

刘秋华, 谢梅凤, 王廷芹. 金鱼草花色素的提取工艺及其稳定性研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 235–239.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.23.056

金鱼草花色素的提取工艺及其稳定性研究

刘秋华¹, 谢梅凤², 王廷芹²

(1. 广东新安职业技术学院生物技术系, 广东深圳 518052; 2. 广东海洋大学农学院, 广东湛江 524088)

摘要:以粉红色金鱼草花瓣为原料, 采用溶剂萃取法提取金鱼草花色素。用 1 g : 50 mL 的料液比, 选取提取剂、提取时间、提取温度、pH 值等为萃取因素进行单因素试验, 用 4 因素 3 水平正交表 [$L_9(3^4)$] 进行正交试验优化试验, 确定最佳的萃取条件。采用最佳的萃取条件提取金鱼草花色素, 分析金鱼草花色素的稳定性。结果表明, 金鱼草花色素的最佳萃取条件: 以 20% 乙醇为萃取剂, 提取温度为 40 °C, 提取时间为 30 min, pH 值为 7。金鱼草花色素具有一定的耐光性; 不耐强酸, 可在中性或碱性环境中保存; 容易被氧化, 耐还原性差; K^+ 增色效果明显, 但 K^+ 、 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 会改变色素的颜色; 食品添加剂对金鱼草花色素没有明显的影响。

关键词: 金鱼草; 花色素; 提取工艺; 稳定性; 正交试验

中图分类号: R284.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)23-0235-05

金鱼草 (*Antirrhinum majus* L.), 别称龙头花、狮子草、龙口花、洋彩雀等, 玄参科金鱼草属, 多年生草本植物。全草均可入药, 具有清凉虚热、解除毒素、活血通脉、消除肿痛等功能^[1-2]。由于其花期长, 花色丰富艳丽, 是园林绿化和切花常用的草本花卉, 也是研究分子生物学和遗传学, 特别是花器官形成、转座子等方面的重要模式植物。金鱼草花色素作为一种天然色素, 在食品、日化用品、保健品和纺织品等应用领域极具开发前景。

目前, 国内外对金鱼草的研究主要集中在基因克隆及表达分析^[3-8]、组织培养^[9-13]、花香^[14-15]、生长调控^[16-18]、切花生产^[19-22]等方面, 对金鱼草花色素的研究尚少。本研究对金鱼草花色素的提取工艺进行研究, 并对其稳定性进行分析, 以期建立高效的金鱼草花色素提取工艺, 为金鱼草花色素的开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

2017 年 9 月采购云南斗南花卉市场的粉红色金鱼草切花, 于广东海洋大学兴农楼 318 室进行干燥处理。

收稿日期: 2019-09-27

基金项目: 广东新安职业技术学院药品生物技术特色专业建设项目 (编号: 2017YJZJ003)。

作者简介: 刘秋华 (1978—), 女, 山东兖州人, 博士, 讲师, 主要从事食品、药品生物技术领域的研究。E-mail: lqhunj@163.com。

通信作者: 王廷芹, 博士, 副教授, 主要从事园艺栽培生理研究。E-mail: wtqin@163.com。

量的研究分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 135–138.

[19] Ganmaa D, Wang P Y, Qin L Q, et al. Is milk responsible for male reproductive disorders [J]. Medical Hypotheses, 2001, 57(4): 510–514.

[20] 刘志楠, 赵雅丽, 刘晓川, 等. 牛奶中孕酮本底含量的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(21): 1–3.

