

超声辅助酶法提取漆蜡工艺优化和理化性质研究

丁林玲^{1,3}, 胡江苗³, 刘洪均³, 包誉³, 李晓珏^{2*}, 华燕^{1*}

¹西南林业大学 西南山地森林资源保育与利用教育部重点实验室, 昆明 650224;

²云南农业大学马克思主义学院, 云南 昆明 650200; ³中国科学院昆明植物研究所, 昆明 650201

摘要: 本实验利用超声辅助酶法提取漆树籽中漆蜡并鉴定其中的脂肪酸成分, 旨在实现漆树籽资源的综合利用。实验考察了加酶量、超声功率、超声时间、超声温度、酶解时间和 pH 等因素对漆蜡提取率的影响, 进一步以响应面实验设计优化漆蜡的提取工艺参数。利用气相色谱-质谱联用分析漆蜡化学组成及相对含量, 并测定其理化性质。结果表明, 最佳工艺参数为: 加酶量 2.5%、酶解时间 50 min、超声功率 225 W、超声时间 25 min、超声温度 45 °C、pH 4.5, 在此条件下漆蜡的提取率为 33.93%。漆蜡组成成分、理化性质与文献报道的基本一致, 主要包括棕榈酸、油酸和硬脂酸等长链脂肪酸。实验证明利用超声辅助酶法提取得到的漆蜡, 可为漆树籽的资源综合利用提供参考。

关键词: 漆; 漆蜡; 超声波辅助提取; 酶法; 响应面法; 气相色谱质谱联用

中图分类号: TQ645.1; S565.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2023) Suppl-0084-09

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2023.S.011

Optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction of lacquer wax and its physicochemical property

DING Lin-ling^{1,3}, HU Jiang-miao³,

LIU Hong-jun³, BAO Yu³, LI Xiao-jue^{2*}, HUA Yan^{1*}

¹Key Laboratory for Forest Resources Conservation and Utilisation in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

²College of Marxism, Yunnan Agricultural University, Kunming 650200, China;

³Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China

Abstract: In this experiment, ultrasound-assisted enzyme method was used to extract lacquer wax from lacquer seeds, and the composition of its fatty acid composition was also identified in order to realize comprehensive utilization of lacquer seed resources. Firstly, this experiment has observed the effects of enzyme dosage, ultrasonic power, ultrasonic time, ultrasonic temperature, enzymatic hydrolysis time and pH on the extraction rate of lacquer wax, to further response the extraction technique parameters faced with experiment design optimization lacquer wax. Gas chromatography-mass spectrometer was used to analyze the compositions and relative contents of lacquer wax, and its physicochemical property were determination. The results showed that the optimum extraction parameters were as follows: enzyme dosage was 2.5%, enzymatic hydrolysis time was 50 min, ultrasonic power was 225 W, ultrasonic time was 25 min, ultrasonic temperature was 45 °C, pH 4.5, enzymatic hydrolysis time was 50 min. Under this condition, the extraction rate of lacquer wax was 33.93%. The composition and physicochemical property of lacquer wax were basically consistent with those reported in literature, and the composition mainly included long chain fatty acids, such as palmitic acid, oleic acid and stearic acid. The experiment has proved that lacquer wax extracted by ultrasound-assisted enzymatic method could provide a reference for the resources comprehensive utilization of lacquer seed.

Key words: *Toxicodendron vernicifluum*; lacquer wax; ultrasonic-assisted extraction; enzymic method; response surface method; GC-MS

漆 *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkl. 是漆树科 Anacardiaceae 漆树属 *Toxicodendron* 落叶乔木, 是亚洲独有树种、我国特有经济林树种,

收稿日期: 2022-12-07

接受日期: 2023-02-10

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2017YFD0201402)

* 通信作者 E-mail: 3416157@qq.com, huayan1216@163.com

又名漆树、干漆、大木漆、小木漆、山漆等^[1,2]。漆原产于我国,在公元 710 ~ 780 年传入日本,而后又传入东南亚。在我国分布广泛,人工种植等因素使得漆在我国云南、贵州、四川、湖北、陕西等地资源量大,相关制品例如生漆和漆树籽的产量都位居世界首位。漆树籽是漆树的果实,为肾形或椭圆形核果,成熟期在 9 ~ 11 月,颜色为黄色时即可采收。它由漆籽仁和外面包裹着的漆籽皮组成,且均含有油脂。从果皮中提取的油脂熔点较高,常温下呈棕色固体,名为漆蜡;果仁中提取的油为漆油,黄色透明油状液体,属干性油,并具有油脂的芳香气味^[2]。

漆蜡是一种独具特色的木本油料,在云南少数民族地区,漆蜡有着悠久的人工驯化、栽培和加工、食用的历史,长期以来,怒江各族群众形成了种植、利用和食用漆树的习惯^[3]。在傈僳族、怒族的日常与节日饮食中,漆蜡被广泛地运用于烹炒、煎炸食物,制作漆蜡酒和漆蜡茶^[4]。民国时期上帕行政公署编纂的《纂修云南上帕沿边志》对此习俗做了详细描述:“怒傈遍种漆树,结籽后取籽榨油,以碗盛之,凝结后去碗取出,状似牛油^[5]”。漆蜡因无毒无污染,不仅被用作加工原料,在食品、化妆品、家具、印刷、油漆以及医药制品等领域均有应用,还作为重要的化工原料用于制备生物柴油^[6-9]。此外,还将漆蜡作为药用,用于产妇和手术后病人的滋补品,效果显著,还具有治疗老年气喘、降血脂、抗菌消炎、降胆固醇等功效^[10]。

