

皇菊水溶性色素树脂纯化工艺及其稳定性研究

胡洁芳^{1,2}, 洪艳平¹, 刘玉珍², 曾 璟³,

万 琴², 胡远诚², 张 敏²

(1. 江西农业大学 食品科学与工程学院, 江西 南昌 330045;

2. 江西工业贸易职业技术学院, 江西 南昌 330038;

3. 会昌县职业技术学校, 江西 赣州 342600)

摘要:以热水浸提法得到的皇菊色素为研究对象,利用 DM-28 大孔树脂纯化皇菊色素,优化其静、动态纯化工艺条件,并对纯化后的皇菊色素进行稳定性分析。结果表明,静态吸附—解吸最佳条件为:吸附平衡时间 3 h,样液浓度为色素原液被稀释 12 倍(即 $A_{390}=0.361$),样液 pH 2.5,吸附温度 30 ℃,在 pH 3.0、50% 乙醇溶液条件下进行解吸;动态吸附—解吸最适工艺条件为:上样浓度为原液稀释 12 倍(即 $A_{390}=0.361$),上样流速 2.0 mL/min,以流速 1.0 mL/min、80% 乙醇溶液进行洗脱。纯化后色素色价为 22.5,是纯化前的 3.65 倍。DM-28 大孔树脂具有良好的吸附性能,皇菊色素相对来说比较稳定,对外界条件不敏感,可以考虑作为一种天然食品色素应用到食品工业中。

关键词:皇菊;水溶性色素;大孔树脂;稳定性

中图分类号:R 284.2 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2017)02-0044-07

Study on resin purification process and stability of water-soluble pigments from chrysanthemum

HU Jie-fang^{1,2}, HONG Yan-ping¹, LIU Yu-zhen², ZENG Jing³,

WAN Qin², HU Yuan-cheng², ZHANG Min²

(1. College of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang Jiangxi 330045; 2. Jiangxi Vocational Technical College of Industry and Trade, Nanchang Jiangxi 330038;

3. Huichang Vocational and Technical College, Ganzhou Jiangxi 342600)

Abstract: The pigment extracted from chrysanthemum by hot water method was selected as the investigate object, and purified by DM-28 macroporous resin. Static-dynamic purification conditions of the water-soluble pigments of chrysanthemum were optimized. The stability of the pigment was analyzed. The results showed that the optimal static adsorption-desorption conditions were as follow: adsorption equilibrium time was 3 h, the concentration of sample was the fluid diluted 12 times from the original (namely $A_{390}=0.361$), sample pH was 2.5, adsorption temperature was 30 ℃, with pH 3.0, 50% ethanol as eluent for desorption. The optimal dynamic adsorption conditions were: sample concentration was $A_{390}=0.361$, the sample flow rate was 2.0 mL/min, eluted with the flow rate of 1.0 mL/min, 80% ethanol. The color value of the purified pigment was 22.5, which was 3.65 times of the former. DM-28 macroporous resin show better comprehensive adsorption property. The pigment was of relatively better stability, could be used as a kind of natural food additive in the food industry.

Key words: chrysanthemum; water-soluble pigments; macroporous resin; stability

收稿日期:2016-09-05

作者简介:胡洁芳,1990年出生,男,助教。

通讯作者:洪艳平,1974年出生,男,副教授。

在崇尚自然、要求健康的大环境下,食用色素向

着安全、天然、营养和多功能的方向逐渐发展。食用天然色素作为一种天然食品添加剂被广泛运用到食品加工过程中,且在食品工业中越来越受到重视。如今,天然色素已占据食用色素市场的主导地位,天然色素取代合成色素已成为色素行业发展的大趋势^[1],天然色素中那些不仅具有着色、营养、保健等功能,且能赋予食品更加健全的功能的天然色素将具有广阔的发展空间和市场前景^[2-3]。