所用试剂有无水乙醇、浓盐酸、氢氧化钠、氯化钠、氯化钾、六水氯化镁、九水硝酸铝、一水硫酸锰、七水硫酸锌、二水氯化钙、五水硫酸铜、六水氯化铁、亚硫酸氢钠、过氧化氢、蔗糖、可溶性淀粉等, 均为分析纯, 购自天津市致远化学试剂有限公司; 食盐, 购自广东省盐业集团有限公司。

1.2 仪器与设备

数显鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司产品; 咖啡研磨机, 浙江永康铂欧五金制品有限公司产品; AY120 电子天平, 日本岛津公司产品; 7200 可见分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司产品; 电热恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司产品; 离心机, 湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 原材料处理 将新鲜的金鱼草花瓣, 去除花柄、花蕊, 洗干净花瓣上的花粉、灰尘等杂质, 放入烘箱烘干直至恒质量。再用咖啡研磨机将干燥好的花瓣研磨成粉末^[23], 过 60 目筛, 备用。

1.3.2 金鱼草花色素的光谱特征 称取 0.20 g 花瓣粉末于试管中, 用蒸馏水定容至 10 mL, 振荡, 室温下浸泡提取 30 min, 过滤得滤液, 即金鱼草花色素提取液。以蒸馏水为参比液, 室温下用分光光度计在 320~400 nm 波长内测定其吸光度, 确定最大吸收波长。

1.3.3 金鱼草花色素提取的单因素试验

1.3.3.1 提取剂的选择 称取 0.20 g 花瓣粉末于试管中, 分别以蒸馏水、10% 乙醇、20% 乙醇、10% 丙酮、1% HCl、1% 柠檬酸作为提取剂^[24], 定容至 10 mL, 振荡, 室温下浸泡提取 30 min, 过滤得滤液, 用提取剂作为参比液, 并用 7200 可见分

[21] 刘全宇. 不同地区生鲜乳中硫氰酸根的监测[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(11): 282–283.

[22] 刘维华, 付少刚, 杨树鑫, 等. 宁夏地区生鲜乳中硫氰酸根残留水平的调查研究[J]. 中国奶牛, 2013(8): 53–55.

[23] 骆洪, 李秀萍, 张福金, 等. 生鲜乳中硫氰酸根的背景调查分析[J]. 内蒙古农业科技 2013(5): 46–47.

光光度计在最大吸光波长处,测定不同上清液的吸光度(D),筛选出最佳的提取剂。

1.3.3.2 提取时间的选择 称取 0.20 g 花瓣粉末于试管中,用已选定的最佳提取剂,定容至 10 mL,振荡,分别在室温下浸泡提取 15、30、45、60、75、90 min,过滤得滤液,用提取剂作参比液,并用 7200 可见分光光度计在最大吸光波长处,测定不同上清液的 D ,筛选出最佳的提取时间。

1.3.3.3 提取温度的选择 称取 0.20 g 花瓣粉末于试管中,用已选定的最佳提取剂,定容至 10 mL,振荡,分别在 21(室温)、30、40、50、60、70 ℃ 浸泡提取,提取时间为“1.3.3.2 节”中确定的最佳提取时间,过滤得滤液,用提取剂作参比液,并用 7200 可见分光光度计在最大吸光波长处,测定不同上清液的 D ,筛选出最适的提取温度。

1.3.3.4 提取剂 pH 值的选择 将上面得到的最佳提取剂用 0.1 mol/L HCl 和 0.1 mol/L NaCl 分别调节 pH 值至 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10。称取 0.20 g 花瓣粉末于试管中,分别加入已调好 pH 值的提取剂,定容至 10 mL,振荡,在最适的提取温度下浸泡提取至最佳提取时间,过滤得滤液,用提取剂作参比液,并用 7200 可见分光光度计在最大吸光波长处,测定不同上清液的 D ,筛选出最佳的提取剂 pH 值。

1.3.4 金鱼草花色素提取的正交试验 考虑到各提取条件之间可能存在交互作用,会影响对金鱼草花色素的提取效果。综合上述试验结果,在单因素试验的基础上,设计一个 4 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 的正交试验,验证单因素试验的效果,确定金鱼草花色素的最佳提取条件。用提取剂作参比液,并用 7200 可见分光光度计在最大吸光波长处,测定不同上清液的 D 。正交试验设计如表 1 所示。