在云南,由于漆具有良好的生境适应性,加之漆蜡是云南怒江、澜沧江、金沙江两岸的傈僳族、怒族、独龙族、勒墨人(白族支系)等民族重要的食用油来源,在滇西怒江、迪庆等地三江并流区域大量种植,是历史上最早种植和最适宜漆树生长的地区之一。“三江并流”区域生态系统脆弱,属全球生物多样性保护热点地区,也是“中国生物多样性保护行动计划”中所列举的 17 个关键地区之一^[11]。当地已形成良好的生态保护和生产生活相结合的生活模式,因地制宜种植漆这一木本植物并作为油料来源,解决了当地的生产生活需求。油料资源的供给问题,是关系国家粮油安全的重大问题,2014 至 2022 年中共中央连续十九年发布了以“三农”工作为主题的中央一号文件,其中多次强调了发展木本油料的重要性;要求尽快制定实施全国木本油料产业发展规划(2009),大力发展木本粮油等特色经济林(2017),促进木本粮油和林下经济发展(2021)。因

此,结合当地生态环境保护需求和当地民族地区饮食习惯,协同环境保护和乡村振兴,本文针对该区域木本油料作物所产漆蜡的加工工艺和构成进行进一步研究。

漆蜡的提取方法较多,如 Shi 等^[12]采用溶剂浸提法和超临界萃取技术对漆籽中漆蜡(油)提取方法进行了研究,提取漆蜡(油)的总萃取率为 40.7%,明显高于传统漆蜡(油)提取工艺。Xie 等^[13]利用索氏提取法研究了不同溶剂对漆蜡萃取的影响,结果表明石油醚(30 ~ 60 °C)是漆蜡萃取的良好溶剂,萃取时间较短,回流温度低,漆蜡萃取率高。Liu 等^[14]采用溶剂浸提法萃取漆蜡,得率高,产品色泽佳,各项技术指标均符合国家标准。Luo 等^[15]采用超声波辅助浸提工艺,以石油醚为提取溶剂的条件下,漆蜡提取率达 50.40%。但是,采用超声辅助联用酶法提取漆蜡的研究鲜有报道。本试验以漆树籽皮为原料,采用超声辅助联用酶法制备漆蜡,旨在优化提取工艺参数,以提高其提取率,并根据中国粮油标准检测了漆蜡的理化性质,从而为漆蜡的实际生产以及开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

漆树籽采集于云南怒江,采摘后的漆树籽除梗,经中国科学院昆明植物研究所李嵘研究员鉴定为漆树科漆树属落叶乔木的果实。挑选饱满、大小正常、没有机械伤和没有霉变的漆树籽,清洗后置于 40 °C 的恒温干燥箱中烘干至恒重,采用皮核分离并对漆树籽皮进行粉碎处理后,保存于 4 °C 冰箱中备用。

Agilent 5973N 型气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent Technologies 公司)。纤维素酶(批号:V67XN-PN,含量:99.0%)为上海伯奥生物科技有限公司提供。异丙醇(批号:20180301,含量:99.7%);乙醇(批号:20190508,含量:99.7%);重铬酸钾(批号:20190527,含量:99.8%);氢氧化钾(批号:20190801,含量:≥85%);环己烷(批号:20171101,含量:99.7%)均为天津市大茂化学试剂厂提供。乙酸(批号:78867009,含量:99.5%)为上海迈瑞尔化学技术有限公司提供。酚酞(批号:Le061676278,含量:99.8%);甲基橙指示剂(批号:Le061676277,含量:指示剂级%);碘化钾(批号:Le0922100225,含量:99.0%);硫代硫酸钠(批号:Le1028105479,含量:98.0%)均为上海皓鸿生物医药科技有限公司提供。

1.1 超声波辅助提取漆蜡

准确称取漆树籽果皮粉末 2.00 g 于锥形瓶中,按设定液料比(10:1)加入所需的蒸馏水,设置超声参数进行超声提取。超声提取结束后,用 1 mol/L NaOH 和 10% 醋酸调节 pH 后,加入设定质量分数的纤维素酶,于 50 ℃ 水浴锅中水浴酶解。酶解结束后,90~95 ℃ 水浴灭活 5 min,于离心机中 4 000 r/min 下离心 15 min,旋转蒸发后得到漆蜡。按公式(1)计算漆蜡得率:

$$\text{漆蜡提取率} = \frac{m}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m :漆蜡质量,g; M :漆树籽原料质量,g。

1.2 单因素试验设计

在超声波辅助提取漆蜡工艺试验中,固定酶解温度为 50 ℃,液料比为 10:1,对 6 个因素:加酶量、酶解时间、pH、超声温度、超声时间和超声功率分别进行单因素试验,考察各因素对漆蜡提取率的影响。