皇菊(*Imperial chrysanthemum*)作为我国传统的常用中药材之一,属于菊科类多年生草本植物。据古籍记载,皇菊的饮用价值极高。用皇菊作为茶饮,其气味芳香,可消暑生津,清热养目,润喉解酒等。皇菊花瓣中含有挥发性精油、多种氨基酸、维生素、微量元素等营养成分^[4-5],大部分黄酮类物质能通过泡饮等方式渗透到水中,具有预防高血压、抑制癌细胞生长、扩张冠状动脉、抑菌等作用^[6-8]。菊花茶作为一种理想的休闲饮品,因其色感美、口感佳、味道香等独特性,受到许多食客的追捧,近年来各大宣传媒体对其进行了相应的采访和报道,例如2009年11月28日中央电视台专程对婺源皇菊进行了采访和报道,2010年皇菊被选定为上海世博会中国馆展出产品^[9]。

通过热水浸提法提取皇菊色素,其水溶液色泽鲜亮,且具有天然菊花香味,可作为食品添加剂应用到食品中,例如饮料、糖果、熟肉制品、果冻等^[10]。此外,皇菊色素作为一种天然食用色素,安全、无毒、资源丰富,且具有一定的营养和药理作用,在食品、化妆、医药方面有着巨大应用潜力。但到目前为止,皇菊色素的纯化方法及其稳定性还没有被系统地报道过,本研究以热水浸提法得到的皇菊色素为研究对象,考察大孔树脂纯化皇菊水溶性色素优化工艺条件,再对纯化后的皇菊色素的稳定性进行研究,为大规模工业化生产皇菊色素提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

皇菊,来自于江西修水县,清理干净后干燥备用。树脂(AB-8、D101、DM-130、DM-21D、DM-28、HPD720、HPP100、聚酰胺):山东鲁抗立科药业有限公司。

1.2 仪器和试剂

无水乙醇、盐酸、氢氧化钠(均为分析纯试剂):国药集团化学试剂有限公司;氯化钠、氯化钾、氯化

锌、氯化铁、氯化亚铁、硫酸铜、氯化镍、氯化铬、氯化钙(均为分析纯试剂):广州市西陇化工有限公司。

RE52-99型旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;GPX-9248A型干燥箱:上海跃进医疗器械有限公司;数显恒温水浴锅HH-4:常州国华电器有限公司;V-5600型可见分光光度计:上海元吸仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 皇菊色素的提取

皇菊→除杂→80℃水浴加热60min→过滤→石油醚萃取除脂→60℃旋转蒸发浓缩→加入95%乙醇沉淀糖类及蛋白→离心→旋转蒸发除去乙醇→粗提浓缩液备用。

1.3.2 皇菊色素紫外—可见光谱扫描

将一定量皇菊色素提取液进行适当稀释,采用扫描型紫外—可见分光光度计,在350~450nm波长范围内对皇菊色素粗提液进行光谱扫描,绘制吸收光谱图曲线,确定皇菊色素的最大吸收波长。

1.3.3 大孔树脂的静—动态吸附解吸实验

1.3.3.1 八种吸附树脂的静态吸附效果对比

按照参考文献对大孔树脂进行预处理^[11-12],然后分别称取活化处理过的八种树脂各1.0g,置于250mL具塞锥形瓶中,加入吸光度为 A_0 的皇菊色素粗提液50mL。室温静置24h吸附饱和,吸取上清液测定其吸光度 A_1 。将吸饱树脂抽滤去大部分水分,各称取1.0g置于250mL具塞锥形瓶中,加入50mL pH为4.0的80%乙醇溶液解吸24h,吸取上清液测定其吸光度 A_2 ,计算大孔树脂的静态吸附率和解吸率^[13]:

$$\text{吸附率}/\% = (A_0 - A_1)/A_0 \times 100$$

$$\text{解吸率}/\% = A_2/(A_0 - A_1) \times 100$$

1.3.3.2 大孔树脂静态吸附平衡曲线的绘制

准确称取经预处理后的树脂1.0g于250mL三角瓶中,加入色素液50mL,置于室温摇床中150r/min振荡,每隔1h取上清液测定其吸光度,直到树脂吸附达到平衡,绘制吸附平衡曲线。

1.3.3.3 大孔树脂静态吸附条件参数及解吸液的选择

准确称取经活化后的DM-28树脂1.0g于250mL锥形瓶中,加入样品色素溶液50mL,置于一定温度的摇床中,以150r/min的转速振荡,树脂吸附饱和后,于390nm处测定样品色素液在被吸附前、后的吸光值,分别考察样液浓度、样液pH、温度对静态吸附的影响。再将DM-28树脂进行过滤,