表 1 正交试验的因素与水平				
水平	因素			
	A:乙醇浓度 (%)	B:提取时间 (min)	C:pH 值	D:提取温度 (℃)
1	0	15	6	30
2	10	30	7	40
3	20	45	8	50

1.3.5 金鱼草花色素稳定性分析 用上述最佳提取条件提取金鱼草花色素溶液,备用。

金鱼草花色素的耐光性:取 2 份色素溶液,一份放置室内自然光下,一份放置黑暗条件下。在最大吸收波长处,每天测定其吸光度。

金鱼草花色素的耐酸碱性:取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量不同 pH 值(1~11)20%乙醇溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 2 h,在最大吸收波长处测定吸光度。

金鱼草花色素的耐还原性:取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量浓度为 0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mol/L 的 NaHSO_3 溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,在最大吸收波长处测定吸光度。

金鱼草花色素的耐氧化性:取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量浓度为 0%、5%、10%、15%、20%、25% 的 H_2O_2 溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,在最大吸收波长处测定吸光度。

各种金属离子对金鱼草花色素稳定性的影响:取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量的蒸馏水及浓度为 0.1 mol/L 含 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 的溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,观察其颜色变化,在最大吸收波长处测定吸光度。

常见食品添加剂对金鱼草花色素稳定性的影响:取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量浓度为 0、5、10、15、20、25、30 g/L 蔗糖溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,在最大吸收波长处测定吸光度;取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量浓度为 0、2、4、6、8、10、12 g/L 食盐溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,在最大吸收波长处测定吸光度;取色素溶液 2 mL 于试管中,分别加入等量浓度为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 g/L 可溶性淀粉溶液,振荡使其充分混合均匀,室温下放置 1 h,在最大吸收波长处测定吸光度。

1.4 数据处理

每组试验重复 3 次,结果取平均值,采用 Excel 2007 软件对数据进行处理并作图,试验数据采用 DPS 统计软件中的 LSD 法对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 金鱼草花色素的光谱特征

由图 1 可知,在波长为 320~340 nm 时,随着波长的增加,金鱼草花色素的吸光度上升,并在 340 nm 时达到最大值。而随着波长再增加,吸光度不断下降。由此判断,金鱼草花色素的最大吸收波长为 340 nm。

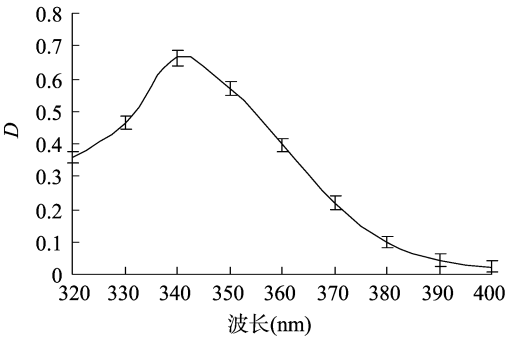


图1 金鱼草花色素吸收光谱

2.2 金鱼草花色素的提取

2.2.1 单因素试验结果分析

2.2.1.1 最佳提取剂的选择 从图 2 可知,以 10% 乙醇、20% 乙醇和 10% 丙酮为提取溶剂时,提取液的吸光度较大,其中 20% 乙醇提取液的吸光度最大;蒸馏水为提取溶剂时,提取液的吸光度次之;1% 的 HCl 和柠檬酸提取液的吸光度较小,提取效果较差。综合考虑,采用 20% 乙醇作为金鱼草花色素的提取剂。

2.2.1.2 最佳提取时间的选择 从图 3 可知,随着提取时间的延长,提取液的吸光度呈现先增大后减小的趋势,当提取时间为 30 min 时达到最大值,为 0.753 9。当提取时间超过 45 min,提取溶液的吸光度逐渐降低,可能由于提取时间过长导致色素破坏。因此,选择 30 min 作为金鱼草花色素的最佳提取时间。