1.3 响应面优化试验设计

在单因素试验基础上,运用 Design-Expert 11 软件,依据 Box-Behnken 设计原理,以 Y (漆蜡提取率)为响应值,选取 A (加酶量)、 B (超声功率)、 C (酶解时间)、 D (pH) 为自变量,设计响应面优化试验,试验因素水平表见表 1。

表 1 试验因素水平表
Table 1 Test factors and levels

水平 Level	因素 Factor			
	A 加酶量 Enzyme dosage(%)	B 超声功率 Ultrasonic power(W)	C 酶解时间 Enzymatic time(min)	D pH
-1	2	200	40	4
0	2.5	225	50	4.5
1	3	250	60	5

1.4 漆蜡理化性质测定标准

色泽,按 GB/T 22460-2008 测定;气味,按 GB/T 5525-2008 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。

1.5 漆蜡脂肪酸组成的测定

样品甲酯化:称取 0.3 g 漆蜡置于 10 mL 的刻度试管中,分别加入 2 mL 的石油醚-苯(1:1)、2 mL 0.4 mol/L 的氢氧化钾甲醇溶液后,振荡并摇匀,静置 10 min,向溶液中加入适量的去离子水,静置,待其分层,取上清液,利用 GC-MS 联用技术对上层液体进行分析。

气相色谱条件:HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);柱温:起始温度 150 ℃,程序升温 3 ℃/min 至 280 ℃,保持 10 min;柱流量为 1 mL/min;进样口温度 250 ℃;柱前压 100 kPa;进样量 0.1 μL,分流比 2:1;载气为高纯氦气。

质谱条件:电离方式 EI;电子能量 70 eV;传输线温度 250 ℃;离子源温度 230 ℃;四级杆温度 150 ℃;质量范围 35~500;采用 Wiley 7n.1 和 NIST 98 标准谱库计算机检索定性。

1.6 数据统计分析

所有试验均进行 3 次平行试验,采用 Excel

2010、Origin 2018、Design-Expert 11 对数据进行处理,绘图、方差分析、响应面分析和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

为了探究加酶量、超声功率、超声时间、超声温度、酶解时间和 pH 对漆蜡提取率的影响,在基础条件不变的情况下,分别进行单因素分析。如图 1a 所示,加酶量在 1.5%~2.5% 时,漆蜡提取率随加酶量的增加而增大,2.5% 时达到最大,为 30.22%。如图 1b 所示,超声功率在 150~225 W 时,漆蜡提取率随超声功率的增大而增大,225 W 时达到最大,为 30.92%,当功率继续增大时,漆蜡提取率呈下降趋势。其原因可能是超声的空化和机械作用使物料细胞破碎,同时超声产生的热效应加快分子运动,提高酶与底物碰撞概率,促进酶解反应,导致细胞壁破裂,释放出油脂;当超声功率过大时,过高的温度会使酶分子的结构遭到破坏,导致酶变性失活,从而影响提取效果^[16]。如图 1c 所示,超声时间在 20~25 min 时,漆蜡提取率随超声时间的延长而增大,25 min 时达到最大,为 29.58%,当超声时间继续延长时,漆蜡提取率呈下降趋势。原因可能是随着超声时间的延长,空化作用增大,此时细胞膜的通透性增

强,细胞破碎程度也随之增大,从而导致漆蜡的溶出量增多;但当超声时间过长时,细胞膜进一步破裂,杂质溶出量增多^[17]。如图 1d 所示,超声温度在 40~45 °C 时,漆蜡提取率随超声温度的延长而增大,45 °C 时达到最大,为 29.50%,当超声温度继续延长时,其提取率呈下降趋势。原因可能是温度越高越有利于油料分子的运动,与促进油料与溶剂之间的扩散有直接关系,但当达到一定的阈值后,这些有利于油脂提取的影响因素趋于饱和,从而呈现出平台期^[18]。如图 1e 所示,酶解时间在 20~50 min 时,漆蜡提取率会随着酶解时间的延长而增大,50 min 时达到最大,为 31.10%;超过 50 min 后,漆蜡提取率显著下降。可能是过短的酶解时间导致纤维素酶对细胞壁的破碎不完全,从而使漆蜡未被有效提取;而

随着酶解时间的延长,细胞壁被充分破碎,漆蜡被有效地释放,使其得率增加;但其时间过长,底物浓度会不断降低或产物的积累对酶的活性有反馈抑制作用,酶促反应降低,影响提取率^[19]。如图 1f 所示,pH 在 4~4.5 时,漆蜡提取率随 pH 的增加而增大,pH 为 4.5 时达到最大,为 31.53%,当 pH 继续增加时,漆蜡提取率呈下降趋势。原因是纤维素酶具有最适的 pH 范围,过酸或过碱的环境会破坏酶分子的空间结构,使酶变性失活,影响酶解能力^[20],不能充分地破坏其细胞壁,从而影响漆蜡释放。

根据单因素实验的结果确定以加酶量 2.5%、超声功率 225 W、超声时间 25 min、超声温度为 45 °C、酶解时间 50 min 和 pH 4.5 为最佳条件。