用蒸馏水冲洗2~3次后倒入250 mL锥形瓶中,加入50 mL不同浓度的乙醇,置于30 ℃恒温摇床中以150 r/min转速振荡24 h,于390 nm处测定乙醇洗脱液的吸光值。

1.3.3.4 大孔吸附树脂动态吸附条件参数及解吸液的选择

准确称取经活化后的DM-28树脂5 g,采用湿法装柱(1 BV=10 mL),将皇菊色素液直接上样,用自动部分收集器间隔1/2 BV分批收集流出液,于390 nm处测定其吸光值,以泄露点^[14](泄露点是指该处泄露色素液浓度值为上样前样液浓度值的1/10)最迟出现为实验指标,分别考察上样浓度、上样流速对DM-28大孔树脂动态吸附的影响。再用一定浓度的乙醇溶液进行洗脱,自动部分收集器分批收集流出液,于390 nm处测定其吸光值,以泄露点最迟出现为实验指标,分别考察乙醇浓度、流速对DM-28树脂动态解吸的影响。

1.3.4 纯化前与纯化后的皇菊色素色价测定^[15]

根据优化得到的动态纯化工艺条件,使用直径2 cm、高80 cm的层析柱进行大量皇菊色素液的纯化,然后按照潘国栋等测定方法对皇菊色素进行色价测定,分别计算纯化后和未经纯化的皇菊色素色价。

1.3.5 皇菊色素稳定性分析

1.3.5.1 光照对皇菊色素的影响

准确量取纯化后的皇菊色素溶液10 mL于三支(平行实验)具塞试管中,在30 W日光灯下照射(离光源约50 cm),以避光条件为对照,每隔1 d从三支试管中取样测其吸光度,连续测7 d,以色素保存率为实验指标。色素保存率是指色素被处理后与处理前的一个比值,是衡量色素稳定性的一个指标。计算色素保存率作为稳定性分析的参数:

色素保存率/%^[16] = $A_x/A \times 100$,式中: A_x 为处理后的吸光值, A 为处理前的吸光值。

1.3.5.2 温度对皇菊色素的影响

由于在工业化生产中经常需要热处理,并且有的温度处理可达120 ℃以上,如高温瞬时灭菌,所以选择温度10、30、50、70、90、110、130 ℃进行稳定性实验。分别取10 mL经纯化后的皇菊色素溶液于具塞试管中,每个温度三支试管平行,避光处理1 d后,待色素液平衡至室温条件后测定其吸光度,计算色素保存率。

1.3.5.3 pH值对皇菊色素的影响

准确量取5 mL经纯化后的皇菊色素于具塞试

管中,分别加入4 mL不同pH(2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0)的柠檬酸—磷酸氢二钠缓冲溶液,每个pH值设三个平行,于室温下避光静置1 d后测定其吸光度,计算色素保存率。

1.3.5.4 不同金属离子对皇菊色素的影响

准确量取5 mL经纯化后的皇菊色素溶液于具塞试管中,分别加入4 mL 0.05 mol/L的NaCl、KCl、ZnCl₂、FeCl₃、FeCl₂、CuSO₄、NiCl₂、CrCl₂、CaCl₂,每种离子三个平行,在室温避光下放置1 d后,以相应的离子溶液作对照,测定吸光度并计算色素保存率。

1.3.5.5 不同食品添加剂对皇菊色素的影响

准确量取5 mL经纯化后的皇菊色素溶液于具塞试管中,分别加入4 mL 0.2%柠檬酸、0.2%酒石酸、10%葡萄糖、10%蔗糖、10%乳糖,每种食品添加剂三个平行,待完全混合,室温避光下静置1 d后测定吸光度,计算色素保存率。

1.3.5.6 氧化剂、还原剂对色素的影响

准确量取5 mL经纯化后的皇菊色素溶液于具塞试管中,分别加入4 mL不同浓度(0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%)的H₂O₂、Na₂SO₃,每种三个平行,待完全混合,室温避光下静置1 d后测定吸光度,计算色素保存率。

