

# 水酶法提取冬瓜籽油工艺优化 及体外抗氧化活性研究

吕秋冰<sup>1</sup>, 罗霜<sup>1</sup>, 杨恒<sup>1</sup>, 王敏<sup>1</sup>, 冯友君<sup>2</sup>

(1. 四川旅游学院 食品学院, 成都 610100; 2. 四川旅游学院 信息与工程学院, 成都 610100)

**摘要:**以冬瓜籽为原料, 采用水酶法提取冬瓜籽油。通过单因素试验设计研究酶的种类、pH、酶解时间、酶解温度、料液比对冬瓜籽油提取率的影响, 并利用 Box - Behnken 试验设计确定冬瓜籽油的最佳提取条件。由响应面分析得出冬瓜籽油的最佳提取条件为: 以葡聚糖酶为酶解用酶, 料液比 1:6, 酶解时间 6.1 h, 酶添加量 3%, 酶解温度 60 °C, pH 4.22。在最佳提取条件下, 冬瓜籽油提取率达 90.67%。体外抗氧化活性研究表明: 冬瓜籽油对 DPPH 自由基、羟基自由基清除率及铁离子还原能力随其质量浓度增加而增大; 对 DPPH 自由基清除率  $IC_{50}$  为 10.23 mg/mL, 对羟基自由基清除率  $IC_{50}$  为 0.39 mg/mL, 冬瓜籽油质量浓度为 1.0 mg/mL 时, 其对羟基自由基清除率为 98.84%, 与  $V_C$  的清除效果相当。

**关键词:** 冬瓜籽油; 水酶法; 提取; 抗氧化活性

中图分类号: TS224; TQ644

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2020)03-0016-06

## Optimization of aqueous enzymatic extraction process of wax gourd seed oil and its antioxidant activity in vitro

LÜ Qiubing<sup>1</sup>, LUO Shuang<sup>1</sup>, YANG Heng<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, FENG Youjun<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China;

2. College of Information and Engineering, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

**Abstract:** Wax gourd seed oil was extracted from wax gourd seed by aqueous enzymatic method. Through single factor experiment the kind of enzyme, pH, enzymolysis time, enzymolysis temperature and ratio of material to liquid on the wax gourd seed oil extraction rate were studied, then the Box - Behnken experiment design was used to determine the optimal extraction conditions. The optimal conditions were obtained by response surface analysis as follows: with dextranase as the enzyme, ratio of material to liquid 1:6, enzymolysis time 6.1 h, dextranase dosage 3%, enzymolysis temperature 60 °C, pH 4.22. Under the optimal conditions, the wax gourd seed oil extraction rate reached 90.67%. The antioxidant activity in vitro results showed that the DPPH free radical scavenging rate, hydroxyl free radical scavenging rate and iron ion reducing power of wax gourd seed oil increased with the increasing of mass concentration, and the  $IC_{50}$  of DPPH free radical and hydroxyl free radical scavenging rates were 10.23 mg/mL and 0.39 mg/mL, respectively.

When the mass concentration of wax gourd seed oil reached 1.0 mg/mL, the hydroxyl free radical scavenging rate reached 98.84%, which was equivalent to the same mass concentration of  $V_C$ .

**Key words:** wax gourd seed oil; aqueous enzymatic method; extraction; antioxidation activity

收稿日期: 2019-07-17; 修回日期: 2019-11-17

基金项目: 四川省教育厅科研项目(17ZB0324); 2018年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目(201811552027); 川菜发展研究中心项目(CC16Z05); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室项目(HQPRKX2017Z03); 四川旅游学院2019年度科研创新团队项目(SCTUTP04); 四川旅游学院大学生科研项目(2017XKZ59)

作者简介: 吕秋冰(1988), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为食品加工与检测(E-mail)lvqiubing@126.com。

