

# 响应面法优化漆籽油提取工艺 及其抗氧化活性研究

周昊<sup>1,2</sup>, 薛兴颖<sup>1,2</sup>, 叶建中<sup>1,2</sup>, 王成章<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 生物质化学利用国家工程实验室, 国家林业和草原局林产化学工程重点实验室, 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 南京210042; 2. 南京林业大学江苏省林业资源高效加工利用协同创新中心, 南京210037)

**摘要:**以秦巴山区漆籽为原料, 采用溶剂(石油醚)浸提法从其种仁中提取漆籽油, 在单因素试验的基础上, 采用响应面法优化漆籽油提取工艺, 对漆籽油的理化性质进行分析, 采用气质联用分析漆籽油的脂肪酸组成, 并评价其抗氧化活性。结果表明: 漆籽油的最优提取工艺条件为提取温度70℃、提取时间60 min、液料比10:1、提取次数2次, 在此条件下漆籽油提取率为96.14%; 漆籽油相对密度为0.925 8, 折光指数(20℃)为1.467 2, 碘值(I)为146.83 g/100 g, 酸值(KOH)为2.58 mg/g, 过氧化值为3.62 mmol/kg, 皂化值(KOH)为185.36 mg/g; 漆籽油主要含有油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和棕榈油酸6种脂肪酸, 不饱和脂肪酸含量达86.10%, 以油酸和亚油酸为主, 二者含量达到82.17%; 漆籽油对DPPH、ABTS及羟自由基的半数清除浓度(IC<sub>50</sub>)分别为35.38、41.29、38.52 mg/L, 具有与维生素C相当的抗氧化活性。

**关键词:**漆籽油; 溶剂提取; 响应面优化; 理化性质; 脂肪酸组成; 抗氧化活性

中图分类号: TQ645.1; O657.65 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)09-0005-06

## Optimization of extraction technology of lacquer seed oil by response surface methodology and its antioxidant activity

ZHOU Hao<sup>1,2</sup>, XUE Xingying<sup>1,2</sup>, YE Jianzhong<sup>1,2</sup>, WANG Chengzhang<sup>1,2</sup>

(1. Jiangsu Key Lab. of Biomass Energy and Material, Key Lab. of Chemical Engineering of Forest Products of National Forestry and Grassland Administration, National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization, Institute of Chemical Industry of Forest Products, Chinese Academy of Forestry, Nanjing 210042, China; 2. Jiangsu Co-Innovation Center of Efficient Processing and Utilization of Forest Resources, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Lacquer seed oil was extracted from kernel of lacquer seeds from Qinba Mountain by solvent (petroleum ether) extraction. On the basis of single factor experiment, response surface methodology was used to optimize the extraction process of lacquer seed oil. The physicochemical indexes of lacquer seed oil were analyzed, and the fatty acid composition of lacquer seed oil was analyzed by GC-MS, its antioxidant activity was also evaluated. The results showed that the optimal extraction process of lacquer seed oil were obtained as follows: extraction temperature 70℃, extraction time 60 min, liquid-material

ratio 10:1, extraction times twice. Under the optimal conditions, the extraction rate of lacquer seed oil was 96.14%. The relative density, refractive index (20℃), iodine value, acid value, peroxide value and saponification value of lacquer seed oil were 0.925 8, 1.467 2, 146.83 g/100 g, 2.58 mgKOH/g, 3.62 mmol/kg and 185.36 mgKOH/g, respectively. Lacquer seed

收稿日期: 2020-09-16; 修回日期: 2021-05-25

基金项目: 中国林科院基本科研业务费专项资金(CAFYBB2018ZB009)

作者简介: 周昊(1982), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为天然产物化学与利用(E-mail) zhouhaolhs@163.com。

通信作者: 王成章, 研究员, 博士(E-mail) wangczlhs@sina.com。

oil mainly contained six kinds of fatty acids including oleic acid, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid and palmitoleic acid, and the content of unsaturated fatty acids reached up to 86.10%, in which the content of oleic acid and linoleic acid reached 82.17%. The  $IC_{50}$  of lacquer seed oil for DPPH, ABTS and hydroxyl radicals were 35.38, 41.29 mg/L and 38.52 mg/L, showing equivalent antioxidant activity with vitamin C.