2 结果与分析

2.1 皇菊色素提取液光谱扫描图谱

结果表明(见图1),皇菊色素在390 nm波长处吸光度值最大,因此,选用波长390 nm测定。

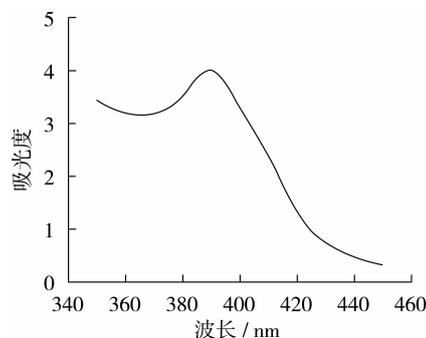


图1 皇菊色素紫外—可见光谱扫描图谱

2.2 各种吸附树脂对皇菊色素的静态吸附效果

从表1可以看出:八种大孔吸附树脂对皇菊色素都具有一定的吸附纯化效果,其中DM-28树脂具有较好的吸附和解吸特性,在八种树脂中,其吸附率和解吸率都最高,因此选择DM-28树脂进一步纯化皇菊色素。

表1 八种大孔树脂对皇菊色素的静态吸附及解吸能力 %

树脂型号	吸附率	解吸率
DM-28	93.68 ± 0.041	97.72 ± 0.045
HPP100	84.53 ± 0.042	91.08 ± 0.043
HPD722	84.16 ± 0.035	90.29 ± 0.036
DM-21D	90.86 ± 0.018	94.48 ± 0.020
D101	81.87 ± 0.010	93.55 ± 0.017
DM130	62.58 ± 0.055	67.95 ± 0.051
AB-8	76.18 ± 0.013	83.63 ± 0.019
聚酰胺	58.37 ± 0.028	54.42 ± 0.025

2.3 大孔树脂静态吸附平衡曲线

图2显示,在一定时间内大孔树脂对皇菊色素的吸附率随时间延长逐渐增加,当吸附时间达到3h时树脂吸附基本达到饱和状态。超过3h后,再延长时间,树脂吸附率基本保持不变,甚至会出现下降的趋势。

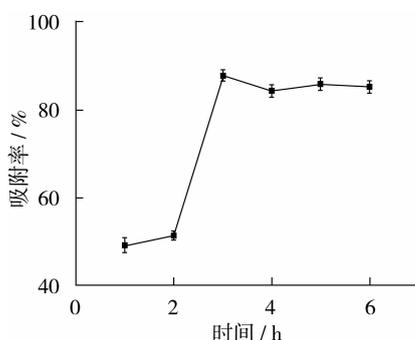


图2 大孔树脂静态吸附平衡曲线

2.4 大孔树脂静态吸附条件参数的确定

图3表明,当色素原液被稀释12倍(即 $A_{390} = 0.361$)时,吸附率达到了最大值。当上样浓度过大时,大孔树脂对皇菊色素分子间的吸附产生竞争效应,从而影响吸附效果;对于样液的pH值,树脂吸附率在pH为2.5时最大,随着色素液pH的增大吸附率逐渐变小,因此皇菊色素更适合在酸性条件下被吸附;对于温度条件,大孔树脂对皇菊色素的吸附率随着温度的升高先逐渐增大,树脂吸附效果在30~40℃范围内最好,超过40℃后随着温度的逐渐升高,吸附率反而下降,这可能是由于温度升高,分子自由运动加剧,树脂与色素分子之间的吸附力下降^[17-18]。

2.5 解吸液的选择

由图4可知,解吸液的浓度和酸碱度对解吸效果会产生一定的影响。对于解吸液浓度,在一定范围内,解吸率随着解吸液浓度的升高而增大,当浓度达到50%时,解吸效果最好;浓度超过50%时,解吸