冬瓜(*Benincasa hispida* Cogn)属葫芦科一年生草本植物, 全国各地均有栽培<sup>[1]</sup>。冬瓜籽来源丰

富,且其中含有维生素 B<sub>1</sub>、皂苷、瓜氨酸、组氨酸、蛇麻脂醇、甘露醇等活性物质,冬瓜籽仅少数用于医药,大部分被丢弃,使冬瓜加工的经济效益降低。冬瓜籽的油脂含量高达 32%<sup>[2]</sup>,冬瓜籽油以不饱和脂肪酸为主,其中亚油酸含量高达 48.55%<sup>[3]</sup>,具有极高的利用价值。

油脂的提取方法主要有超声波法<sup>[3]</sup>、物理压榨法<sup>[4]</sup>、溶剂浸出法<sup>[5]</sup>、水酶法等<sup>[6]</sup>。压榨法出油率较低<sup>[7]</sup>;溶剂浸出法存在化学溶剂残留<sup>[7-8]</sup>;超声波法因投入成本大,生产能力受限<sup>[9]</sup>。目前,冬瓜籽油的提取工艺研究主要集中在超声波辅助提取法<sup>[3,10-11]</sup>上,利用水酶法提取冬瓜籽油尚未有报道。水酶法是通过生物破壁方式提取油脂,条件温和,有利于保留活性物质,且操作和设备要求简单,具有高效、绿色、安全的特点。

本研究运用响应面设计优化水酶法提取冬瓜籽油工艺,并对冬瓜籽油进行体外抗氧化活性研究,为冬瓜籽油的综合应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

冬瓜籽,市售,粉碎后备用; $\alpha$ -淀粉酶、葡聚糖酶、纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶,购于河南庆飞食品配料有限公司;盐酸、氢氧化钠、V<sub>C</sub>、铁氰化钾、三氯化铁、三氯乙酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、七水合硫酸亚铁、水杨酸、无水乙醇、1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH),均为分析纯。

DF-101S 电热恒温磁力搅拌器;DFY-C-400 粉碎机;H2050R 高速离心机;starter3C ST2100 pH 计;DGX-9243B-1 恒温干燥箱;FA1104N 电子分析天平;UABlueStarA 紫外可见分光光度计。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 冬瓜籽油的提取

准确称取冬瓜籽粉 10.0 g,按一定料液比加入蒸馏水,用 1.0 mol/L 的 HCl 溶液或 1.0 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH,加入酶制剂,在一定温度下酶解一定时间,100℃加热 30 min 灭酶,8 500 r/min 离心 20 min,吸取上层清油,称重,按下式计算提取率。

$$\text{提取率} = W_2/W_1 \times 100\%$$

式中:W<sub>1</sub>为冬瓜籽中油的质量;W<sub>2</sub>为酶解获得冬瓜籽油的质量。

#### 1.2.2 冬瓜籽油体外抗氧化活性研究

##### 1.2.2.1 DPPH 自由基清除能力的测定

参照文献[12]进行冬瓜籽油 DPPH 自由基清除能力的测定。按下式计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = [1 - (A_1 - A_2)/A_0] \times 100\%$$

式中:A<sub>1</sub>为样品溶液 + DPPH 溶液吸光度;A<sub>2</sub>为样品溶液 + 无水乙醇吸光度;A<sub>0</sub>为 DPPH 溶液 + 样品溶剂吸光度。

##### 1.2.2.2 羟基自由基清除能力的测定

参照文献[12]进行冬瓜籽油羟基自由基清除能力的测定。按下式计算羟基自由基清除率。

$$\text{羟基自由基清除率} = [1 - (A_1 - A_2)/A_0] \times 100\%$$

式中:A<sub>1</sub>为样品溶液 + FeSO<sub>4</sub> 溶液 + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液 + 水杨酸吸光度;A<sub>2</sub>为样品溶液 + FeSO<sub>4</sub> 溶液 + 蒸馏水 + 水杨酸吸光度;A<sub>0</sub>为样品溶剂 + FeSO<sub>4</sub> 溶液 + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液 + 水杨酸吸光度。