**Key words:** lacquer seed oil; solvent extraction; response surface methodology optimization; physico-chemical index; fatty acid composition; antioxidant activity

漆籽是我国重要经济林树种漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*) 的种子<sup>[1]</sup>, 我国漆籽年产量约 200 万 t。漆籽可以分为漆籽皮和漆籽种仁, 漆籽皮中主要含有漆蜡。漆籽油是从漆籽种仁中提取的油脂, 为黄色透明状的液体, 具有特有的香气。漆籽油富含不饱和脂肪酸, 主要为亚油酸和油酸<sup>[2-3]</sup>。研究表明, 漆籽油具有调节血脂、消炎止痛、降低胆固醇、活血化瘀、提神补气、延缓衰老等保健功能和护肤功效, 在功能食品和化妆品领域具有很好的应用前景<sup>[4-6]</sup>。目前国内漆籽加工主要以加工漆蜡为主, 漆籽油加工利用很少, 造成资源严重浪费。传统的漆籽油制取方法主要为土榨法和机榨法, 漆籽油得率仅为 12%~15%<sup>[1]</sup>, 技术低下, 不仅饼渣中残油率高, 而且漆籽油产品含水分和杂质较多, 外观呈深褐色或黑色, 由于加工时皮仁不分, 蜡和油混合在一起, 分离困难, 产品质量差<sup>[7]</sup>。目前, 虽然已有关于漆籽油提取及理化性质<sup>[4-6]</sup>的研究, 但缺少对漆籽油工艺、品质指标及抗氧化活性的系统研究。

本研究以秦巴山区漆籽为原料, 首先进行皮仁分离, 然后采用溶剂浸提法从漆籽种仁中提取漆籽油, 以漆籽油提取率为考察指标, 在单因素试验基础上, 采用 Box-Behnken 响应面分析对影响提取工艺的主要参数进行优化, 确定最佳的提取工艺条件, 对制备的漆籽油脂脂肪酸组成和理化性质进行检测, 并对漆籽油的抗氧化活性进行评价, 以期为漆籽油在日化产品及保健品的开发应用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

漆籽, 陕西秦乔农林生物科技有限公司; DPPH、ABTS、维生素 C, 阿拉丁试剂上海有限公司; 石油醚、氢氧化钾、盐酸、氢氧化钠、硫代硫酸钠、冰乙酸、淀粉、一氯化碘、碘化钾、浓硫酸、酚酞、无水硫酸钠等, 均为分析纯。

Agilent Technologies 6890/5973 型气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦公司; WYA 阿贝折光仪, 上

海精密科学仪器有限公司; BSA224S 型电子天平, 德国赛多利斯公司; RE-2000A 型旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 漆籽油的提取

将漆籽脱皮, 种仁粉碎, 过 0.380 mm 目筛, 取一定量漆籽仁粉加入石油醚, 在一定温度下热回流提取一定时间后, 提取液过滤, 减压回收溶剂, 得到漆籽油。

#### 1.2.2 漆籽油理化性质的测定

相对密度, 采用比重瓶法, 按 GB/T 5518—2008 测定; 折光指数, 采用阿贝折光仪法, 按 GB/T 5527—2010 测定; 酸值, 采用酸碱中和法, 按 GB 5009.229—2016 测定; 碘值, 采用韦氏法, 按 GB/T 5532—2008 测定; 皂化值, 按 GB/T 5534—2008 测定; 过氧化值, 按 GB 5009.227—2016 测定。

#### 1.2.3 漆籽油脂脂肪酸组成的测定

漆籽油甲酯化: 称取 0.1 g 漆籽油置于试管中, 加入 5 mL 正己烷、2 mL 0.5% 的氢氧化钾甲醇溶液后, 塞住试管摇匀, 直至溶液变清, 将上层进气相色谱-质谱联用仪分析。

气相色谱条件: HP-5MS 弹性石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 进样口温度 250 °C; 柱温程序为初始温度 110 °C, 保持 10 min, 以 10 °C/min 速率升至 220 °C, 保持 18 min; 柱前压 90 kPa; 载气为纯度 99.99% 的氦气; 分流比 50:1; 进样量 1 μL。

质谱条件: 接口温度 280 °C, EI 离子源, 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 光电倍增管电压 2 200 V, 扫描范围 ( $m/z$ ) 29~450。

