

阙小峰,余 雁,方志成,等. 火龙果果皮色素固液法萃取工艺优化及其加工性能研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(3):184-189.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.03.030

# 火龙果果皮色素固液法萃取工艺优化及其加工性能研究

阙小峰<sup>1</sup>, 余 雁<sup>1</sup>, 方志成<sup>2</sup>, 司文会<sup>1</sup>

(1. 苏州农业职业技术学院食品科技学院, 江苏苏州 215008; 2. 苏州泰事达检测技术有限公司, 江苏苏州 215008)

**摘要:**以红心火龙果果皮为研究对象,优化了固液法萃取火龙果果皮色素的提取工艺,并对其在食品加工中的稳定性和抗氧化性进行探究。结果表明,最优固液萃取火龙果果皮色素工艺条件如下:萃取剂为 20% 乙醇、固液比 1 g : 30 mL、温度 30 ℃、pH 值 6.5、萃取时间 45 min,该工艺下萃取量最高可达 65.2 mg/kg。在食品加工中,火龙果果皮色素在加工温度、pH 值、辐照强度、金属离子等因素影响下稳定性较差,表现为高温、强辐照、 $\text{Cu}^{2+}$  及  $\text{Fe}^{3+}$  等离子易破坏果皮色素的稳定,其最佳加工 pH 值为 6.0 ~ 8.0。此外,果皮色素对羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )、超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^-$ )、二苯代苦味肼基自由基(DPPH $\cdot$ )有显著的清除作用,对  $\text{O}_2^-$  的清除效果最佳。

**关键词:**火龙果;果皮色素;红心;固液萃取;食品加工;抗氧化性;正交试验

**中图分类号:** TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)03-0184-06

红心火龙果(red pitaya)是仙人掌科火龙果的改良品种,其果皮约占果质量的 25%,含有蛋白质、多糖、色素等多种物质<sup>[1-2]</sup>。火龙果果皮富含的果皮色素主要成分为甜菜苷(betainin,  $\text{C}_{24}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_{13}$ ),其含量占果皮中甜菜苷类色素的 75% ~ 95%,是一

种极性或弱极性水溶性有机物,为火龙果果皮的主要呈红色物质。研究证明,火龙果果皮色素不仅组成稳定,含量高,而且色域广,具有较好着色、抑菌、抗氧化等作用<sup>[3-5]</sup>,在食品、医药、印染等行业应用广泛<sup>[6]</sup>,对开发食品天然色素添加剂和应用其功能活性等具有重要价值。

本研究采用正交试验设计优化固液萃取红心火龙果果皮色素的最佳工艺,并建立体外抗氧化模型,对果皮色素在食品加工中的稳定性和抗氧化性质进行探究。以期将红心火龙果果皮变废为宝,提高火龙果深加工的附加值,并为食品天然色素添加剂和抗氧化剂的开发应用提供新的途径,促进火龙

收稿日期:2021-03-18

基金项目:江苏省“333 高层次人才培养工程”(编号: BRA2020368);2020 年苏州高职院校第二批产学研合作示范基地建设项目(编号: SJGZ20203302)。

作者简介:阙小峰(1980—),男,江苏泰州人,硕士,副教授,主要从事食品生物技术与食品安全相关研究。E-mail: amiao2006@163.com。

[11] 沈王庆,魏锡均. 竹叶乙醇提取液和柠檬汁对甘蔗汁保鲜效果的研究[J]. 天然产物研究与开发,2016,28(3):341-349,403.

[12] Almela C, Castelló M L, Tarrazó J, et al. Washing of cut persimmon with thyme or lemon essential oils[J]. Food Science and Technology International, 2014, 20(8):557-565.

[13] Pangallo S, Li Destri Nicosia M G, Raphael G, et al. Elicitation of resistance responses in grapefruit and lemon fruits treated with a pomegranate peel extract[J]. Plant Pathology, 2017, 66(4):633-640.

[14] 祝丽丽,康保安,孙永强,等. 阴阳离子复配体系的表面活性及应用性能[J]. 日用化学工业, 2013, 43(3):163-168.