##### 1.2.2.3 总还原力的测定

参照文献[12]进行冬瓜籽油总还原力的测定。以吸光度表示铁离子还原力大小。

## 2 结果与分析

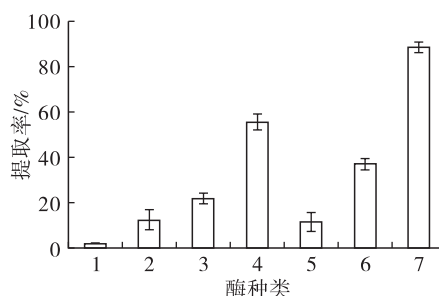
### 2.1 水酶法提取冬瓜籽油单因素试验

#### 2.1.1 酶种类对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,按料液比 1:6 加蒸馏水,调节 pH 至各酶的最适 pH,分别加入 3% (以冬瓜籽粉质量计,下同) $\alpha$ -淀粉酶、葡聚糖酶、纤维素酶、果胶酶、酸性蛋白酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶,在各自最适温度和最适 pH<sup>[10]</sup>(表 1)下酶解 6 h。酶种类对冬瓜籽油提取率的影响见图 1。

表 1 各酶最适温度及 pH

酶	最适温度/℃	最适 pH
纤维素酶	50	4.8
中性蛋白酶	48	6.9
酸性蛋白酶	45	7.5
果胶酶	50	3.0
碱性蛋白酶	50	8.0
$\alpha$ -淀粉酶	75	6.6
葡聚糖酶	60	4.2



注:1. 纤维素酶;2. 中性蛋白酶;3. 酸性蛋白酶;4. 果胶酶;5. 碱性蛋白酶;6.  $\alpha$ -淀粉酶;7. 葡聚糖酶。

图 1 酶种类对冬瓜籽油提取率的影响

由图 1 可看出,不同酶对于冬瓜籽油提取率都有一定的影响,其中葡聚糖酶对冬瓜籽油提取率的影响最大,其次是果胶酶和  $\alpha$ -淀粉酶,纤维素酶对

冬瓜籽油提取的效果甚微。分析原因可能是葡聚糖酶可以使冬瓜籽胚乳细胞壁中的 $\beta$ -葡聚糖分解,细胞壁破裂,使油脂分子很好地被释放出来。因此,以葡聚糖酶作为后续试验用酶。

### 2.1.2 葡聚糖酶添加量对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,在料液比 1:6、pH 4.2 下,分别加入 1%、2%、3%、4%、5% 葡聚糖酶,在 60℃ 下酶解 6 h,考察葡聚糖酶添加量对冬瓜籽油提取率的影响,结果见图 2。

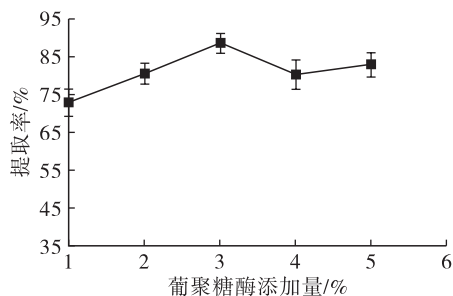


图 2 葡聚糖酶添加量对冬瓜籽油提取率的影响

由图 2 可看出,葡聚糖酶添加量小于 3% 时,随着葡聚糖酶添加量的增加,冬瓜籽油提取率呈明显上升趋势,在葡聚糖酶添加量为 3% 时冬瓜籽油提取率达到最高,为 89%,之后随葡聚糖酶添加量增大,冬瓜籽油提取率下降,可能是由于酶用量过多,使酶本身发生自溶反应。因此,最适的葡聚糖酶添加量为 3%。

### 2.1.3 料液比对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,分别在料液比 1:4、1:5、1:6、1:7、1:8, pH 4.2 下,加入 3% 葡聚糖酶,在 60℃ 下酶解 6 h,考察料液比对冬瓜籽油提取率的影响,结果见图 3。