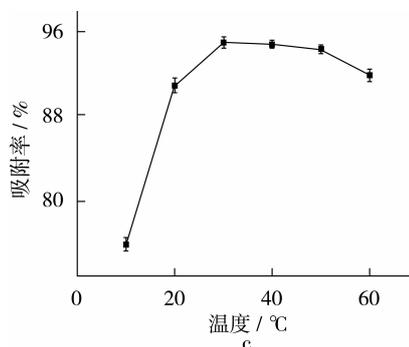
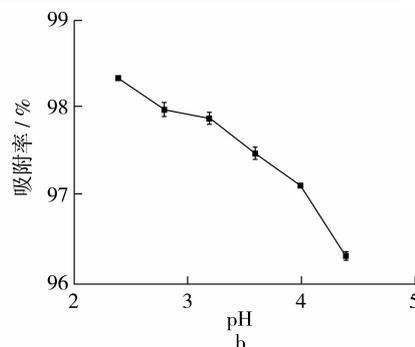
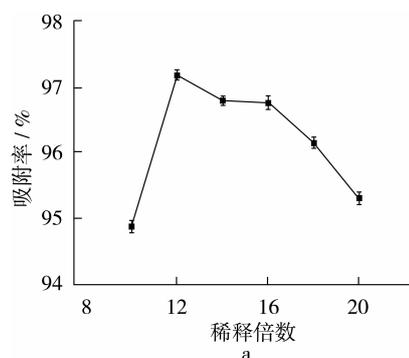


图3 稀释倍数(a)、pH(b)、温度(c)对大孔树脂静态吸附的影响

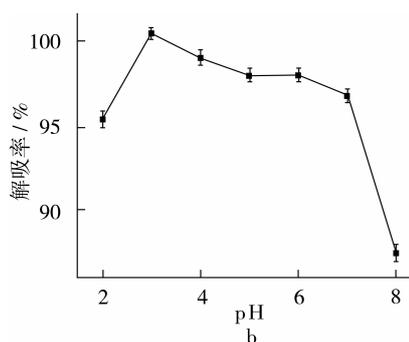
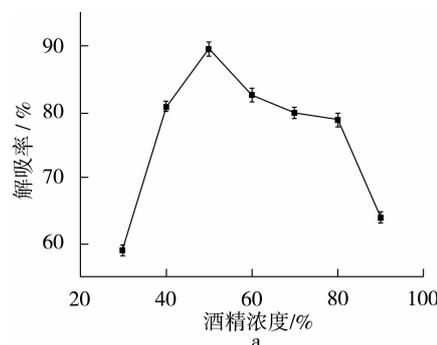


图4 酒精浓度(a)和pH(b)对静态解吸的影响

率开始呈现一种下降趋势。对于解吸液 pH, 当 pH 为 3 时, 解吸率达到峰值, 效果最明显, 随着 pH 继续增大, 解吸率反而会降低。

2.6 大孔树脂动态吸附条件参数的确定

2.6.1 上样流速对大孔树脂动态吸附的影响

通过表 2 可知, 上样流速过快, 不利于上样液中色素与大孔树脂之间的结合, 导致吸附效果差; 当流速偏小时, 虽然泄露现象发生所需时间长, 有利于大孔树脂的吸附作用, 但纯化耗时长、效率低、成本大, 不利于工业上扩大生产, 综合考虑效率、经济等因素, 选择流速 2.0 mL/min 为最佳上样流速。

表 2 上样流速对动态吸附的影响

流速/(mL/min)	泄露管数	泄漏点/mL	泄漏时间/min
1.0	47	235	235
2.0	30	150	75
3.0	20	100	33.33
4.0	13	65	16.25
5.0	7	35	7

2.6.2 上样浓度对大孔树脂动态吸附的影响

表 3 数据表明, 随着上样浓度的降低, 泄露时间延长。大孔树脂对原液稀释 8 和 12 倍后的色素溶液所产生的吸附作用强且效果比较接近, 考虑色素被大孔树脂充分吸附度, 选择上样浓度为原液稀释 12 倍 (即 $A_{390} = 0.361$) 时为最佳上样浓度。

表 3 上样浓度对动态吸附的影响

稀释倍数	泄露管数	泄漏点/mL	泄漏时间/min
原液	2	10	5
4	20	100	50
8	29	145	72.5
12	32	160	80
16	48	240	120
20	63	315	157.5