[15] 张 群,裴梅山,张 瑾,等. 十二烷基硫酸钠与两性表面活性剂复配体系表面性能及影响因素[J]. 日用化学工业, 2006, 36(2):69-72.

[16] 刘 赫. 表面活性剂对微生物降解污水中有机物的影响[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(1):144-147,173.

[17] 张利丹,赵 莉,韩 富,等. 表面活性剂的性能与应用(X

V):表面活性剂的洗涤作用及其应用[J]. 日用化学工业, 2015, 45(3):132-136,142.

[18] 柴晨星,赵 莉,周雅文,等. 表面活性剂的性能与应用(XVIII):表面活性剂在家用洗涤剂中的应用[J]. 日用化学工业, 2015, 45(6):311-314,327.

[19] 肖鹏飞,秦必达,李玉文. 非离子表面活性剂强化白腐菌及其粗酶液对有机氯农药的降解[J]. 应用与环境生物学报, 2015, 21(1):22-28.

[20] 成 斌. 模糊综合评判法在洗手液感官评价中的应用[J]. 日用化学工业, 2012, 42(4):277-279.

[21] 中华人民共和国工业和信息化部. 洗手液:QB/T 2654—2013[S]. 北京:中国轻工业出版社,2014.

[22] 栾庆祥,赵 杨,周 欣,等. 单因素试验结合响应面分析法优化杜仲最佳提取工艺[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(5):859-865.

[23] 木合塔尔·米吉提,吾尔泥沙·吐尼牙孜,玛依努尔·托乎提. 红枣热风干燥特性的单因素试验分析[J]. 农机化研究, 2018, 40(6):178-182.

果产业健康高效发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

所用材料如下:红心火龙果果皮(市售红皮红肉火龙果)、甜菜苷标准品(纯度 $\geq 98\%$ ,由四川省维克奇生物科技有限公司生产)、蒸馏水(实验室自制)及甲醇、无水乙醇、丙酮、盐酸、冰醋酸、氢氧化钠、亚硫酸氢钠、氯化钠、硫酸铜、氯化镁等试剂均为分析纯,由国药集团化学试剂苏州有限公司生产。

所用仪器如下:紫外可见分光光度计(UV-7502PC 型,上海沪粤明科学仪器有限公司)、pH 计(PSH-3C 型,上海雷磁仪器股份有限公司)、恒温水浴锅(DK-24 型,上海精宏实验设备有限公司)、冷冻干燥机(FDU-1200 型,杭州嘉维创新科技有限公司)、粉碎机(FW177 型,上海耶茂仪器仪表有限公司)、离心机(ST16R 型,赛默飞世尔科技有限公司)、分析天平(ME104E/02 型,北京海天友诚科技有限公司)、电子天平(YP10002 型,上海平轩科学仪器有限公司)等实验室常用仪器设备。

### 1.2 试验条件

试验红心火龙果自购于苏州大润发超市,产自江苏省如皋市,品种为美龙 1 号,单果平均质量 450 g,为当年生果实。试验场所为苏州农业职业技术学院食品科技学院实验室及苏州泰事达检测技术有限公司,试验时间为 2020 年 9 月 19 日至 11 月 26 日。

### 1.3 萃取工艺流程

火龙果清洗、晾干,分离果皮后依次将其切碎、冷冻冻干、粉碎成粉末,然后过 70 目筛网,浸提萃取,离心分离后收集上清液,此为果皮色素萃取液,将其真空干燥,制成果皮色素干粉,待试验分析。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 单因素萃取影响及正交试验设计

1.4.1.1 萃取剂 分别称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,各加入 20% 甲醇、20% 乙醇、20% 丙酮、蒸馏水、0.1 mol/L 盐酸萃取剂 15 mL,在 30 ℃ 下振荡萃取 30 min。然后于 8 000 r/min 离心 10 min,收集上清液 5 mL 至棕色容量瓶中,定容至 100 mL,在 538 nm 波长处测定吸光度( $D$ ),计算甜菜苷含量<sup>[7]</sup>,计算公式如下:

$$\text{甜菜苷含量}(\text{mg/kg}) = \frac{D \times V \times n \times 550.47 \times M \times 1\,000}{61\,600} \quad (1)$$