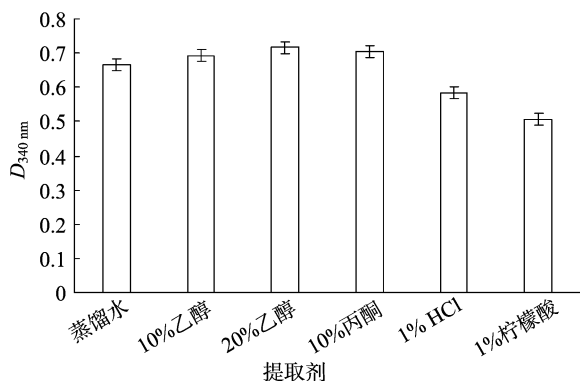


图2 提取剂对金鱼草花色素吸光度的影响

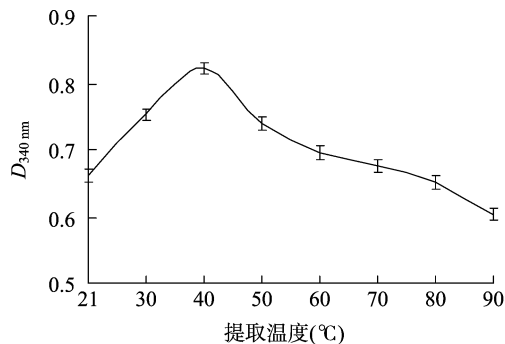


图4 提取温度对金鱼草花色素吸光度的影响

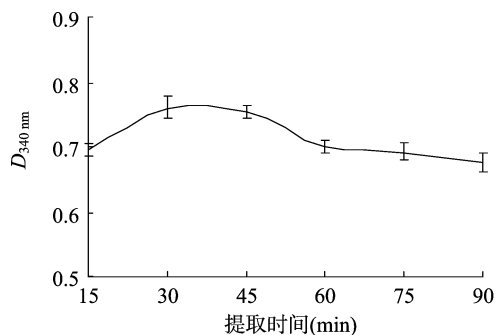


图3 提取时间对金鱼草花色素吸光度的影响

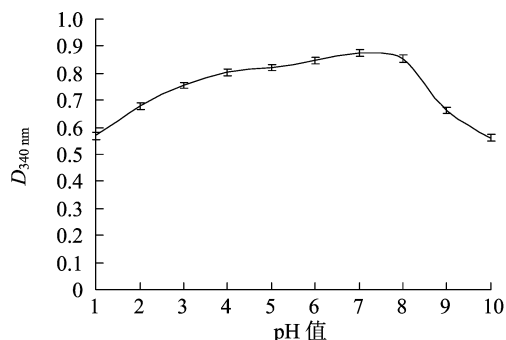


图5 提取剂 pH 值对金鱼草花色素吸光度的影响

2.2.1.3 最佳提取温度的选择 从图4可知,随着提取温度的升高,金鱼草花提取液的吸光度随温度的升高而逐渐增大,并在40℃时达到峰值。当提取温度超过40℃时,金鱼草花提取液吸光度随温度的升高而减小。这说明随着提取温度的升高,可以加速金鱼草花色素溶解到提取液中,而温度超过40℃,可能会破坏色素的结构,色素发生分解。因此,选择40℃作为金鱼草花色素的最佳提取温度。

2.2.1.4 最佳pH值的选择 从图5可知,在pH值为1~7

时,随着pH值的增大,金鱼草花色素的吸光度逐渐上升,并在pH值为7时达到峰值,为0.8753,而随着pH值的进一步增大,吸光度下降。因此,选择pH值为7作为金鱼草花色素提取的最佳提取pH值。

2.2.2 正交试验分析结果 由表2可知,金鱼草花色素各提取条件的影响因素表现为乙醇浓度>提取温度>提取时间>pH值,最佳提取工艺组合为A₃B₁C₃D₃,即pH值为8,提取剂为20%乙醇,提取温度为50℃,提取时间为15min。