2.7 大孔树脂动态解吸条件参数的确定

在动态解吸过程中解吸液的浓度和解吸时解吸速率的选择对解吸效果会产生一定的影响。由图 5 可发现, 对于动态过程中解吸液浓度, 当乙醇浓度 < 80% 时, 解吸速率相对来说比较慢, 且在相同解吸体积条件下解吸率相对较低, 导致纯化效率低、成本高, 不利于工业化大规模操作; 当乙醇浓度太高, 解吸速率相对会有所提高, 但可能导致洗脱不充分。因此, 80% 是一个相对优化的洗脱液浓度选择。对于动态过程中的解吸液流速, 洗脱流速为 1 mL/min

时解吸效果比较好, 低流速可以使吸附在大孔树脂上的物质与洗脱剂充分接触, 在相同解吸液体积下达到一种更加完全的洗脱效果。

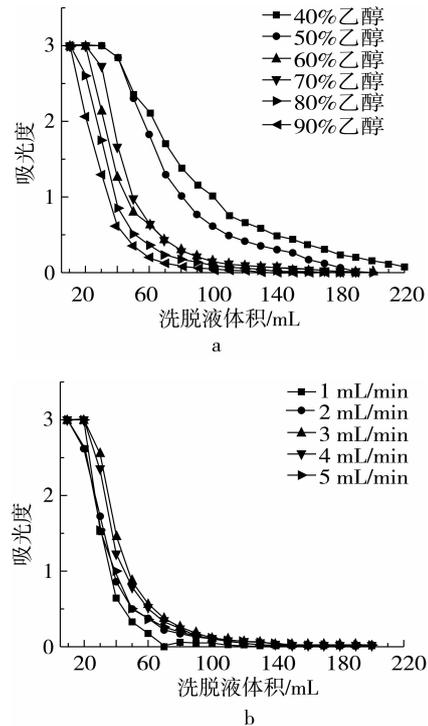


图 5 解吸液浓度 (a) 和流速 (b) 对动态解吸的影响
注: 1 BV = 10 mL。

2.8 纯化前与纯化后的皇菊色素色价测定结果比较

根据文中 1.3.4 的色价测定方法, 分别对纯化前和纯化后的色素进行色价测定, 以此反映大孔树脂对皇菊色素的纯化效果。纯化前色价 $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 6.16$, 纯化后的色价 $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 22.5$, 通过比较可知, 经过 DM-28 大孔树脂纯化后, 皇菊色素的纯度有了明显提高, 纯化后的色价是纯化前的 3.65 倍, 这说明利用大孔树脂纯化皇菊色素技术适合工业化操作, 也可为其他纯化技术提供一定的理论基础。

2.9 皇菊色素特征稳定性分析结果

2.9.1 光照对皇菊色素特征稳定性的影响

表 4 为不同光照条件对皇菊色素稳定性的影响, 通过 SPSS 软件对数据进行统计分析可知: $P = 0.8693 > 0.05$, 说明两组间差异不显著, 因此光照对皇菊色素的稳定性影响不显著, 色素对光照不敏感。

2.9.2 pH 对皇菊色素特征稳定性的影响

由表 5 可知, 色素液在 pH 2 ~ 9 范围内, 皇菊色素的保存率基本保持在 99.37% ~ 103.50%, 说明该色素具有很强的耐酸碱能力, 因此该色素适用范围广, 可在不同酸碱条件下使用。

表4 不同光照条件下的皇菊色素保存率

状态	时间/d						
	1	2	3	4	5	6	7
见光	99.682 ± 0.003	99.473 ± 0.009	100.685 ± 0.005	98.554 ± 0.020	100.000 ± 0.009	99.272 ± 0.039	101.263 ± 0.008
避光	102.21 ± 0.005	101.15 ± 0.013	99.98 ± 0.004	101.26 ± 0.008	98.79 ± 0.006	100.13 ± 0.027	101.47 ± 0.009

表5 pH对皇菊色素稳定性的影响

pH	2	3	4	5	6	7	8	9
保存率/%	101.478 ± 0.011	103.506 ± 0.017	102.083 ± 0.036	102.355 ± 0.016	99.372 ± 0.178	100.574 ± 0.157	101.496 ± 0.054	101.368 ± 0.052