采用 NIST 标准谱库进行定性, 并通过色谱峰面积归一化法计算各脂肪酸的相对含量。

#### 1.2.4 漆籽油抗氧化活性的测定

##### 1.2.4.1 DPPH 自由基清除能力<sup>[8]</sup>

用无水乙醇配制质量浓度分别为 5、10、20、40、60、80、100 mg/L 的漆籽油溶液, 精密吸取 0.2 mL

漆籽油溶液与4 mL 0.2 mmol/L的DPPH乙醇溶液混合均匀,避光反应30 min后,在517 nm下测定吸光度( $A_1$ )。空白组以0.2 mL乙醇溶液代替漆籽油溶液,其他操作不变,测定吸光度( $A_2$ );阳性对照组以0.2 mL系列质量浓度的维生素C溶液代替漆籽油溶液,其他操作不变。计算样品对DPPH自由基的清除能力,并求出半数清除浓度( $IC_{50}$ )。按下式计算DPPH自由基清除率( $x_1$ )。

$$x_1 = (1 - A_1/A_2) \times 100\% \quad (1)$$

#### 1.2.4.2 ABTS 自由基清除能力<sup>[9]</sup>

取5 mL 7 mmol/L ABTS溶液与88  $\mu$ L 140 mmol/L过硫酸钾溶液混合,室温、避光静置15 h后,用超纯水稀释至溶液在734 nm波长下吸光度约为0.7,即得ABTS<sup>+</sup>溶液。用无水乙醇配制质量浓度分别为5、10、20、40、60、80、100 mg/L的漆籽油溶液,精密吸取0.2 mL漆籽油溶液与2 mL ABTS<sup>+</sup>溶液混合均匀,避光反应10 min后,在734 nm下测定吸光度( $A_1$ )。空白组以0.2 mL乙醇溶液代替漆籽油溶液,其他操作不变,测定吸光度( $A_2$ );阳性对照组以0.2 mL系列质量浓度的维生素C溶液代替漆籽油溶液,其他操作不变。计算样品对ABTS自由基的清除能力,并求出 $IC_{50}$ 。按下式计算ABTS自由基清除率( $x_2$ )。

$$x_2 = (1 - A_1/A_2) \times 100\% \quad (2)$$

#### 1.2.4.3 羟自由基清除能力<sup>[10]</sup>

用无水乙醇配制质量浓度分别为5、10、20、40、60、80、100 mg/L的漆籽油溶液。在10 mL比色管中分别加入1.0 mL漆籽油溶液,1.0 mL浓度为2 mmol/L的水杨酸乙醇溶液,1.2 mL浓度为1.0 mmol/L的FeSO<sub>4</sub>溶液以及1.0 mL浓度为2.0 mmol/L的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液,反应0.5 h后,在580 nm下测定吸光度( $A_1$ )。空白组以1.0 mL蒸馏水代替漆籽油溶液,其他操作不变,所得吸光度为 $A_2$ ;阳性对照组以0.2 mL系列浓度的维生素C溶液代替漆籽油溶液,其他操作不变。不加过氧化氢时580 nm处的吸光度为 $A_3$ 。计算样品对羟自由基的清除能力,并求出 $IC_{50}$ 。按下式计算羟自由基清除率( $x_3$ )。

$$x_3 = [1 - (A_1 - A_3)/A_2] \times 100\% \quad (3)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 漆籽油提取工艺的单因素试验

#### 2.1.1 提取温度对漆籽油提取率的影响

在液料比10:1、提取时间60 min、提取次数2次条件下,考察不同提取温度对漆籽油提取率的影响,结果见图1。

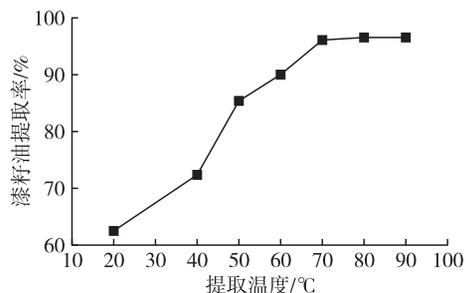


图1 提取温度对漆籽油提取率的影响

由图1可知,随着提取温度的升高,漆籽油提取率增大,当提取温度为70°C时,漆籽油提取率达到96.12%,再提高提取温度,漆籽油提取率基本不再增加。温度对提取溶剂石油醚的沸腾和流动性具有很大影响,随着温度的升高石油醚黏度减小,扩散系数增加,石油醚可与漆籽充分接触,漆籽油提取率提高<sup>[11-12]</sup>,当温度达到石油醚沸点,溶剂的流动性和扩散系数改变较少,漆籽油提取率增加较少。因此,提取温度优选为70°C。