表2 金鱼草花色素最佳提取条件的正交试验结果

试验号	各因素的水平				吸光度
	A:乙醇浓度(%)	B:提取时间(h)	C:pH值	D:提取温度(°C)	
1	1	1	1	1	0.787 7dC
2	1	2	2	2	0.784 3dC
3	1	3	3	3	0.809 3bcdABC
4	2	1	2	3	0.824 0abAB
5	2	2	3	1	0.790 7dBC
6	2	3	1	2	0.795 0cdBC
7	3	1	3	2	0.835 3aA
8	3	2	1	3	0.837 3aA
9	3	3	2	1	0.816 7abcABC
k ₁	0.793 8	0.815 7	0.806 7	0.798 3	
k ₂	0.803 2	0.804 1	0.808 3	0.804 9	
k ₃	0.829 8	0.807 0	0.811 8	0.823 6	
R	0.036 0	0.011 6	0.005 1	0.025 2	

注:数据后不同大、小写字母分别表示在0.01、0.05水平上差异显著。

2.3 金鱼草色素的稳定性分析

2.3.1 金鱼草花色素的耐光性 由图6可知,金鱼草花色素

在光照环境下和黑暗条件下的吸光度变化趋势一致,说明金鱼草花色素具有一定的耐光性。2种环境下,金鱼草色素的

吸光度从第 1 天到第 3 天不断下降,在第 4 天吸光度急速上升,第 4 天到第 7 天缓慢上升。可见随着时间的推移,金鱼草花色色素稳定性降低,会产生其他物质。

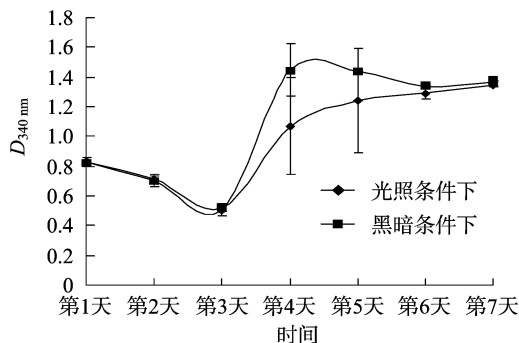


图6 光对金鱼草花色色素稳定性的影响

2.3.2 金鱼草花色色素的耐酸碱性 从图 7 可知, pH 值在 1~3 之间, 金鱼草花色色素的吸光度不断上升, pH 值 ≥ 4 时, 金鱼草花色色素的吸光度基本一致, 没有明显波动。pH 值为 4~10 这 7 个处理之间没有明显差异, pH 值为 3~11 这 9 个处理的吸光度明显大于 pH 值为 1、2 时地吸光度。说明金鱼草花色色素在 pH < 3 的强酸性环境下不稳定, 在中性和碱性环境下能稳定保存。

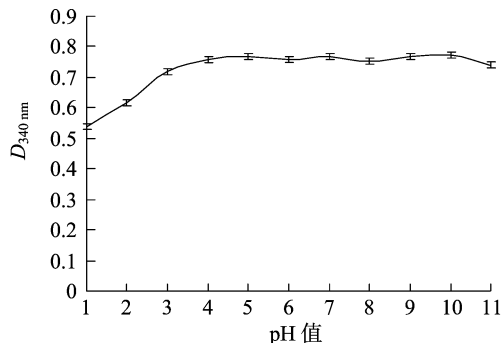


图7 pH 值对金鱼草花色色素稳定性的影响

2.3.3 金鱼草花色色素的耐还原性 从图 8 可以看出, 加入不同浓度 NaHSO_3 的各处理的金鱼草花色色素的吸光度均大于空白对照组。除 0.20 mol/L NaHSO_3 处理外, 不同浓度 NaHSO_3 的各个处理与对照组之间都具有明显差异。加入 NaHSO_3 后, 所有金鱼草花色色素的颜色均变成黄色。说明金鱼草花色色素耐还原性差。