2.9.3 温度对皇菊色素特征稳定性的影响

结果表明(见表6),当温度达到90℃以上时,色素开始变得不稳定,当温度上升到130℃后,色素

保存率明显降低,说明高温对皇菊色素结构产生了影响,因此该色素在10~90℃范围内较稳定,不适合在高温下使用和保存。

表6 温度对皇菊色素稳定性的影响

温度/℃	10	30	50	70	90	110	130
保存率/%	103.465 ± 0.163	104.221 ± 0.046	105.358 ± 0.022	105.976 ± 0.019	99.354 ± 0.033	95.906 ± 0.054	90.762 ± 0.057

2.9.4 氧化还原剂对皇菊色素特征稳定性的影响

由图6可知,皇菊色素液在氧化剂H₂O₂作用下比较稳定,几乎不受其影响,说明皇菊色素具有一定的抗氧化作用;而色素液在还原剂Na₂SO₃作用下随着还原剂浓度的升高,色素保存率逐渐增大,且在外观上颜色逐渐加深,说明还原剂Na₂SO₃对皇菊色素影响较大。

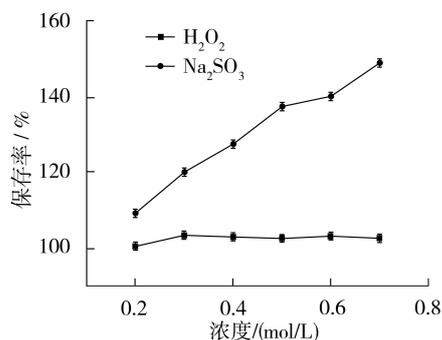


图6 氧化还原剂对皇菊色素稳定性的影响

2.9.5 常用食品添加剂对皇菊色素特征稳定性的影响

由图7可知,柠檬酸、酒石酸、蔗糖对皇菊色素稳定性无明显作用;葡萄糖对色素具有一定的增色作用,这可能是因为葡萄糖作为一种还原性单糖,增加了色素液的旋光性,且符合还原剂对皇菊色素的特征性影响结果;乳糖对色素产生了减色作用,这可能是因为乳糖作为粉末状食品吸附分散剂,降低色素浓度,便于色素使用并降低色素贮藏期间的变化。

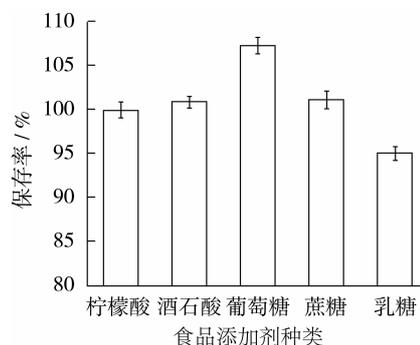


图7 常用食品添加剂对皇菊色素稳定性的影响

2.9.6 金属离子对皇菊色素特征稳定性的影响

图8表明,大部分金属离子,如Na⁺、K⁺、Zn²⁺、Ca²⁺、Cr²⁺、Ni²⁺,对皇菊色素的稳定性几乎没影响;而金属离子Fe³⁺、Cu²⁺对该色素影响较大。这可能是由于色素液与离子发生了颜色反应,因此,在提取与应用过程中应避免与铁器、铜器直接接触,以防止发生不良反应。

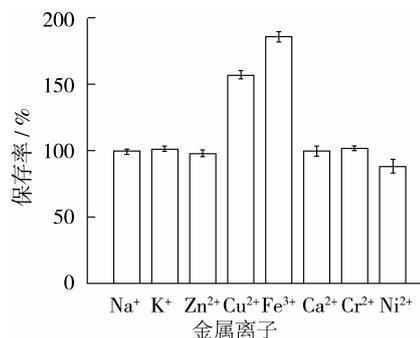


图8 常见金属离子对皇菊色素稳定性的影响

3 结论

利用 DM-28 大孔树脂进行皇菊色素静—动态吸附和解吸工艺研究,得出最佳优化工艺条件,静态吸附—解吸条件为:吸附平衡时间 3 h,样液浓度为原液稀释 12 倍(即 $A_{390} = 0.361$),样液 pH 2.5,吸附温度 30 ℃,在 pH 3、50% 乙醇溶液条件下解吸;动态吸附—解吸条件为:上样浓度为原液稀释 12 倍(即 $A_{390} = 0.361$),上样流速 2.0 mL/min,以流速 1.0 mL/min、80% 乙醇洗脱。纯化后色素色价为 22.5,是纯化前的 3.65 倍。结果表明,DM-28 大孔树脂具有较好的吸附特性。