#### 2.1.2 提取时间对漆籽油提取率的影响

在液料比10:1、提取温度70°C、提取次数2次条件下,考察不同提取时间对漆籽油提取率的影响,结果见图2。

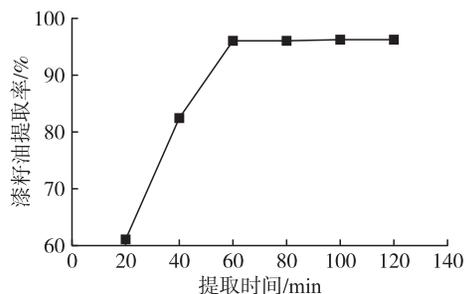


图2 提取时间对漆籽油提取率的影响

由图2可知,随着提取时间的延长,漆籽油提取率呈上升趋势,60 min时达到96.04%,继续延长提取时间,漆籽油提取率基本不变。漆籽油的溶出量与提取时间密切相关,提取时间过短会使提取不够充分,达到一定提取时间后漆籽油基本被溶解出来,再延长提取时间提取率也不会再增加<sup>[8-9]</sup>。因此,提取时间优选为60 min。

#### 2.1.3 液料比对漆籽油提取率的影响

在提取温度70°C、提取时间60 min、提取次数2次条件下,考察不同液料比对漆籽油提取率的影响,结果见图3。

由图3可知,随着石油醚用量的增加,漆籽油提取率呈现上升趋势,在液料比10:1时漆籽油提取率达到96.12%,继续增加液料比漆籽油提取率变化不大。原因可能是随着溶剂用量的增加,漆籽油溶解

量增加,漆籽油提取率升高;但是溶剂用量达到一定程度后漆籽油基本被溶解出来,再增加溶剂用量漆籽油提取率也不会再增加。因此,液料比优选为 10:1。

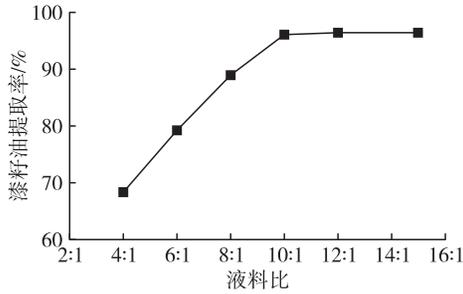


图3 液料比对漆籽油提取率的影响

#### 2.1.4 提取次数对漆籽油提取率的影响

在液料比 10:1、提取温度 70℃、提取时间 60 min 条件下,考察不同提取次数对漆籽油提取率的影响,结果见图 4。

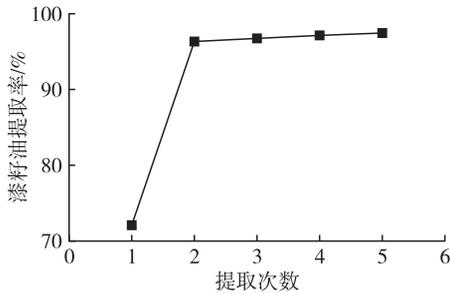


图4 提取次数对漆籽油提取率的影响

由图 4 可知,提取 1 次时,漆籽油提取率为 72.13%,提取 2 次时,漆籽油提取率达到 96.38%。2 次提取几乎把漆籽油提取完全,再增加提取次数,漆籽油提取率变化不大。从生产成本及可操作性等方面综合考虑,选择提取 2 次较为合适。

### 2.2 漆籽油提取工艺的响应面优化

#### 2.2.1 回归模型的建立和显著性检验

在单因素试验基础上,固定提取次数 2 次,根据 Box - Behnken 试验设计原理,采用 Box - Behnken 模型,以漆籽油提取率( $Y$ )为指标,选取提取温度( $A$ )、液料比( $B$ )、提取时间( $C$ )为因素,设计三因素三水平共 17 个试验,其中包括 13 个析因试验和 4 个零点试验。响应面试验设计及结果见表 1,回归模型方差分析见表 2。