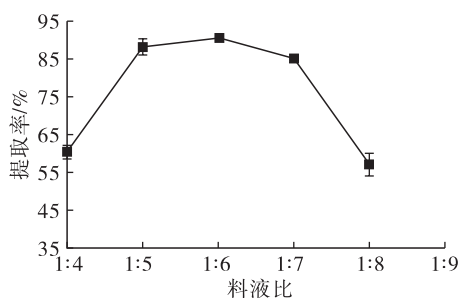


图 3 料液比对冬瓜籽油提取率的影响

由图 3 可看出,随着料液比的增加,冬瓜籽油提取率呈现升高趋势,当料液比为 1:6 时冬瓜籽油提取率最高,之后随料液比增加,冬瓜籽油提取率降低。料液比较低时,体系黏度大,酶与底物不能完全接触,反应不充分,冬瓜籽油提取率较低;料液比较高时,底物浓度降低,反应接触面积虽有增大,但是酶与底物

相互作用的机会降低,使酶的作用效果下降,所以在冬瓜籽油提取过程中料液比为 1:6 较适宜。

### 2.1.4 酶解时间对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,在料液比 1:6、pH 4.2 下加入 3% 葡聚糖酶,在 60℃ 下分别酶解 2、4、6、8 h,考察酶解时间对冬瓜籽油提取率的影响,结果见图 4。

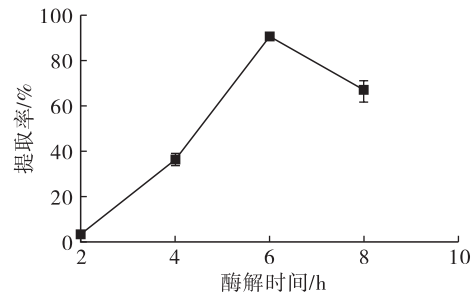


图 4 酶解时间对冬瓜籽油提取率的影响

由图 4 可看出,随着酶解时间的延长,冬瓜籽油提取率先增大后降低。酶解时间较短,葡聚糖酶与底物接触时间较短,未能充分反应,导致冬瓜籽油提取率较低;随着酶解时间的延长,酶对冬瓜籽细胞壁成分逐步分解破坏,使油脂分子充分暴露在环境中,进而有利于油脂的释放,所以冬瓜籽油提取率有所提高。但酶解时间过长,葡聚糖酶在长时间反应过程中活性降低,水与油脂形成的乳化现象也更加明显,导致冬瓜籽油提取率反而下降。因此,酶解时间选择 6 h 较好。

### 2.1.5 pH 对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,料液比 1:6,分别调节 pH 为 3.2、4.2、5.2、6.2,加入 3% 葡聚糖酶,在 60℃ 下酶解 6 h,考察 pH 对冬瓜籽油提取率的影响,结果见图 5。

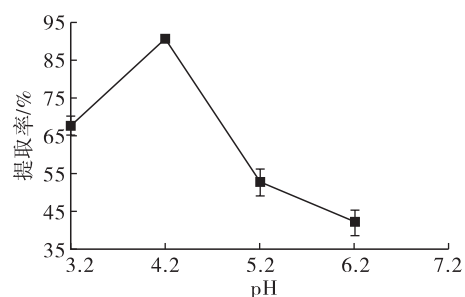


图 5 pH 对冬瓜籽油提取率的影响

由图 5 可知,随 pH 增大,冬瓜籽油提取率增大,在 pH 为 4.2 时,冬瓜籽油提取率最高,之后随 pH 增大,冬瓜籽油提取率降低。由于葡聚糖酶的最适反应 pH 为 4.2,此时酶处在高活力状态,反应速度较快,冬瓜籽油提取率最大。因此,pH 选择 4.2 为宜。

