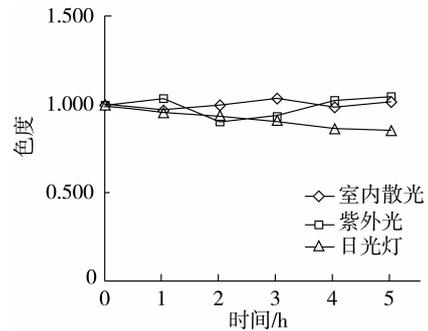


图 6 光照对色素稳定性的影响

2.4.2 蔗糖对色素稳定性的影响

将色素提取液配制成不同浓度的蔗糖溶液,以色度为指标,检测其稳定性。结果如图 7 所示,当蔗糖浓度为 0 时色素色度值随时间变化有小幅波动,随着蔗糖浓度的增大波动幅度降低,当浓度达到 8% 时,色素色度随时间延长有稳定上升趋势,可能是由于糖与花色素苷类色素结合形成稳定的络合物导致的,这说明一定浓度的蔗糖可对五味子色素起到增色作用^[23]。

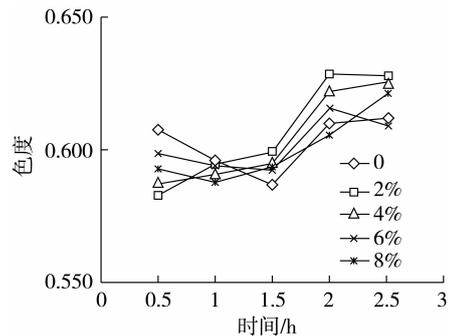


图 7 蔗糖对色素稳定性的影响

2.4.3 过氧化氢对色素稳定性的影响

配制不同浓度的过氧化氢色素溶液,通过测量色素色度考察过氧化氢对色素稳定性的影响,结果如图8所示,色素溶液的色度随着时间的延长逐渐下降,且随过氧化氢浓度的增加下降的幅度加大,一定时间后趋于稳定,溶液颜色变浅。这说明五味子色素的耐性较差,这与文献中报道^[23]的分子氧对花色苷具有毒害作用相符。作用机理是氧可以通过直接氧化或间接氧化使花色苷降解,从而改变花色苷的结构及性质。

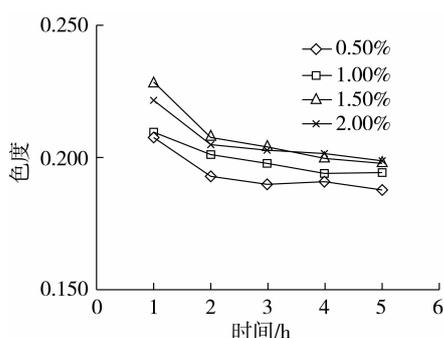


图8 过氧化氢对色素稳定性的影响

2.4.4 抗坏血酸对色素稳定性的影响

在添加不同浓度的抗坏血酸条件下,检测抗坏血酸对五味子色素稳定性的影响,结果如图9所示。随着抗坏血酸浓度的增加,色素的色度逐渐增加,且随时间的延长变化不大,由此说明抗坏血酸对五味子色素有增色作用,可作为增色剂和稳定剂添加到色素中。这一结果与文献中报道^[24]的抗坏血酸对花色苷具有稳定作用相符合。

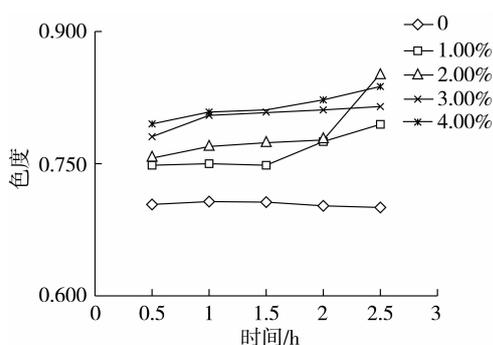


图9 抗坏血酸对色素稳定性的影响

2.4.5 pH 值对色素稳定性的影响

将五味子色素液调节到不同 pH 值,通过观察颜色变化研究 pH 值对五味子色素稳定性的影响。

考察结果如表4所示,pH 为 1~3 时色素颜色为鲜红色不改变,pH 为 4~6 时略有变浅为浅红色,pH 为 7~9 时为浅粉红色,当 pH > 10 时,色素呈现棕色,且随 pH 值增大颜色加深。说明五味子色素在酸性、中性和弱碱性条件下较稳定,且酸性越大,色素越红,在强碱性条件下色素不稳定。这与文献^[25]中报道的花色素苷类色素的酸碱稳定性变化相符。

表4 不同 pH 值对色素稳定性的影响

pH 值	1~3	4~6	7~9	10~12	13~14
颜色	鲜红	浅红	浅粉红	浅棕黄	深棕色

2.4.6 金属离子对色素稳定性的影响

以色素色度为指标,研究不同金属离子对五味子色素的影响。结果如表5所示,Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺对色素稳定性无明显影响;Al³⁺对色素稳定性有破坏作用;Fe³⁺、Cu²⁺对色素稳定性有保护作用。因此,Fe³⁺和 Cu²⁺可作为稳定剂添加到五味子色素产品中。

表5 金属离子对五味子色素的影响

金属离子	无	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺
色度	0.874	0.866	0.869	0.875	0.869	0.698	1.541	0.981