表 1 响应面试验设计及结果

试验号	A 提取温度/℃	B 液料比	C 提取时间/min	漆籽油提取率/%
1	70	10:1	60	95.85
2	60	12:1	60	89.18
3	70	8:1	70	90.27
4	70	10:1	60	96.13
5	60	10:1	50	88.14

续表 1

试验号	A 提取温度/℃	B 液料比	C 提取时间/min	漆籽油提取率/%
6	60	10:1	70	92.15
7	70	10:1	60	96.74
8	70	12:1	70	92.01
9	80	10:1	70	93.13
10	80	12:1	60	91.29
11	70	10:1	60	96.46
12	70	10:1	60	96.02
13	80	8:1	60	89.16
14	80	10:1	50	88.12
15	60	8:1	60	87.16
16	70	8:1	50	86.05
17	70	12:1	50	88.03

表 2 回归模型方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F	P
模型	9	210.03	23.34	87.90	<0.000 1**
A	1	3.21	3.21	12.10	0.010 3*
B	1	7.74	7.74	29.16	0.001 0**
C	1	37.07	37.07	139.61	<0.000 1**
AB	1	0.003	0.003	0.01	0.918 0
AC	1	0.25	0.25	0.94	0.364 2
BC	1	0.01	0.01	0.05	0.822 5
A <sup>2</sup>	1	34.77	34.77	130.97	<0.000 1**
B <sup>2</sup>	1	73.17	73.17	275.61	<0.000 1**
C <sup>2</sup>	1	37.42	37.42	140.95	<0.000 1**
残差	7	1.86	0.27		
失拟项	3	1.35	0.45	3.52	0.128 0
纯误差	4	0.51	0.13		
总计	16	211.89			

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

利用 Design - expert 10.0.3 软件对表 1 数据进行回归分析,得到二次多项回归方程: $Y = -268.725 + 3.923A + 21.419B + 3.648C + 0.001 44B + 0.002 5 AC - 0.003BC - 0.029A^2 - 1.042B^2 - 0.030C^2$ 。从表 2 可以看出,模型的  $P$  值小于 0.000 1,表明该模型极显著。模型的信噪比为 26.181,说明该模型可用于预测;修正决定系数( $R^2_{Adj}$ )为 98.00%,表明总变异中仅有 2.00% 不能用该模型解释;决定系数( $R^2$ )为 99.12%,表明漆籽油提取率的预测值与实际值之间具有较好的拟合度。失拟项的  $P$  值为 0.128 0,不显著,也说明使用模型拟合的效果较好。因此,该模型可用于分析、预测漆籽油的实际提取率。

从表 2 还可以看出,一次项中  $A$  回归系数显著, $B$  和  $C$  的回归系数极显著,说明提取温度、液料比和提

取时间对漆籽油提取率有显著影响。交互项  $AB$ 、 $AC$  和  $BC$  不显著,二次项中  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  达到极显著水平。

### 2.2.2 最优提取工艺条件的确定及模型的验证

由分析软件可直接得出漆籽油最优提取工艺条件为提取温度  $66.916\text{ }^\circ\text{C}$ 、提取时间  $66.665\text{ min}$ 、液料比  $10.426:1$ ,在此条件下漆籽油提取率为  $95.84\%$ 。考虑到实际可操作性,将最优工艺条件调整为提取温度  $70\text{ }^\circ\text{C}$ 、提取时间  $60\text{ min}$ 、液料比  $10:1$ ,

表3 漆籽油的理化性质

相对密度	折光指数(20℃)	酸值(KOH)/(mg/g)	碘值(I)/(g/100 g)	皂化值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)
0.925 8	1.467 2	2.58	146.83	185.36	3.62

表4 漆籽油脂肪酸组成及相对含量

脂肪酸	相对含量/%
硬脂酸	3.36
棕榈酸	10.15
亚麻酸	2.26
亚油酸	60.75
油酸	21.42
棕榈油酸	1.67

由表3可知,漆籽油的相对密度较高,说明漆籽油的平均相对分子质量较大,漆籽油的碘值(I)为  $146.83\text{ g}/100\text{ g}$ ,碘值偏高,表明漆籽油不饱和程度高,应尽量在避光、低温、密封的条件下保存,防止漆籽油发生氧化酸败。折光指数一般是随脂肪酸双键和共轭程度的增大而增大<sup>[13]</sup>,漆籽油折光指数(20℃)为  $1.4672$ ,表明其可能含有不饱和共轭双键。漆籽油过氧化值较低,表明其在提取过程中氧化程度较低。漆籽油酸值较低,表明漆籽油未酸败,品质较好。