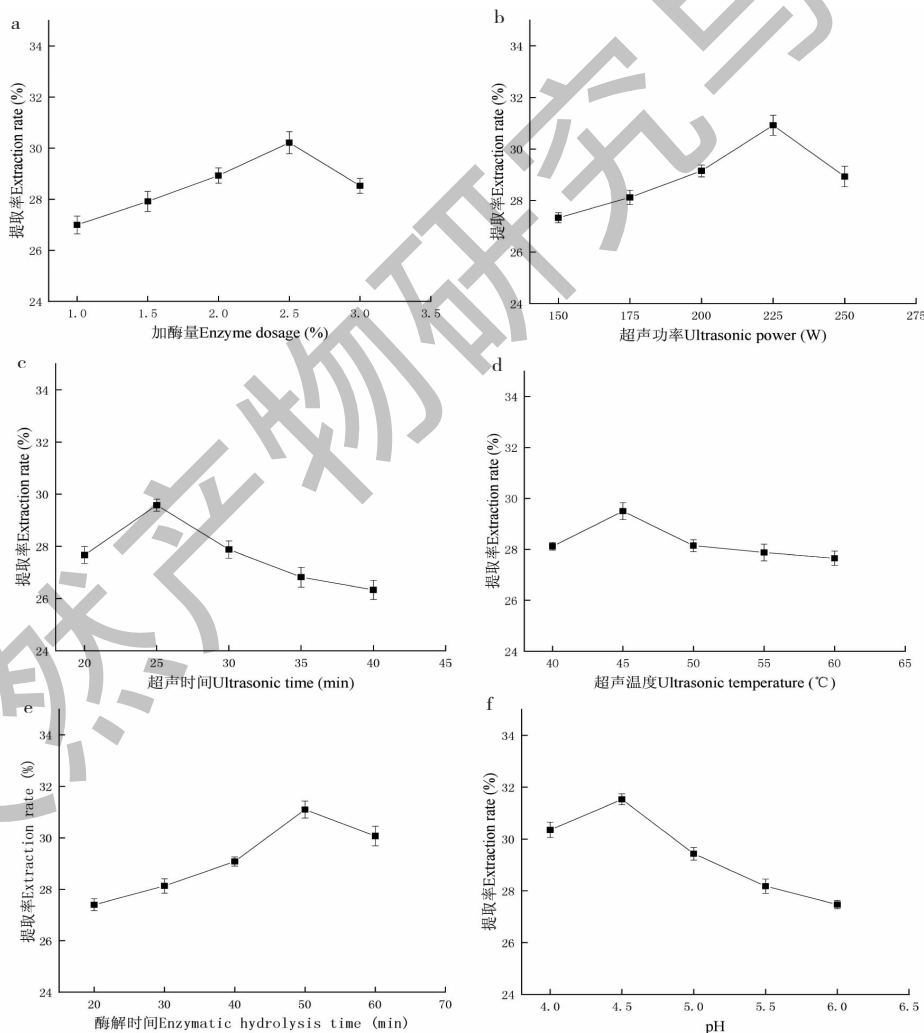


图 1 加酶量、超声功率、超声时间、超声温度、酶解时间和 pH 对提取率的影响

Fig. 1 Effect of enzyme dosage, ultrasonic power, ultrasonic time, ultrasonic temperature, enzymatic hydrolysis time and pH on the extraction rate

2.2 响应面优化试验

根据单因素实验获得的优化条件对其进行四因素三水平的响应面分析,共实施 29 组实验,包括 5 组中心点实验,具体结果见表 2。

运用 Design Expert 11 软件对漆蜡提取率试验结果进行数据分析,得到二次多项式回归方程为:

$$Y = 34.10 + 0.15A + 0.09B + 0.20C + 0.58D - 0.03AB - 0.02AC - 0.23AD + 0.04BC - 0.14BD + 0.16CD - 1.02A^2 - 0.20B^2 - 0.45C^2 - 1.25D^2$$

回归模型方差分析如表 3 所示,模型的 $P < 0.0001$,说明模型极其显著,失拟项不显著($P = 0.1849 > 0.05$),相关系数 $R^2 = 0.9960$,因此,该方程可以较好地反映漆蜡提取过程中各因素与响应值

的关系并预测最佳提取条件。根据表 3 中单因素显著性分析可知,因素 A、B、C、D 间对漆蜡提取率的影响存在极显著相关($P < 0.01$)。由 F 值可知,在试验范围内对选取的 4 个因素对漆蜡提取率的影响顺序为: $D > C > A > B$ 。

各因素间相互作用的响应面结果如图 2 所示。其结果表明,部分响应曲面图呈凸面,等高线图呈椭圆形或圆形。根据两个因素交互作用的等高线呈椭圆形,说明交互作用极为显著,各因素响应曲线的陡峭程度反映出该因素对漆蜡提取率的影响程度,越陡峭,说明影响越大。综合分析可知,pH 对漆蜡提取率的影响最显著,其次是酶解时间,加酶量,最后是超声功率。