式中: $D$  表示吸光度; $V$  表示萃取剂体积, mL;  $n$  表示稀释倍数;  $M$  表示火龙果果皮干粉质量, mg; 550.47 表示标准甜菜苷分子量; 61 600 表示标准甜菜苷摩尔消光系数。

1.4.1.2 固液比 分别称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,按固液比(1 g : 20 mL、1 g : 30 mL、1 g : 40 mL、1 g : 50 mL、1 g : 60 mL)加入 pH 值为 6.5 的乙醇萃取剂,于 30 ℃ 恒温水浴锅中振荡 30 min 萃取,按式(1)计算甜菜苷含量。

1.4.1.3 乙醇浓度 称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,分别加入 15 mL pH 值为 6.5 的浓度为 10%、20%、30%、40%、50%、60% 的乙醇,于 30 ℃ 恒温水浴锅中振荡 30 min 萃取,按式(1)计算甜菜苷含量。

1.4.1.4 萃取 pH 值 称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,分别加入 15 mL pH 值为 2.0 ~ 12.0 的 40% 乙醇萃取剂,在 30 ℃ 恒温水浴锅中振荡 30 min 萃取,按式(1)计算甜菜苷含量。

1.4.1.5 萃取温度 称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,加入 15 mL 浓度为 20% pH 值为 6.5 的乙醇萃取剂,分别放入 20 ~ 100 ℃ 恒温水浴锅中振荡 30 min 萃取,按式(1)计算甜菜苷含量。

1.4.1.6 萃取时间 称取 0.5 g 火龙果果皮干粉,加入 10 mL 浓度为 20% pH 值为 6.5 的乙醇萃取剂,分别放入 30 ℃ 恒温水浴锅中振荡不同时间(30 ~ 105 min)萃取,按式(1)计算甜菜苷含量。

1.4.1.7 正交试验设计 在上述单因素试验的基础上,开展 4 因素 3 水平  $L_9(3^4)$  正交试验设计,优化固液萃取火龙果果皮色素的最佳工艺。

#### 1.4.2 火龙果果皮色素在食品加工性能

1.4.2.1 果皮色素在食品加工中的稳定性研究 准确量取最优工艺条件下萃取的火龙果果皮色素提取液 5.0 mL,定容至 100 mL,分别测量其在不同温度(20、40、60、80、100 ℃)、辐照(200、400、600、800、1 000 W)、pH 值(2.0 ~ 11.0)、金属离子[ $\text{KCl}$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{ZnSO}_4$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、浓度 0.01 mol/L]下在 538 nm 处的吸光度(以蒸馏水吸光度为 CK),依次建立温度、辐照功率、pH 值、金属离子与果皮色素吸光度的线性关系,考察火龙果果皮色素作为添加剂在食品加工中的稳定性。

1.4.2.2 火龙果果皮色素抗氧化性研究 依照胡元庆等的试验方法<sup>[8-9]</sup>,建立体外抗氧化性模型,考察火龙果果皮色素对羟自由基( $\cdot\text{OH}$ )、超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^- \cdot$ )和二苯代苦味肼基自由基

(DPPH·)的清除效果。以等浓度的维生素 C 溶液做参照,按式(2)计算自由基清除率。

$$\text{清除率} = \frac{D_0 - (D_1 - D_2)}{D_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $D_0$ 表示以水或无水乙醇作参比液,代替色素溶液所测得的吸光值; $D_1$ 表示色素溶液与 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、邻苯三酚、DPPH·反应后所测得的吸光值; $D_2$ 表示以水代替 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、邻苯三酚、DPPH·溶液所测得的吸光值。