由表4可知,漆籽油主要鉴定出6种脂肪酸,占总量的  $99.61\%$ ,其中饱和脂肪酸主要为棕榈酸和硬脂酸,含量分别为  $10.15\%$  和  $3.36\%$ ,不饱和脂肪酸含量高达  $86.10\%$ ,主要为油酸和亚油酸,二者含量达到  $82.17\%$ 。油酸和亚油酸具有抗氧化、抗癌、改善血液循环、促进肝细胞再生、增强记忆、延缓衰老、抑制人体内胆固醇合成等多种功效<sup>[14-15]</sup>,可见漆籽油不仅营养价值丰富,还具有保健功能。

### 2.4 漆籽油的抗氧化活性

漆籽油对 DPPH、ABTS 及羟自由基的清除能力如图5~图7所示。

由图5~图7可以看出,漆籽油对3种自由基均具有很好的清除作用,自由基清除率均随着漆籽油质量浓度的增加而增大。半数清除浓度( $IC_{50}$ )是指自由基被清除一半所需要的抗氧化剂的浓度,常用来表征抗氧化能力的大小。 $IC_{50}$  越小,抗氧化剂

在此条件下重复试验3次,所得漆籽油提取率分别为  $96.06\%$ 、 $96.48\%$  和  $95.87\%$ ,平均值为  $96.14\%$ ,与预测值的误差小于  $0.5\%$ 。说明由响应面法所得的漆籽油提取条件可靠。

### 2.3 漆籽油理化性质和脂肪酸组成

在最优工艺条件下提取漆籽油,测定其理化性质和脂肪酸组成,结果分别见表3、表4。

的抗氧化效果越强。漆籽油对 DPPH、ABTS 及羟自由基的  $IC_{50}$  分别为  $35.38$ 、 $41.29$ 、 $38.52\text{ mg/L}$ 。维生素 C 对 DPPH、ABTS 及羟自由基的  $IC_{50}$  分别为  $35.6$ 、 $41.56$ 、 $38.64\text{ mg/L}$ 。通过比较看出,漆籽油对3种自由基的清除率与维生素 C 差别不大,表明漆籽油具有与维生素 C 相当的抗氧化活性。