表 2 响应面试验设计方案及结果
Table 2 Response surface test design and results

编号 No.	因素 Factor				提取率 Extraction rate(%)	编号 No.	因素 Factor				提取率 Extraction rate(%)
	A	B	C	D			A	B	C	D	
1	2	200	4.5	50	32.56	16	2.5	250	5	50	33.76
2	3	200	4.5	50	33.01	17	2	225	4	50	32.36
3	2	250	4.5	50	32.83	18	3	225	4	50	32.62
4	3	250	4.5	50	33.17	19	2	225	5	50	32.68
5	2.5	225	4	40	31.72	20	3	225	5	50	32.85
6	2.5	225	5	40	31.95	21	2.5	200	4.5	40	31.88
7	2.5	225	4	60	32.54	22	2.5	250	4.5	40	32.33
8	2.5	225	5	60	33.42	23	2.5	200	4.5	60	33.25
9	2	225	4.5	40	30.85	24	2.5	250	4.5	60	33.15
10	3	225	4.5	40	31.58	25	2.5	225	4.5	50	34.05
11	2	225	4.5	60	32.54	26	2.5	225	4.5	50	34.09
12	3	225	4.5	60	32.35	27	2.5	225	4.5	50	34.18
13	2.5	200	4	50	33.24	28	2.5	225	4.5	50	34.07
14	2.5	250	4	50	33.29	29	2.5	225	4.5	50	34.13
15	2.5	200	5	50	33.54						

表 3 回归模型方差分析表
Table 3 Regression model variance analysis

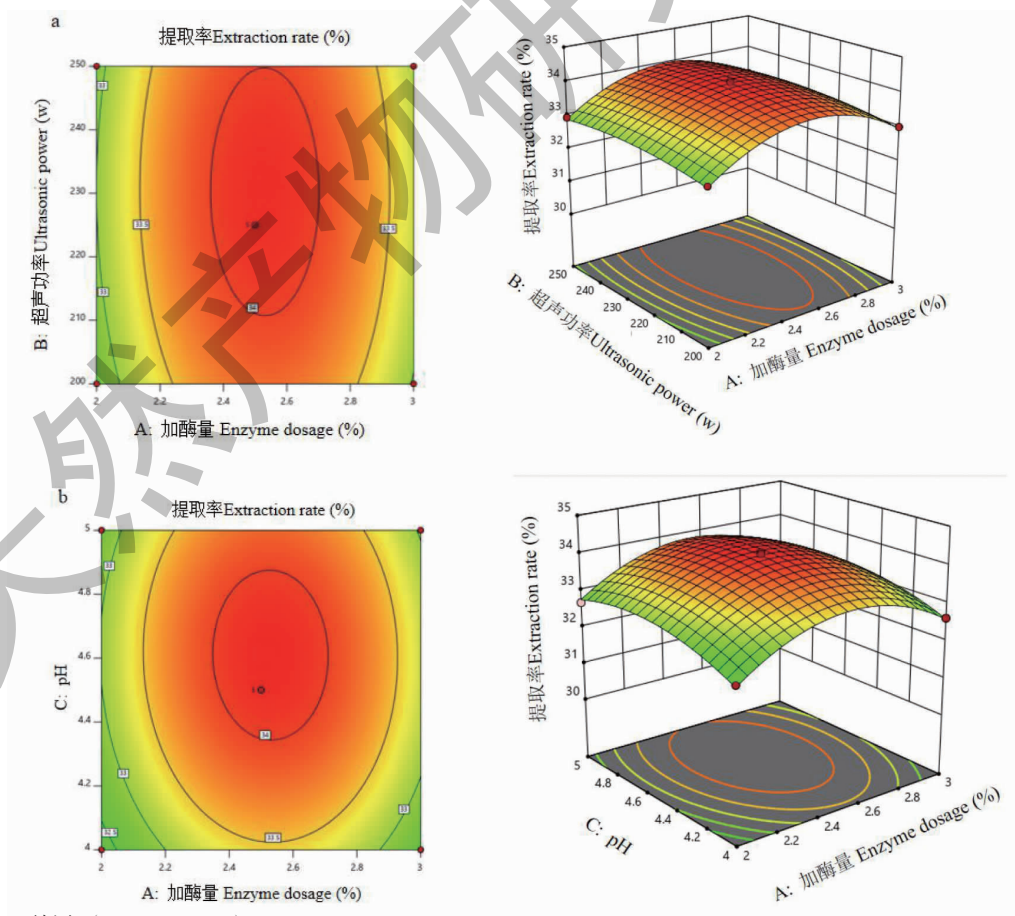
方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Significance
模型 Model	19.840 0	14	1.420 0	246.620 0	<0.000 1	**
A	0.258 1	1	0.258 1	44.910 0	<0.000 1	**
B	0.091 9	1	0.091 9	15.990 0	0.001 3	**
C	0.492 1	1	0.492 1	85.620 0	<0.000 1	**

续表 3 (Continued Tab. 3)