### 2.1.6 酶解温度对冬瓜籽油提取率的影响

称取 10.0 g 冬瓜籽粉,在料液比 1:6、pH 4.2

下,加入3%葡聚糖酶,分别在40、50、60、70℃下酶解6h,考察酶解温度对冬瓜籽油提取率的影响,结果见图6。

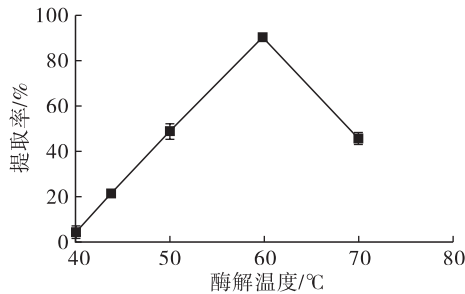


图6 酶解温度对冬瓜籽油提取率的影响

由图6可知:随酶解温度的升高,冬瓜籽油提取率呈现逐渐上升的趋势,60℃时,冬瓜籽油提取率最大,这是由于葡聚糖酶的最适酶解温度为60℃左右,酶处在高活力状态,反应速度提高,冬瓜籽油提取率升高;当酶解温度超过60℃后葡聚糖酶的活性降低,反应速率减弱,导致冬瓜籽油提取率下降。因此,酶解温度选择60℃为宜。

## 2.2 响应面优化试验

在单因素试验研究基础上,固定料液比1:6,葡聚糖酶添加量3%,以pH(A)、酶解时间(B)、酶解温度(C)为影响因素,冬瓜籽油提取率(Y)为响应值,以Box-Behnken设计三因素三水平共17个试验点的响应面试验,优化水酶法提取冬瓜籽油的工艺条件,响应面试验因素水平见表2,响应面试验设计与结果见表3,方差分析见表4。

表2 响应面试验因素水平

水平	pH	酶解时间/h	酶解温度/℃
-1	3.2	4	50
0	4.2	6	60
1	5.2	8	70

表3 响应面试验设计与结果

试验号	A	B	C	提取率/%
1	0	0	0	91.02
2	0	-1	-1	69.56
3	0	1	1	71.21
4	1	1	0	74.12
5	0	0	0	90.69
6	0	0	0	91.47
7	1	0	1	65.76
8	-1	1	0	72.34
9	1	0	-1	64.65
10	0	0	0	90.89
11	-1	0	1	65.08
12	0	-1	1	70.51
13	-1	-1	0	72.06

续表3

试验号	A	B	C	提取率/%
14	0	1	-1	70.34
15	1	-1	0	72.16
16	0	0	0	91.38
17	-1	0	-1	64.43

用Design-Expert 8.0.3对表3中的试验数据进行回归分析后得到响应面模型方程: $Y = 91.09 + 0.35A + 0.47B + 0.45C + 0.42AB + 0.12AC - 0.020BC - 11.92A^2 - 6.50B^2 - 14.19C^2$ 。

表4 响应面试验方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1 797.83	9	199.76	2 233.37	<0.000 1**
A	0.97	1	0.97	10.80	0.013 4*
B	1.73	1	1.73	19.34	0.003 2**
C	1.60	1	1.60	17.91	0.003 9**
AB	0.71	1	0.71	7.89	0.026 2*
AC	0.05	1	0.05	0.59	0.467 0
BC	1.60E-003	1	1.60E-003	0.02	0.897 4
A <sup>2</sup>	598.51	1	598.51	6 691.53	<0.000 1**
B <sup>2</sup>	177.76	1	177.76	1 987.39	<0.000 1**
C <sup>2</sup>	847.52	1	847.52	9 475.51	<0.000 1**
残差	0.63	7	0.09		
失拟项	0.19	3	0.06	0.59	0.652 0
纯误差	0.43	4	0.11		
合计	1 798.46	16			

注:\*\*表示 $P < 0.01$ ,差异极显著;\*表示 $P \leq 0.05$ ,差异显著。

由表4可看出:因素B、C具有极显著影响;因素A具有显著性影响;交互项AB影响显著,交互项AC、BC影响不显著。3个因素影响顺序为 $B > C > A$ ,即酶解时间>酶解温度>pH。模型 $P < 0.000 1$ ,具有极显著性差异,说明该设计模型具有统计学意义。失拟项 $P$ 为0.652 0( $> 0.05$ ),失拟项不显著,说明该模型可以客观良好地反映各个因素与提取率之间的关系。该模型的校正决定系数( $R^2_{Adj}$ )为0.999 2,说明该模型能解释99.92%响应值的变化;决定系数( $R^2$ )为0.999 7,说明该模型拟合程度良好,试验误差小,且变异系数(CV)为0.39,说明该模型的离散程度较小,变异程度低,具有统计学意义,能够正确反映冬瓜籽油提取率与酶解时间、酶解温度及pH之间的关系。因此,可以利用该回归方程预测冬瓜籽油的最佳提取工艺条件。