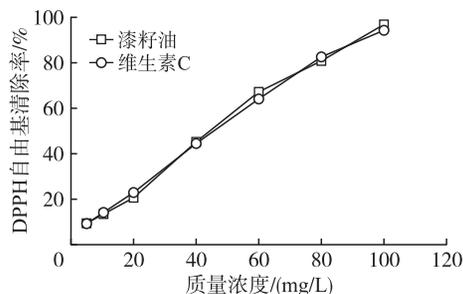


图5 不同质量浓度的漆籽油和维生素 C 对 DPPH 自由基的清除率

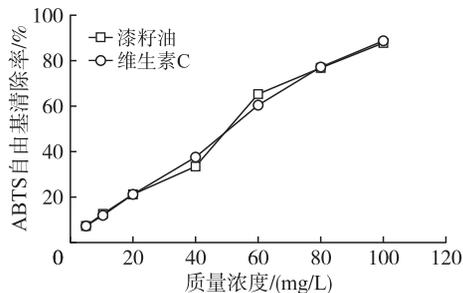


图6 不同质量浓度的漆籽油和维生素 C 对 ABTS 自由基的清除率

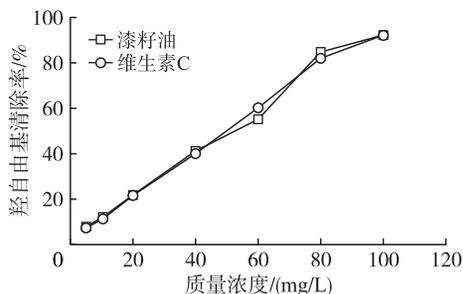


图7 不同质量浓度的漆籽油和维生素 C 对羟自由基的清除率

### 3 结 论

以秦巴山区漆籽为原料,采用溶剂(石油醚)浸提法提取漆籽油,在单因素试验的基础上,采用响应面法优化了漆籽油提取工艺,并对漆籽油的理化性质、脂肪酸组成及抗氧化活性进行考察。结果表明:漆籽油最优提取工艺条件为提取温度 70℃、提取时间 60 min、液料比 10:1、提取次数 2 次,在此条件下漆籽油提取率为 96.14%;漆籽油的相对密度为 0.925 8,折光指数(20℃)为 1.467 2,碘值(I)为 146.83 g/100 g,酸值(KOH)为 2.58 mg/g,过氧化值为 3.62 mmol/kg,皂化值(KOH)为 185.36 mg/g;漆籽油主要含有油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和棕榈油酸 6 种脂肪酸,不饱和脂肪酸含量达 86.10%,以油酸和亚油酸为主,二者含量达到 82.17%;漆籽油对 DPPH、ABTS 及羟自由基的 IC<sub>50</sub> 分别为 35.38、41.29、38.52 mg/L,具有与维生素 C 相当的抗氧化活性。

#### 参考文献:

- [1] 王佳,王森,邵凤侠,等. 漆树籽油开发利用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2):137-146.
- [2] 董艳鹤,王成章,叶建中,等. 漆籽油的物化特征分析[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(4):28-32.
- [3] 张宇思,姜洪芳,肖正春. 漆树籽植物资源及其开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(6):1-4.
- [4] 胡亿明. 漆树种子油的提取工艺及理化性质研究[D].

- 长沙:中南林业科技大学,2010.
- [5] 杨开泰,付尚文,李俊燕. 漆树籽油的提取及理化性能分析[J]. 中国生漆, 2013, 32(3):33-35.
- [6] 唐丽,王森,傅超凡,等. 野漆树籽油提取工艺条件的优化[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(9):198-200.
- [7] 王成章,朱正明. 我国漆籽资源的现状及开发利用前景[J]. 林业科技开发, 2001, 15(1):9-11.
- [8] 张乐宏,刘静,邓阳,等. 梧桐籽抗氧化活性成分提取工艺的优化[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2019, 36(3):192-199.
- [9] 沈悦,何雨,崔文丽,等. 姜油提取及其抗氧化性能研究[J]. 长春工业大学学报, 2020, 41(4):405-411.
- [10] 胡翠珍,李胜,马绍英,等. 响应面试验优化葡萄籽油提取工艺及其抗氧化性[J]. 食品科学, 2015, 36(20):56-61.
- [11] 孟陆丽,程谦伟. 蚕蛹油的提取及其氧化稳定性分析[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(3):535-537.
- [12] 周昊,王成章,叶建中,等. 银杏叶总黄酮的负压沸腾提取工艺[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(6):128-132.
- [13] 李若,李绍鹏,吴凡,等. 响应面优化油梨油提取工艺及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(3):251-257.
- [14] 耿敬章,刘军海. 香樟籽油的响应面优化提取及其抗氧化研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(2):57-61.
- [15] 周昊,王成章,叶建中,等. 亚临界萃取白果油的工艺条件研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(3):72-76.

## 讣 告

惊闻刘大川教授于 2021 年 8 月 6 日上午 9 时 30 分不幸因病去世,中国粮油学会油脂分会对刘大川教授的离去表示沉痛的哀悼,并对其家属表示深切的慰问。

刘大川,男,1943 年 2 月生,湖南省会同县人,中共党员,武汉轻工大学(原武汉工业学院)二级教授,原副校长。

刘大川教授 1965 年 7 月毕业于无锡轻工业学院食品工程系油脂工学专业,曾历任中国粮油学会油脂分会第一届、第二届理事会的常务理事,第三届至第七届理事会副会长职务,是我国知名的油脂专家。刘大川教授先后编著出版了《植物蛋白工艺学》等多部专著;主持完成的《油料低温制油及蛋白深加工技术的研究与应用》获 2007 年国家科技进步二等奖,并多次获得省部级科技奖。刘大川教授是一名优秀的中国共产党党员,对待油脂事业认真真,勤勤恳恳,任劳任怨,为我国油脂行业的科技创新和长远发展做出了重要贡献。生活中刘大川教授平易近人,谦虚谨慎,为人忠厚。刘大川教授深受所有同行的尊敬和好评。我们为失去这位优秀的老专家、老领导感到万分的痛心,他的优良品质将得到继续发扬,他献身事业的精神永垂不朽。

沉痛悼念刘大川教授!

中国粮油学会油脂分会  
2021 年 8 月 6 日