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> -value	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	显著性 Significance
<i>D</i>	4.010 0	1	4.010 0	698.360 0	<0.000 1	**
<i>AB</i>	0.003 0	1	0.003 0	0.526 3	0.480 1	—
<i>AC</i>	0.002 0	1	0.002 0	0.352 3	0.562 3	—
<i>AD</i>	0.211 6	1	0.211 6	36.820 0	<0.000 1	**
<i>BC</i>	0.007 2	1	0.007 2	1.260 0	0.281 1	—
<i>BD</i>	0.075 6	1	0.075 6	13.160 0	0.002 7	**
<i>CD</i>	0.105 6	1	0.105 6	18.380 0	0.000 8	**
<i>A</i> ²	6.770 0	1	6.770 0	1 177.870 0	<0.000 1	**
<i>B</i> ²	0.247 5	1	0.247 5	43.060 0	<0.000 1	**
<i>C</i> ²	1.320 0	1	1.320 0	228.880 0	<0.000 1	**
<i>D</i> ²	10.160 0	1	10.160 0	1 767.940 0	<0.000 1	**
残差 Residual	0.080 5	14	0.005 7	—	—	—
失拟项 Lack of fit	0.069 7	10	0.007 0	2.600 0	0.184 9	—
纯误差 Pure error	0.010 7	4	0.002 7	—	—	—
总离差 Cor total	19.920 0	28	—	—	—	—

注: * 在 $P < 0.05$ 水平上显著相关; ** 在 $P < 0.01$ 水平上极显著相关。

Note: * Significant correlation at the $P < 0.05$ level; ** Very significant correlation at $P < 0.01$ level.



续图 2 (Continued Fig.2)

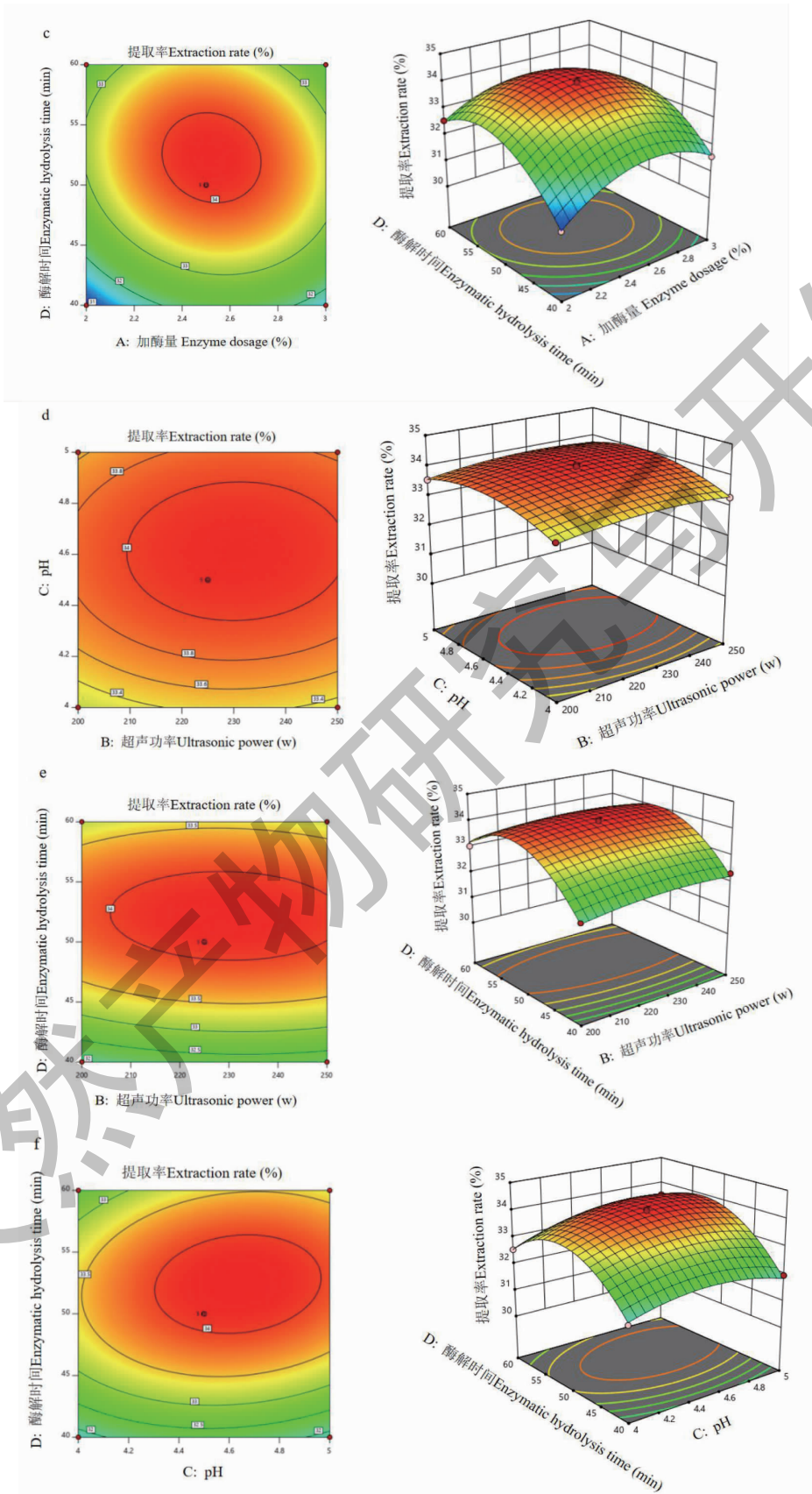


图2 四个因素之间交互作用对漆蜡提取率影响的等高线图及响应面图

Fig. 2 Contour map and response surface map of the interaction of four factors on the extraction rate of lacquer wax