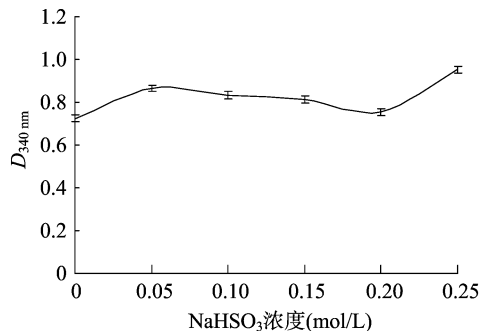


图8 NaHSO_3 对金鱼草花色色素稳定性的影响

2.3.4 金鱼草花色色素的耐氧化性 从图 9 可知, 随着 H_2O_2 处理浓度的升高, 金鱼草花色色素的吸光度逐渐下降, 说明金鱼

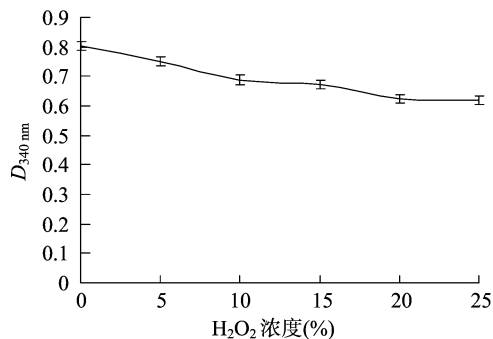


图9 H_2O_2 对金鱼草花色色素稳定性的影响

草花色色素容易被 H_2O_2 氧化, 金鱼草色素的耐氧化性不强。

2.3.5 各种金属离子对金鱼草花色色素稳定性的影响 从图 10 可以看出, Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 对金鱼草花色色素吸光度基本无影响。而 K^+ 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 对金鱼草花色色素吸光度有明显影响, 表明金鱼草花色色素在 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 条件下稳定, 在 K^+ 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 条件下不稳定。加入 K^+ 后, 溶液颜色由红棕色变成深棕色, 加入 Al^{3+} 后, 溶液颜色由红棕色变成橙黄色, 加入 Cu^{2+} 后, 溶液颜色由红棕色变成黄色, 加入 Fe^{3+} 后, 溶液颜色由红棕色变成深褐色。因此金鱼草花色色素加工和包装材料应避免接触铝、铜、铁。

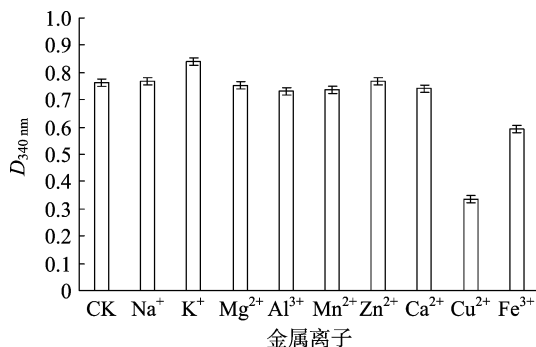


图10 金属离子对金鱼草花色色素稳定性的影响

2.3.6 常见食品添加剂对金鱼草花色色素稳定性的影响 由图 11 可以看出, 除加入 30 g/L 蔗糖后金鱼草花色色素的吸光度与对照组有明显差异外, 其他处理均与对照组之间没有明显差异; 食盐、可溶性淀粉对金鱼草花色色素的稳定性均无明显影响, 可与金鱼草花色色素混合使用。

3 讨论

天然色素与合成色素相比, 具有较强的生理活性、来源广、对人体安全性高等特点。随着生活水平不断提高, 人们的健康意识逐步增强, 对天然色素产品的需求日益增加。天然色素被广泛应用于医药保健、食品添加剂、纺织品等应用领域^[25-27]。金鱼草作为园林花卉在我国广为栽种, 其花色丰富, 可成为天然色素新来源。