通过Design-Expert 8.0.3计算出该模型下理论冬瓜籽油提取率为91.10%,其理论试验条件为

pH 4.22、酶解时间 6.07 h、酶解温度 60.15 °C。因理论试验条件不易操控,故修正试验条件为 pH 4.22、酶解时间 6.1 h、酶解温度 60 °C,在此条件下进行验证试验,得到冬瓜籽油提取率为 90.67%,验证值与预测值相对误差为 0.47%,二者非常接近,说明试验得到的回归模型适用于冬瓜籽油水酶法提取条件的预测。

### 2.3 冬瓜籽油体外抗氧化活性

#### 2.3.1 DPPH 自由基的清除能力

DPPH 自由基较为稳定,当 DPPH 自由基与抗氧化剂反应时呈现颜色变化,其浓度与颜色深浅成正比,并在波长 517 nm 处有较好的吸收峰。自由基清除剂可与 DPPH 自由基的单电子配对,导致其在最大吸收波长处颜色变浅,吸光度也随之减小。DPPH 自由基清除率越高,表明该物质抗氧化能力越大<sup>[13]</sup>。冬瓜籽油及 V<sub>C</sub> 对 DPPH 自由基的清除能力分别见图 7、图 8。

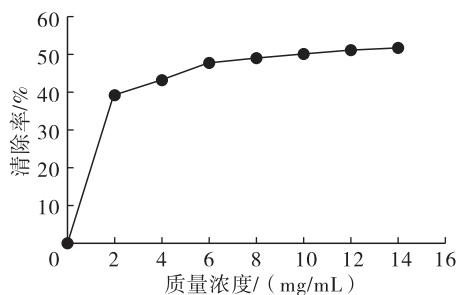


图 7 冬瓜籽油对 DPPH 自由基的清除能力

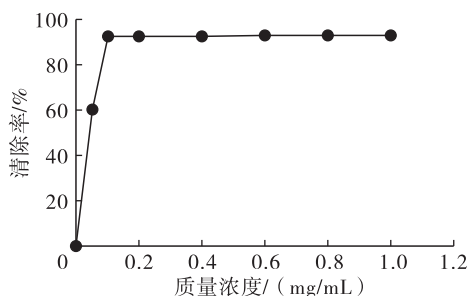


图 8 V<sub>C</sub> 对 DPPH 自由基的清除能力

由图 7 可知,冬瓜籽油有一定的清除 DPPH 自由基的能力,且随冬瓜籽油质量浓度增大,其对 DPPH 自由基清除率增大,但低于 V<sub>C</sub> 的(见图 8)。当冬瓜籽油质量浓度为 10 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基清除率仅有 49.95%,而 V<sub>C</sub> 质量浓度为 1 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基清除率已达 93.81%。通过 SPSS 22.0 计算出冬瓜籽油清除 DPPH 自由基的 IC<sub>50</sub> 为 10.23 mg/mL。

#### 2.3.2 羟基自由基的清除能力

在人体中,羟基自由基由于有极强的氧化能力,所以在羟基自由基过量的情况下,额外的羟基自由

基首先会对人体细胞中糖类、氨基酸、蛋白质等大分子造成伤害,从而使细胞出现死亡或突变的现象,进一步会导致人体出现衰老、产生一系列恶性疾病的状况,羟基自由基与还原剂反应后可在波长 510 nm 处呈现最高波峰。以 V<sub>C</sub> 为对照,冬瓜籽油对羟基自由基的清除能力见图 9。