3 结论

本实验采用经典的有机溶剂提取法,选取乙醇作为提取溶剂提取五味子色素,通过对提取时间、料液比、乙醇浓度和提取温度单因素实验和响应面分析,确定五味子色素的最佳提取工艺:以 55% 浓度乙醇为提取液,按 1:20 g/mL 的料液比,在 80 °C 下提取 80 min,五味子色素提取量可达到最大,为 11.89 mg/L。

稳定性实验结果表明,五味子色素光稳定性较好;蔗糖、抗坏血酸对色素有稳定、增色作用;色素易被过氧化氢氧化;在酸性、中性和弱碱性条件下较稳定,强碱条件下颜色改变;Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺对色素稳定性无明显影响,Al³⁺对色素稳定性有破坏作用,Fe³⁺、Cu²⁺对色素稳定性有保护作用。

实验结果表明,五味子色素可作为着色剂广泛

应用于各类食品、药品、化妆品等与人类生活息息相关的产品中,同时,由于五味子色素产自天然植物的特性,使五味子色素的使用更安全放心。

参考文献:

- [1] 高锦明. 传统中药现代化——中药健康食品的开发[J]. 食品工业科技, 1999, 20(6): 14.
- [2] 刘菊秀, 苗戎, 陈静. 五味子对心肌力学和心率的影响[J]. 中草药, 1999, 2(2): 22 - 124.
- [3] 郑春英, 李宏涛, 吴桐, 等. HPLC法同时测定五味子不同部位中三种木脂素成分含量[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 376.
- [4] Kahkonen M P, Heinonen M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(3): 628.
- [5] Hu C, Zawistowski J, Ling W, et al. Black rice (*Oryza sativa* L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(18): 5271.
- [6] Hannum S M. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2004, 44(1): 1.
- [7] Serafino A, Sinihaldi - Vallebona P, Lazzarino G, et al. Differentiation of human melanoma cells induced by cyaniding - 3 - O - beta - glucopy - ranoside[J]. FASEB J, 2004, 18(15): 1940.
- [8] Afaq F, Saleem M, Kreueger C G, et al, Anthocyanin and hydrolysable tannin - rich pomegranate fruit extract modulates MAPK and NF kappaB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD - 1 mice[J]. Int J Cancer, 2005, 113(3): 123.
- [9] 刘秀湘, 余仲元, 陈宗元. 玫瑰花色素的研究[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 2(6): 56 - 60.
- [10] Jung S B, Shin J H, Kim J Y, et al. Shinzami Korean purple - fleshed sweet potato extract prevents ischaemia - reperfusion - induced liver damage in rats [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(14): 2818 - 2823.
- [11] Bobe G, Wang B, Seeram N P, et al. Dietary anthocyanin - rich tart cherry extract inhibits intestinal tumorigenesis in APC (Min) mice fed suboptimal levels of sulindac[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(25): 9322 - 9328.
- [12] Krga I, Monfoulet L E, Konic - Ristic A, et al. Anthocyanins and their gut metabolites reduce the adhesion of monocyte to TNF alpha - activated endothelial cells at physiologically relevant concentrations [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2016(1): 236 - 243.
- [13] 余焕玲, 杨参, 阚建全. 食品中食用天然色素的作用[J]. 广州食品工业科技, 2001, 17(3): 63 - 65.
- [14] 卢山, 宋诗莹, 何艳贞. 五味子红色素的性质与应用[J]. 天津轻工业学院学报, 1999(11): 26 - 29.
- [15] 范荣军, 刘派, 任涛. 五味子红色素的提取工艺[J]. 吉林大学学报, 2008, 46(4): 784 - 788.
- [16] 刘长姣, 张守勤, 于徊萍. 五味子浆果酚类成分提取与分离鉴定[J]. 食品工业科技, 2014(13): 116 - 119.
- [17] 刘玲玲, 吕华冰, 孙美琪. 五味子色素提取及稳定性研究[J]. 生物技术, 2009, 19(6): 79 - 81.
- [18] Giusti M M, Rodriguez - Saona L E, Wrolstad R E. Spectral characteristics, molar absorptivity and color of pelargonidin derivatives [J]. Agric Food Chem, 1999, 47: 4631 - 4637.
- [19] Giusti M M, Wrolstad R E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV - visible spectroscopy [J]. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 2001, F1.2.1 - F1.2.13.
- [20] 赵秀林, 臧程, 田义超, 等. 桃果实中花青素的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 5735 - 5736, 5750.
- [21] Reyes L F, Miller Jr J C, Cisneros - Zevallos L. Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple and red - fleshed potato genotype [J]. Amer J of Potato Res, 2005, 82: 271 - 277.
- [22] 廉玉姬, 夏霖, 林光哲. 紫色马铃薯 Bora valley 花青素的提取与含量的测定[J]. 临沂师范学院学报, 2009, 31(6): 85 - 88.
- [23] 姚伙旺, 曾秋平, 劳永民, 等. 食品添加剂对荔枝果皮花色苷稳定性影响的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(05): 152 - 156.
- [24] Hendry G A. Natural Food Colourant. Van Nostrand Reinhold [M]. New York: 1992.
- [25] 程雪源, 徐雷, 范龚健, 等. 红甘蓝色素及其稳定性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(4): 188 - 192. 完