2.3 响应面验证试验

通过拟合得出最佳提取工艺参数为超声功率 227.45 W、pH 4.73、加酶量 2.54%、酶解时间 53.02 min,该条件下漆蜡的预计提取率为 34.19%,为了操作方便,实际取值超声功率 225 W、pH 4.5、加酶量 2.5%、酶解时间 50 min,该条件下漆蜡的提取率为 33.93%,与模型预测值相接近,说明该模型可用于超声波辅助酶法提取漆蜡的工艺条件优化。

2.4 漆蜡理化性质和脂肪酸组成

在最优工艺条件下提取漆蜡,测定其理化性质和脂肪酸组成。根据其理化性质的测定分析结果可知:漆蜡的色泽呈灰黄色,具有蜡香味,碘值(I)为 25.02 g/100g,酸值(KOH)为 17.97 mg/g,皂化值(KOH)为 233.97 mg/g;其主要构成为棕榈酸和油酸,二者含量总和达到 93.72%。其中脂肪酸组成如表 4 所示。

表 4 漆蜡中脂肪酸组成和含量

Table 4 Composition and content of fatty acids of lacquer wax

序号 No.	t_R (min)	化合物 Compound	CAS	分子式 Molecular formula	分子质量 Molecular mass	相对含量 Relative content (%)
1	10.63	肉豆蔻酸 Myristic acid	544-63-8	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	0.15
2	15.50	棕榈油酸 Palmitoleic acid	373-49-9	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	0.16
3	16.25	棕榈酸 Palmitic acid	57-10-3	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	79.86
4	18.98	十七烷酸 Margaric acid	506-12-7	$C_{17}H_{34}O_2$	270.45	0.03
5	21.01	亚油酸 Linoleic acid	60-33-3	$C_{18}H_{32}O_2$	280.45	1.27
6	21.25	油酸 Oleic acid	112-80-1	$C_{18}H_{34}O_2$	282.46	13.86
7	21.35	12-十八碳烯酸 12-Octadecenoic acid	2733-86-0	$C_{18}H_{34}O_2$	282.461	0.23
8	21.94	硬脂酸 Stearic acid	57-11-4	$C_{18}H_{36}O_2$	284.48	3.54
9	25.58	十八烷二酸 Octadecanedioic acid	871-70-5	$C_{18}H_{34}O_4$	314.46	0.07
10	27.66	花生酸 Arachidic acid	506-30-9	$C_{20}H_{40}O_2$	312.53	0.26
11	36.48	二十烷二酸 Eicosanoic acid	2424-92-2	$C_{20}H_{38}O_4$	342.51	0.14
12	41.47	二十二烷二酸 Dodecanedioic acid	505-56-6	$C_{22}H_{42}O_4$	370.57	0.35

3 讨论与结论

本文以漆树籽为原料,采用超声波辅助酶法提取漆蜡,通过单因素试验和响应面法得到漆蜡的最佳提取工艺条件为:超声功率 225 W、pH 4.5、加酶量 2.5%、酶解时间 50 min、超声时间 25 min、超声温度 45 ℃,此时漆蜡提取率为 33.93%。在最优工艺条件下提取制备的漆蜡,根据其理化性质和脂肪酸组成的测定分析结果可知,漆蜡的碘值(I)为 25.02 g/100g,酸值(KOH)为 17.97 mg/g,皂化值(KOH)为 233.97 mg/g;其主要构成为棕榈酸和油酸,二者含量总和达到 93.72%。综上,结合本项研究工作能够为漆蜡的后续深入研究和产业开发奠定良好的工作基础。

木本油料不占用耕地,抗灾能力强,养护简便,收益期长。推广种植木本油料作物,有利于保护生态环境,稳固水土,有效利用国土资源、缓解粮油供需矛盾、增加农民收入。《云南省人民政府办公厅关于加快木本油料产业发展的实施意见》(云政办发[2015]72号)中明确指出,要“积极研究木本油

料精深高端产品,拓宽木本油料利用途径,延伸产业链”。滇西地区结合地理环境特点和当地人民生活习惯,大力推广漆树种植和漆树的综合利用,漆蜡产业在药、食、妆等领域具有很好的发展潜力,很好地体现了“绿水青山就是金山银山”,实现人与自然和谐共生。

参考文献

- 1 Zhao M, Hu C. An ultrastructural study of the development of resin canals and lacquer secretion in *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkley [J]. S Afr J Bot, 2018, 116: 61-66.
- 2 Zhang TT, Li Y, Ren HY, et al. Development and utilization of fruit lacquer tree [J]. J Chin Lacquer (中国生漆), 2020, 39: 34-37.
- 3 Li J, Guo YH, Li Q, et al. Fatty acids from the seed fats of paint tree [J]. Yunnan Chem Technol (云南化工), 2002, 29: 18-19.
- 4 Gao ZY, Sha LN. Lacquer seed oil and the food culture of the Lisu [J]. J Ethnol (民族学刊), 2015, 6: 54-63.
- 5 Nujiang Prefecture Annals Office. Nujiang Old Annals (怒江