### 1.5 数据处理

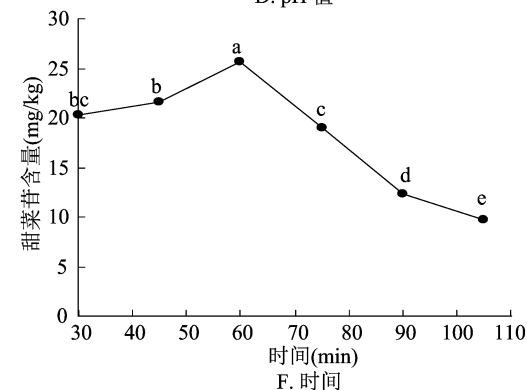
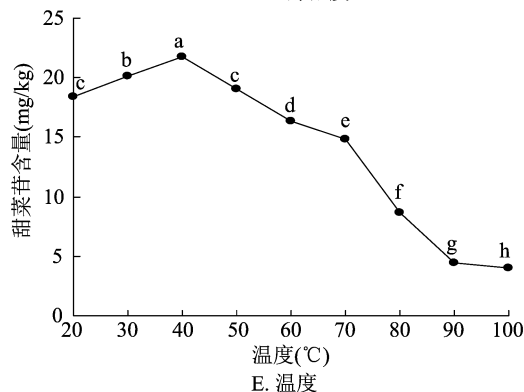
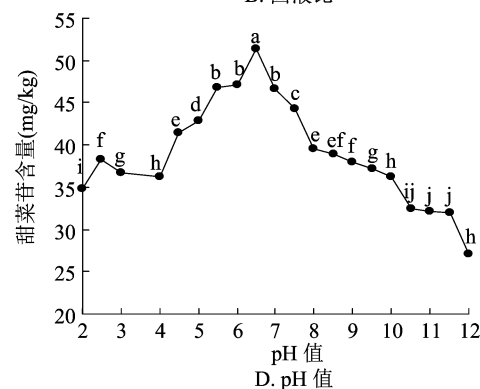
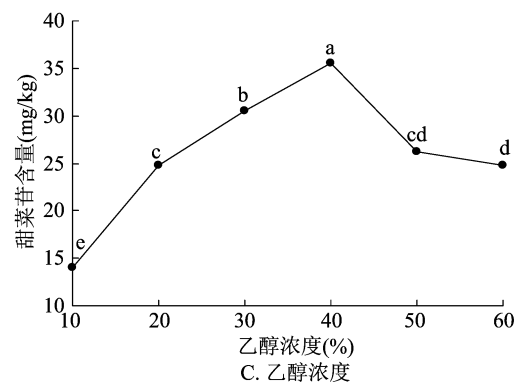
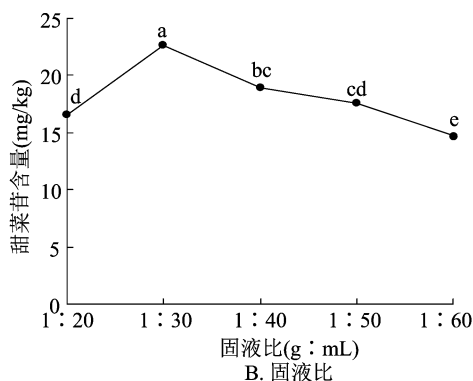
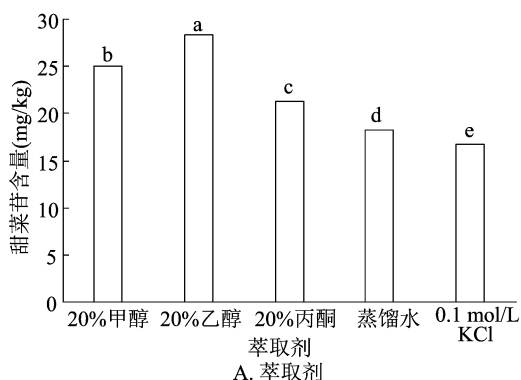
采用 SPSS 22.0 软件的单因素方差分析,以最小显著性差数法(LSD,  $\alpha=0.05$ )作为差异显著的判断标准,并以正交设计助手 II V3.1 开展正交设计