国内外花色色素的提取分离多采用有溶剂萃取法、超声波法、多级溶剂萃取法、吸附层析法^[28-30]等。本研究将花瓣烘干后磨成粉末, 采用溶剂萃取法, 确定金鱼草花色色素最佳提取条件: 以 20% 乙醇为提取剂, 提取温度为 40 ℃, 提取时间为 30 min, 提取 pH 值为 7。稳定性试验结果表明, 金鱼草花色

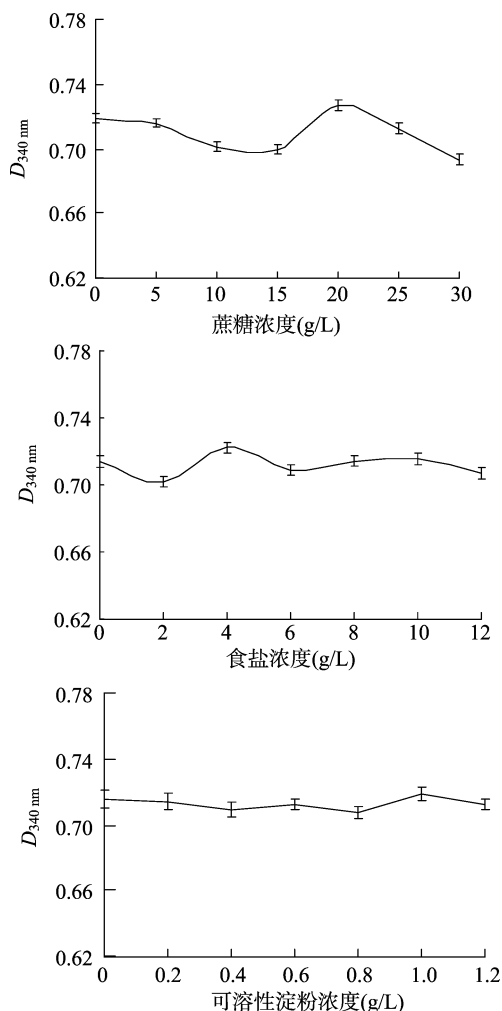


图11 食品添加剂对金鱼草花色色素稳定性的影响

素具有一定的耐光性;不耐强酸,可在中性或碱性环境中保存;容易被氧化,耐还原性差; Na^+ 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 对金鱼草花色色素稳定性没有明显影响, K^+ 增色效果明显, K^+ 、 Al^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 会与金鱼草花色色素发生颜色反应;食品添加剂蔗糖、食盐、可溶性淀粉对金鱼草花色色素稳定性影响不明显。作为天然花色色素,金鱼草花色色素具有较大的应用前景,在食品、日化用品、纺织品和医疗保健品等中使用前,须要做进一步研究分析其毒性作用。

参考文献:

- [1] 李竹英,钱艳红,毛绍春. 不同激素对金鱼草茎尖组织培养效果初探[J]. 北方园艺,2006(3):130-131.
- [2] 张喜艳,郑思乡. 不同倍性金鱼草形态学与染色体观察[J]. 云南农业大学学报,2009,24(2):316-318.
- [3] 付宇辰,刘晓慧,冷平生,等. 金鱼草12-氧-植物二烯酸还原酶基因 AmOPR 的克隆及表达分析[J]. 中国观赏园艺研究进展,2018,2018:504-510.
- [4] 王少杰,刘晓慧,胡增辉,等. 金鱼草脂氧合酶基因 AmLOX1 的克隆及表达分析[J]. 中国细胞生物学学报,2018,40(6):905-912.
- [5] 曹舸洋. 调节金鱼草叶序发育 AmPIN1a 基因克隆和转基因分析[D]. 合肥:安徽农业大学,2018.