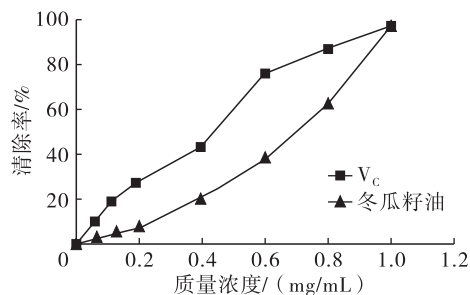


图 9 V<sub>C</sub> 与冬瓜籽油对羟基自由基的清除能力

由图 9 可知,冬瓜籽油对羟基自由基清除能力随其质量浓度的增加而增大,在质量浓度小于 1.0 mg/mL 时,冬瓜籽油对羟基自由基清除率低 V<sub>C</sub>,但在冬瓜籽油质量浓度为 1.0 mg/mL 时,其对羟基自由基清除率达到了 98.84%,接近于相同质量浓度下 V<sub>C</sub> 的。通过 SPSS 22.0 计算出冬瓜籽油清除羟基自由基的 IC<sub>50</sub> 为 0.39 mg/mL。比较冬瓜籽油对 DPPH 自由基与羟基自由基的 IC<sub>50</sub> 可以看到,冬瓜籽油对氧化性更强的羟基自由基有更好的清除效果。

#### 2.3.3 总还原力(见图 10、图 11)

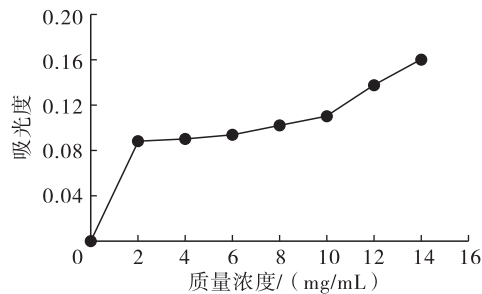


图 10 冬瓜籽油总还原力

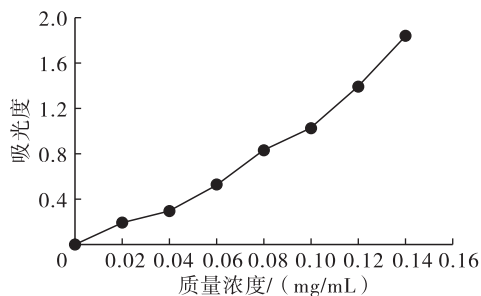


图 11 V<sub>C</sub> 总还原力

由图 10 可知,冬瓜籽油总还原力随冬瓜籽油质量浓度的增加而增大,但低于 V<sub>C</sub>(见图 11)。

## 3 结论

采用单因素试验和响应面试验对水酶法提取冬

瓜籽油工艺进行优化,得到最佳的工艺条件为:料液比1:6,酶解时间6.1 h,葡聚糖酶添加量3%,酶解温度60℃,pH 4.22。在最佳条件下,冬瓜籽油提取率为90.67%。体外抗氧化活性结果表明:水酶法提取的冬瓜籽油对DPPH自由基和羟基自由基具有较强的清除能力,对应的 $IC_{50}$ 分别为10.23 mg/mL和0.39 mg/mL,当冬瓜籽油的质量浓度达到1.0 mg/mL时,对羟基自由基清除率达到98.84%,清除效果相当于相同质量浓度的 $V_C$ ,对 $Fe^{3+}$ 有一定的还原能力,且还原能力随冬瓜籽油质量浓度增大而增强。

#### 参考文献:

- [1] 邹宇晓,徐玉娟,廖森泰,等. 冬瓜的营养价值及其综合利用研究进展[J]. 中国果菜,2006(5):46-47.
- [2] 吕秋冰,杨芳,戴得蓉,等. 冬瓜籽油的理化性质及成分分析[J]. 中国油脂,2018,43(3):90-93.
- [3] 周俊梅,张海龙,雷水娟,等. 超声波辅助提取冬瓜籽油工艺及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2017,42(9):20-23.
- [4] 魏贞伟,陈玉宏,王俊国. 压榨法生产葡萄籽油及精炼工

(上接第15页)