色素特征稳定性研究表明:光照、常用食品添加剂(如蔗糖、柠檬酸、酒石酸)对皇菊色素稳定性基本没影响,葡萄糖对皇菊色素有增色作用,乳糖对皇菊色素有减色作用;皇菊色素具有较好的耐酸耐碱性;90 ℃ 以上温度会降低色素保存率,还原剂的存在会增大色素的保存率,且随浓度的增加,色素保存率逐渐增大;大多数金属离子对色素稳定性影响不大,但金属离子 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 对皇菊色素稳定性有较大影响。皇菊色素相对来说比较稳定,对外界条件不是很敏感,可以考虑作为一种天然色素食品添加剂添加到食品中。

参考文献:

- [1]周幸知,曹婷婷,吴嘉玺,等.天然色素的研究进展概述[J].农技服务,2015,32(9):10-13.
- [2]杨丽华,陈晓光.天然色素的资源开发和应用研究进展[J].中国食物与营养,2010(6):13-16.
- [3]周幸知,曹婷婷,吴嘉玺,等.天然色素的研究进展概述[J].农技服务,2015,32(9):10-13.
- [4]段崇霞,张正竹.四大药用菊花功能成分的比较研究[J].安徽农业大学学报,2008,35(1):99-105.
- [5]胡文杰,邱修明,曾建军,等.皇菊不同部位挥发油化学成分比较分析[J].天然产物研究与开发,2015(7):1187-1193.
- [6]Valant-Vetschera K M, Wollenweber E, Faure R, et al. New exudate flavonoids of species from the Chrysanthemum complex (Asteraceae - Anthemideae) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2003, 31(5):545-548.
- [7]Harborne J B, Heywood V H, Saleh N. Chemosystematics of the compositae: Flavonoid patterns in the Chrysanthemum complex of the tribe Anthemideae [J]. Phytochemistry, 1970, 9(9):2011-2017.
- [8]Matsuda H, Morikawa T, Toguchida I, et al. Medicinal Flowers. VI. Absolute Stereostructures of Two New Flavanone Glycosides and a Phenylbutanoid Glycoside from the Flowers of Chrysanthemum indicum L.: Their Inhibitory Activities for Rat Lens Aldose Reductase [J]. Chem. Pharm. Bull, 2002, 50(7):972-975.
- [9]刘玉珊,许震寰,刘静,等.皇菊的有益成分含量及其可食用性分析[J].安徽农业科学,2014,42(31):10905-10906.
- [10]Dr. Nicolai Peitersen, Chr. Hansen. 天然色素用于现代食品工业生产[J].中国食品工业,1996,3(12):28-29.
- [11]Liang P, ZhiMin L, LiHui L, et al. Optimization research on the purification of total flavonoids from Aurantii immaturus Fructus by macroporous resin [J]. Medicinal Plant, 2010, 1(4):51-53.
- [12]戴余军,潘国栋,张昭,等.大孔树脂对黑胡萝卜花色苷纯化工艺的研究[J].中国调味品,2013,38(4):114-118.
- [13]周学森.苦水玫瑰精油及花渣中色素的提取纯化[D].兰州:甘肃农业大学,2010.
- [14]周桃英,罗登宏,李国庆,等.AB-8大孔树脂纯化荷叶总黄酮的工艺研究[J].中国食品添加剂,2009(5):113-119.
- [15]潘国栋,张昭,雷蕾,等.大孔树脂对黑胡萝卜色素纯化工艺的研究[J].广东农业科学,2012,4(21):104-107.
- [16]仇厚援,陈利梅.几种食品添加剂对万寿菊黄色素稳定性的影响[J].热带作物学报,2005,26(3):82-85.
- [17]晏小欣,贾淑平,赵丽凤.不同方法提取金鸡菊花中天然黄色素及稳定性研究[J].喀什师范学院学报,2015,3(12):36-38.
- [18]刘亚婷,张延龙,牛立新,等.利文斯顿雏菊花色素成分及其稳定性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(11):161-166. ㊟