- [6] Naing A H, Park K I, Ai T N, et al. Overexpression of snapdragon *Delila* (*Del*) gene in tobacco enhances anthocyanin accumulation and abiotic stress tolerance [J]. BMC Plant Biology, 2017, 17 (1): 65-79.
- [7] 刘晓慧,冷平生,胡增辉. 金鱼草丙二烯环化酶基因 AmAOC 的克隆及表达分析[J]. 分子植物育种,2017,15(9):3489-3496.
- [8] 燕一波,郭玉双. 金鱼草花青素糖基转移酶基因的克隆及表达特性分析[J]. 热带作物学报,2017,38(6):1101-1105.
- [9] 李兆婷. 金鱼草养分吸收积累规律及遗传转化体系初探[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2016.
- [10] 李丹丹,夏淋,王国伟,等. 激素对金鱼草茎尖快繁及对后期叶序形成的影响[J]. 安徽农业大学学报,2013,40(5):871-874.
- [11] 李成慧,唐蓉,朱广慧,等. 金鱼草组织培养技术研究[J]. 金陵科技学院学报,2013,29(2):76-78.
- [12] 李竹英,钱艳红,毛绍春. 不同激素对金鱼草茎尖组织培养效果初探[J]. 北方园艺,2006(3):130-131.
- [13] 谷旭,刘洋,高迎秋,等. 金鱼草嫩茎组织培养及无性系建立的研究[J]. 广西农业科学,安徽农业大学学报,2008,39(5):569-572.
- [14] 赵静,胡增辉,冷平生,等. 两个金鱼草品种香气成分分析[J]. 北京农学院学报,2013,28(3):24-28.
- [15] Dudareva N, Nurfitt L. M, Mann C J, et al. Developmental regulation of methyl benzoate biosynthesis and emission in snapdragon flowers [J]. The Plant Cell, 2000(12):949-961.
- [16] 孙丽萍,衣彩洁,温永刚. 3 种生长调节剂对金鱼草穴盘苗生长调控作用[J]. 北京农学院学报,2017,32(1):64-68.
- [17] 翟玉莹,李新,梅发博,等. GA_3 和 6-BA 对金鱼草生长及生理特性的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(28):60-62.
- [18] 刘紫薇,蒋亚蓉,雷蕾,等. 消毒时间、光照和温度对金鱼草种子萌发的影响[J]. 北方园艺,2015(18):88-91.
- [19] 朱广慧,唐蓉,邓波,等. 不同品种切花金鱼草对低温胁迫的生理响应及抗寒性分析[J]. 北方园艺,2013(23):100-102.
- [20] 张瑜瑜,李晶,吴旭,等. 金鱼草切花瓶插生理和保鲜效应研究[J]. 北方园艺,2013(9):154-159.
- [21] 孙正海,辛培尧,林开文,等. 中药材浸提液对金鱼草切花瓶插寿命的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(1):225-228.
- [22] 高琼,吕炯璋. STS 预处理对切花金鱼草瓶插生理的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(1):53-56.
- [23] 杨佩斯,董乐,叶字海. 红龙草色素的提取工艺优化及其稳定性研究[J]. 安徽农业科学,2017,45(10):97-100.
- [24] 赵珍珍. 红肉火龙果色素提取工艺优化及其化学成份分析[D]. 福州:福建农林大学,2012.
- [25] 黄韬睿,王鑫,孟甜. 天然色素替代亚硝酸盐在腊肉着色和护色中的应用研究[J]. 食品科技,2019,44(2):134-137.
- [26] 刘海灵,刘媛,王香凤. 天然紫草素在纺织印染领域的研究进展[J]. 针织工业,2018(10):41-44.
- [27] 舒冠雄,贾佳,孙虎,等. 天然色素的应用及发展[J]. 中国食品工业,2017(4):64-66.
- [28] 曾立峰,王更先,叶嘉,等. 黄刺玫花色素的提取工艺优化及其稳定性[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):221-224.
- [29] 徐飞,钮福祥,孙建,等. 冷冻对甘薯紫色花青素提取的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):214-216.
- [30] 房照龙,扈本荃. 现代提取技术在天然色素领域的应用[J]. 广州化工,2018,46(8):21-23.