- 旧志)[M]. Nujiang: Nujiang Ethnic Printing Factory, 1998: 59.
- 6 Xue XY, Zhou H, Zhang CW, et al. Preparation, antibacterial activity and preservation of lacquer wax composite coating preservative[J]. Chem Ind For Prod (林产化学与工业), 2019, 39: 123-128.
 - 7 Li XX, Zhang Q, Wu HT, et al. Preparation and application of lacquer wax emulsion [J]. Appl Chem Ind (应用化工), 2019, 48: 989-994.
 - 8 Fu SW, Yang KT, Li JY. The development and the application prospect of the biodiesel prepared by seed oil paint[J]. J Chin Lacquer(中国生漆), 2014, 33: 45-47.
 - 9 Wang CZ, Zhu ZM. The current situation of Chinese seed of sumac resources and the development and utilization foreground[J]. J For Eng(林业科技开发), 2001, 1: 9-11.
 - 10 Li M, Wang HY, Duan A. A preliminary study on the medicine and food plants of Lisu in Gaoligong Mountains [J]. Yunnan J Tradit Chin Med Mater Med (云南中医中药杂志), 2013, 34: 55-56.
 - 11 Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. Nature, 2000, 403: 853-858.
 - 12 Shi BA, Hu WB, Qu WY, et al. Extraction method of lacquer war(oil) from lacquer seed [J]. China Oils Fats (中国油脂), 2004, 29: 44-47.
 - 13 Xie BX, Liu W, Yu JF, et al. Effects of different solvents on lacquer wax extraction of the Japanese *Rhus succedanea* [J]. J Cent South Univ For Technol (中南林业科技大学学报), 2007, 27: 49-52.
 - 14 Liu W, Xie BX, Yu JF, et al. Extraction techniques of lacquer wax in *Rhus succedanea* [J]. Non-wood Forest Res (经济林研究), 2008, 26: 58-61.
 - 15 Luo CX, Zhang C, Lu YT, et al. Study on ultrasonic-assisted extraction of lacquer wax from wax layer and its physicochemical property [J]. Cereals Oils (粮食与油脂), 2011, 24: 27-30.
 - 16 Hu F, Dong X, Shi CW, et al. Research progress on the effect of ultrasound on cellulase activity [J]. J Cell Sci Technol (纤维素科学与技术), 2021, 29: 51-58.
 - 17 Sun JX, Mei ZX, Bai WB, et al. Research progress on the effects of ultrasonic cavitation on food quality [J]. J Food Sci Biotechnol (食品与生物技术学报), 2017, 36: 337-342.
 - 18 Jiang HC, Yao JY, Zhang SY, et al. Optimization of ultrasonic assisted n-hexane extraction of raspberry seed oil and its physicochemical properties [J]. J Yunnan Univ: Nat Sci (云南大学学报: 自科版), 2021, 43: 1004-1011.
 - 19 Gao T, Zhu Y, Zhao C, et al. A fast and sensitive method for determination of non-specific nuclease activity [J]. J Biol (生物学杂志), 2021, 38: 111-115.
 - 20 Zhang YH, Wang Q. Alcalase peanut protein hydrolyzing by alcalase to prepare peanut oligopeptides [J]. Trans Chin Soc Agric Eng (农业工程学报), 2007, 23: 258-263.
-
- (上接第 71 页)
- 3 Hang JJ, Liu H, Guo P, et al. Chemical constituents from *Serissa japonica* [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2016, 39: 94-97.
 - 4 Guo P. Study on chemical constituents and anti-inflammatory activity of *Serissa japonica* [D]. Nanjing: Nanjing Univ Chin Med (南京中医药大学), 2017.
 - 5 Gao TY, Lei YT, Tang GL, et al. UPLC-Q-TOF-MS analysis of chemical constituents of *Paederia Herba* for folk use [J]. Chin J Exp Tradit Med Form (中国实验方剂学杂志), 2020, 26: 134-141.
 - 6 Wang YD, He Y, Dai Z, et al. Simultaneous determination of seven organic acids in *Lonicerae Flos* using HPLC-MS/MS [J]. Chin J Pharm Anal (药物分析杂志), 2016, 36: 998-1005.
 - 7 Wang LL, Cui QY, Zhang SZ, et al. Determination of four iridoids in *Morinda officinalis* How. from different producing areas by quantitative analysis of multi-components via single marker method [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2021, 33: 784-790.
 - 8 Liang YT, Wang YY, Su WW, et al. Chemical constituents of *Premna fulva* Craib by UFLC-Triple TOF-MS/MS [J]. Central South Pharm (中南药学), 2018, 16: 1369-1373.
 - 9 Zhang QH. Studies on the chemical constituents and biological activities of *Fructus Sophorae* and *Nelumbinis plumula* [D]. Jilin: Jilin University (吉林大学), 2018.
 - 10 Sun J, Lu Y, Xiang WY, et al. Simultaneous determination of six components in *Eucommia ulmoides* by UPLC [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2016, 28: 470-474.
 - 11 Akihisa T, Seino KI, Kaneko E, et al. Melanogenesis inhibitory activities of iridoid-, hemiterpene-, and fatty acid-glycosides from the fruits of *Morinda citrifolia* (Noni) [J]. J Oleo Sci, 2010, 59: 49-57.
 - 12 Yang C, Zhu XC, Wan HT, et al. Spectrum-effect relationship study on parched *Ziziphi Spinosae Semen* for its sedative and hypnotic effects based on gray correlation analysis [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2021, 52: 5267-5274.