及方差分析( $\alpha=0.01$ ),最后采用 Excel 进行数据处理和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素对火龙果果皮色素萃取的影响

可以看出:果皮色素萃取剂作用效果依次为乙醇>甲醇>丙酮>蒸馏水>KCl,乙醇萃取效果最佳,有效去除了果皮溶出的蛋白质、脂类等杂质<sup>[10]</sup>,该处理的甜菜苷含量最高(图1-A);随着固液比的减小,甜菜苷萃取量呈现先增大后降低的趋势(图1-B),固液比1 g:30 mL处理效果最佳;乙醇浓度对果皮色素萃取量差异显著(图1-C),随着乙醇浓度的增大甜菜苷含量出现先上升后下降趋



不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

图1 不同条件对火龙果果皮色素萃取的影响

势,40%乙醇萃取值最大(35.4 mg/kg),表明乙醇浓度的增大有助于果皮皮质细胞中的磷脂及其他脂类的溶解,果皮色素亲和力大<sup>[11]</sup>,但乙醇浓度持续增大,也增加了杂质的溶解;随着 pH 值增大,甜菜苷含量呈现先增大后减小的趋势(图 1-D),在 pH 值为 6.5 时萃取值最大,为 51.4 mg/kg。试验中,随着萃取液 pH 值的增大,其颜色出现变化,由初期淡红色逐渐变为粉红色(pH 值 2.0~6.5),再变为红色(pH 值 7.0~11.0),最后变为浅黄色或浅灰黄色(pH 值>11.0),其原因是强碱条件下甜菜苷色素不稳定,甜菜红素转变为甜菜黄素,分子结构发生变化或被破坏,溶液颜色发生明显的变化<sup>[12]</sup>。

随着温度升高,甜菜苷含量呈现先平稳上升后快速下降的趋势(图 1-E),40℃时甜菜苷含量达最高(21.8 mg/kg),其原因是高温易破坏甜菜苷的稳定性,使其分解<sup>[13]</sup>;随着萃取时间延长,甜菜苷含量先增大后减小(图 1-F),在 60 min 时达最大(25.6 mg/kg),显示出萃取时间越长,越不利于甜菜苷的稳定<sup>[14]</sup>,影响萃取效果。

综上可见,果皮色素萃取的最佳单因素条件为萃取剂 20%乙醇溶液、固液比 1 g:30 mL、pH 值 6.5、温度 40℃及萃取时间 60 min。

2.2 正交及优化试验

在上述单因素试验基础上,以果皮色素萃取液中甜菜苷含量为参数,对萃取影响较为明显的 pH 值、时间、温度、乙醇浓度等因素,开展 4 因素 3 水平

L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验(表 1)。

表 1 正交试验的因素及水平

试验水平	A:pH 值	B:时间 (min)	C:温度 (℃)	D:乙醇浓度 (%)
1	6.0	45	30	30
2	6.5	60	40	40
3	7.0	75	50	50

表 2、表 3 表明,影响果皮色素萃取的因素极差为: $R_D > R_A > R_C > R_B$ ,即乙醇浓度>pH 值>温度>时间。试验中,组合 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub> 提取的甜菜苷含量最高,对应最佳提取工艺为 40%乙醇萃取剂、温度 30℃、pH 值 6.5、时间 75 min。

表 2 正交试验结果

试验号	A:pH 值	B:时间	C:温度	D:乙醇浓度	甜苷菜含量 (mg/kg)
1	1	1	1	1	54.8
2	1	2	2	2	58.2
3	1	3	3	3	55.6
4	2	1	2	3	59.3
5	2	2	3	1	55.4
6	2	3	1	2	62.8
7	3	1	3	2	57.2
8	3	2	1	3	58.7
9	3	3	2	1	56.4
k <sub>1</sub>	56.2	57.1	58.8	55.5	
k <sub>2</sub>	59.2	57.4	58.0	59.4	
k <sub>3</sub>	57.4	58.3	56.1	57.9	
R	2.97	1.17	2.70	3.86	