艺条件,得出夏威夷果油最佳提取工艺条件为液料比9:1、提取时间120 s、提取电压100 V,在此条件下夏威夷果油得率预测值达73.275%,验证实验平均油得率为73.04%,实测值与预测值相差0.235个百分点,说明该模型有效,对夏威夷果油的提取具有一定的理论指导意义。理化指标分析结果表明:夏威夷果油酸价(KOH)为1.20 mg/g、碘值(I)为88.32 g/100 g、皂化值(KOH)为188.67 mg/g、过氧化值为3.06 mmol/kg,达到食用植物油标准。

#### 参考文献:

- [1] 张玲,李雅美,钟罗宝,等. 云南夏威夷果油脂的提取及其理化性质分析[J]. 食品科学,2011,32(8):151-154.
- [2] 魏长宾,刘胜辉,臧小平,等. 澳洲坚果油脂脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂,2008,33(9):75-76.
- [3] 刘秋月. 澳洲坚果抗氧化活性成分的研究[D]. 广州:暨南大学,2016.
- [4] 冯学花,陶阿丽,谢伟,等. 木瓜籽油闪式提取工艺优化及不同产地木瓜籽得油率比较[J]. 中国油脂,2018,43(3):10-12,16.

艺实践[J]. 中国油脂,2015,40(2):16-18.

- [5] 杜宇,张文斌,杨瑞金,等. 乙醇水提法提取葡萄籽油及其品质分析[J]. 中国油脂,2019,44(5):8-12.
- [6] 刘颖,周利娟,王欣. 生物酶法提取葡萄籽油的工艺研究[J]. 食品科学,2006,27(12):519-520.
- [7] 耿鹏飞,刘家伟,胡传荣,等. 榛子油3种提取方法的对比及超临界 $CO_2$ 萃取工艺优化[J]. 中国油脂,2018,43(5):7-10.
- [8] 朱俊朋,王超,罗凡,等. 水酶法提取油茶籽油的工艺研究[J]. 中国油脂,2016,41(3):12-15.
- [9] 周末,张凌雁,于修焯,等. 蔗糖溶液辅助水剂法提取苦杏仁油的工艺研究[J]. 中国油脂,2017,42(12):6-9.
- [10] 吴少福,黎冬明,郑国栋,等. 超声辅助提取冬瓜籽油工艺的研究[J]. 中国粮油学报,2011,26(5):57-60.
- [11] 张伟光,邸凯,赵国君. 超声辅助水酶法提取冬瓜籽油的工艺研究[J]. 中国油脂,2017,42(11):12-15.
- [12] 周婷,蒲彪,姜欢笑,等. 藤椒油体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2014,35(21):58-62.
- [13] 赵二芳,徐芬,尹爱萍,等. 沙棘果油与沙棘籽油脂肪酸组成及其抗氧化活性[J]. 中国油脂,2017,42(12):120-123.

- [5] 周晴芬,徐洲,魏岚,等. 4种油茶籽油中多酚类物质的抗氧化活性比较研究[J]. 中国油脂,2014,39(1):35-38.
- [6] JANG S, LEE A Y, LEE A R, et al. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of glycyrrhizic acid from licorice using response surface methodology [J]. Int Med Res, 2017, 6(4):388-394.
- [7] 冯学花,张国升,陶阿丽,等. 响应面法优化厚朴中和厚朴酚与厚朴酚的提取工艺研究[J]. 植物研究,2014,34(1):103-107,113.
- [8] 刘瑞林,余佩,陈国宁,等. 响应曲面法优化超声-微波协同提取澳洲坚果油的工艺研究[J]. 西北药学杂志, 2017, 32(6):718-722.
- [9] 张风波,罗光明,肖日传,等. 响应面法优化栀子油提取工艺研究[J]. 中国油脂,2017,42(12):10-12,39.
- [10] 何念武,张双奇,王新军. 响应面法优化超声辅助提取桔梗多糖工艺[J]. 广西林业科学,2017,46(4):380-385.
- [11] 袁源见,罗光明,魏春华,等. 响应面优化超声波提取栀子油脂工艺研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2016, 18(7):1206-1211.