表 3 正交试验结果的方差分析

项目	偏差平方和	自由度	均分(MS)	F <sub>α</sub>	F 临界值	显著性
pH 值	13.327	2	6.663 5	1.071	8.650	**
时间	2.167	2	1.083 5	0.174	8.650	**
温度(℃)	11.540	2	5.770 0	0.927	8.650	**
乙醇浓度(%)	22.747	2	11.272 5	1.828	8.650	**
误差	49.780	8				

注:\*\*表示差异极显著(P<0.01)。

综合考虑单因素对果皮色素萃取的影响,称取 0.5 g 的火龙果果皮粉末,按照优化水平条件 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub> 进行试验,结果(表 4)显示,优化水平条件下得到的甜菜苷含量显著高于最佳工艺条件。由此可得,优化水平为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub> 作为火龙果果皮色素的最优萃取条件,即萃取剂 40%乙醇、温度 30℃、pH 值 6.5、时间 45 min,萃取量为 65.2 mg/kg。

表 4 验证试验结果

试验方案	试验组合	甜菜苷含量 (mg/kg)
正交优化条件	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	65.2a
正交最佳条件	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	62.8b

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著(P<0.05)。图 2 同。

## 2.3 火龙果果皮色素在食品加工中的性能探究

2.3.1 食品加工中的稳定性 随着食品加工温度的升高,火龙果果皮色素的稳定性下降(图 2-A),且温度越高,其稳定性越差,高温破坏了果皮色素的稳定性<sup>[15-16]</sup>。食品加工中,火龙果果皮色素作为着色剂时,在 40 ℃ 以下添加,其呈色效果较好。而辐照也不利于火龙果果皮色素的加工稳定性(图 2-B),对其结构破坏更为明显<sup>[17]</sup>;因此,火龙果果皮色素不宜作为添加剂加入用于辐照加热或杀菌的食品。图 2-C 显示,食品 pH 值对火龙果果皮色素稳定性有显著影响,在酸性(pH 值 2.0 ~ 7.0)条件时,果皮色素稳定性随 pH 值的增大而逐渐增大;在碱性(pH 值 7.0 ~ 11.0)条件时果皮色素

稳定性随 pH 值的增大而迅速减小,表明果皮色素在酸性食品中的稳定性略高于碱性食品<sup>[18]</sup>,其最佳稳定 pH 值为 6.0 ~ 8.0。此外,食品加工中金属离子对火龙果果皮色素稳定性有显著影响( $K^+$ 、 $Zn^{2+}$  除外,图 2-D),表现为  $Mg^{2+}$  离子影响最低, $Al^{3+}$  离子略有下降, $Cu^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子影响最大,稳定性对比 CK 分别下降了 47.93% 和 46.89%。结果表明,食品加工中天然火龙果果皮色素稳定性较差,对温度、酸碱、辐照、金属离子等加工条件敏感<sup>[19]</sup>。高温、强辐照对火龙果果皮红素的稳定性影响较大,适宜低温、避光及中性 pH 值加工环境,此外加工容器须隔绝金属离子中  $Cu^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子。

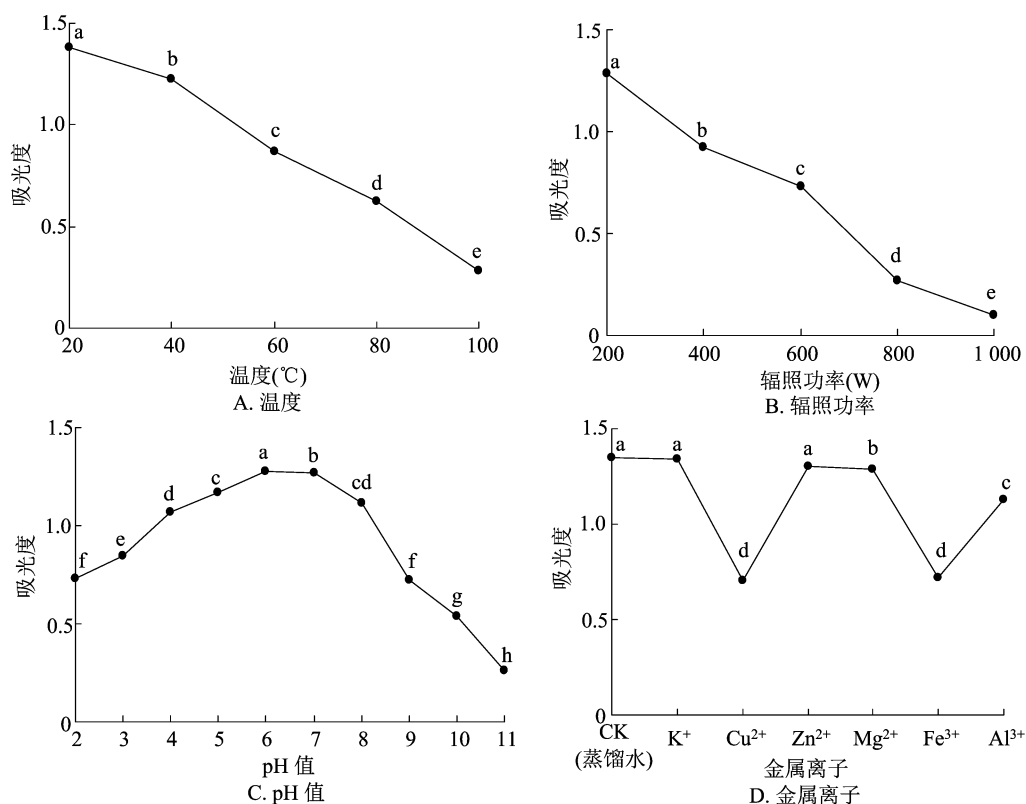


图2 不同食品加工条件对果皮色素稳定性的影响

2.3.2 体外模型抗氧化性研究 图 3 显示,火龙果果皮色素对食品中  $\cdot OH$ 、 $O_2^{\cdot -}$  和 DPPH  $\cdot$  均有显著的抑制作用,且随着火龙果果皮色素浓度的增加,三者的清除率均呈明显增大趋势,表现为正相关线性关系,这说明火龙果果皮色素对  $\cdot OH$ 、 $O_2^{\cdot -}$  和 DPPH  $\cdot$  有较好的清除效果,略低于维生素 C<sup>[20-22]</sup>。其中,果皮色素对  $O_2^{\cdot -}$  的清除效果与维生素 C 的清除能力接近,其次为 DPPH  $\cdot$  和  $\cdot OH$ 。果皮色素浓度为 10 mg/mL 时,果皮色素对  $O_2^{\cdot -}$  和 DPPH  $\cdot$

清除效果突出<sup>[4,23]</sup>。

## 3 结论

以红心火龙果果皮为研究对象,优化了固液法萃取果皮色素的最佳工艺条件,并对萃取的果皮色素在食品加工中的性能进行了探究。结果表明,固液法最优萃取火龙果果皮色素的工艺为:萃取剂 40% 乙醇、固液比 1 g : 30 mL、温度 30 ℃、萃取液 pH 值 6.5、时间 45 min,萃取量为 65.2 mg/kg。

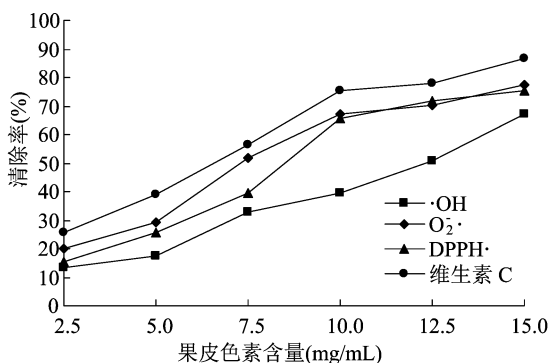


图3 火龙果果皮色素对食品中自由基的清除效果

在食品加工中,火龙果果皮色素稳定性较差,对温度、酸碱、辐照、金属离子等加工环境较为敏感。高温、强辐照易降低果皮红素的稳定性,最佳 pH 值 6.0~8.0,金属离子  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  离子对果皮红素稳定性破坏性较大。在抗氧化性能方面,火龙果果皮色素抗氧化能力与维生素 C 接近,对  $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$  和  $\text{DPPH}\cdot$  均具有较好的清除作用,对  $\text{O}_2^{\cdot-}$  的清除效果最佳。本试验的开展为火龙果果皮色素的萃取和加工应用提供了理论依据和技术支持,有利于红心火龙果的综合开发利用,对未来促进红心火龙果的产业化发展具有积极意义。

#### 参考文献:

- [1] 王蔚婕,唐道邦,曹清明,等. 火龙果的营养价值及加工现状[J]. 中国食物与营养. 2019,25(4):27-30.
- [2] 王超雪. 红心火龙果果皮、茎叶中多糖分离纯化及抗氧化活性研究[D]. 长春:长春师范大学,2020:12-15.
- [3] Vargas - Campos L, Valle - Guadarrama S, Martínez - Bustos F, et al. Encapsulation and pigmenting potential of betalains of pitahaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(7):2436-2445.
- [4] Yong Y Y, Dykes G, Lee S M, et al. Biofilm inhibiting activity of betacyanins from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*) against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilms [J]. Journal of Applied Microbiology, 2019, 126(1):68-78.
- [5] Gengatharan A, Dykes G A, Choo W S. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 80:437-445.
- [6] Yong Y Y, Dykes G, Lee S M, et al. Comparative study of betacyanin profile and antimicrobial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*) [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2017, 72(1):41-47.
- [7] 鲁青,张超凤,严美婷,等. 超声波-酶解辅助提取火龙果果皮色素的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 49(17):68-72.
- [8] 胡元庆,王建芸,李凤霞. 微波辅助法提取火龙果果皮色素及其功能活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23):182-188, 202.
- [9] 钟艳萍. 水溶性膳食纤维的制备及性能研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011:51-53.
- [10] 杨昌鹏,唐志远,卢艺,等. 火龙果果皮红色素的提取分离研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1):347-349, 496.
- [11] 肖图舰,张洪礼,周俊良,等. 火龙果果皮甜菜苷类色素提取工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(12):132-136.
- [12] 宋珊珊,谭沙,蔡国跃,等. 火龙果果皮色素提取工艺及稳定性研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(2):121-125.
- [13] 黎海利,刘锴栋,袁长春,等. 红肉火龙果果皮色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12):203-209.
- [14] 袁亚芳,赵珍珍,王威,等. “红仙蜜”火龙果果肉色素浸提工艺的优化[J]. 福建农业学报, 2014, 29(3):286-290.
- [15] 邓育平,龙红波. 火龙果果皮色素的提取与稳定性研究[J]. 现代农业科技, 2013(11):315-316, 321.
- [16] 庄明珠,刘青茹,李婉霞,等. 多酚类物质和金属离子对火龙果果皮色素稳定性的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11):1320-1324.
- [17] 李玲,郭丽萍. 超声辅助提取火龙果果皮花色苷及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6):298-303, 323.
- [18] Mahayothee B, Komonsing N, Khuwijitjaru P, et al. Influence of drying conditions on colour, betacyanin content and antioxidant capacities in dried red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54(2):460-470.
- [19] 段晓嫣,田艳,邓放明. 火龙果色素生物活性及其提取纯化研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(10):220-225.
- [20] 张灵帮,邵玲,胡隼,等. 两种火龙果果皮红色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5):163-169, 175.
- [21] Wiriyaumpaiwong S, Prapasanobon A. Homogenization and microwave irradiation enhancements of betacyanin extraction from pitahaya peel and its stability[J]. Journal of Advanced Agricultural Technologies, 2018, 5(4):302-306.
- [22] 熊建文,许金蓉,张佳艳,等. 酶法辅助超声波提取火龙果多糖及其抗菌活性[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17):229-233.
- [23] Wong Y M, Siow L F. Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5):3086-3092.