

高品质油茶籽油的湿法提取工艺优化

吴苏喜^{1,2}, 周东蓉¹, 王彦心¹, 黄艳慧¹, 李普选², 李昌珠³

(1. 长沙理工大学 化学与食品工程学院, 长沙 410114; 2. 郑州远洋油脂工程技术有限公司, 郑州 450000;

3. 湖南省林业科学院 木本油料资源利用国家重点实验室, 长沙 410018)

摘要:为了获得富含生物活性成分的高品质油茶籽油, 采用湿法提取油茶籽仁中油脂, 并采用响应面实验优化工艺条件。结果表明: 最佳工艺条件为加水量 12%、提油助剂添加量 1%、提取温度 55℃、提取时间 50 min; 在最佳工艺条件下, 油茶籽仁的提油效率达 86% 以上, 所得油脂基本不含固杂, 其中的生物活性成分维生素 E、角鲨烯和谷甾醇含量分别高达 189.0、221.9 mg/kg 和 385.2 mg/kg, 高于 T/LYCY 001—2020《特、优级油茶籽油》中优级油茶籽油的相应指标值, 为高品质油茶籽油产品的开发提供了新思路。

关键词:油茶籽; 油茶籽油; 湿法提取; 生物活性成分

中图分类号: TS225.1; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)04-0019-05

Optimization of wet extraction of high quality oil – tea camellia seed oil

WU Suxi^{1,2}, ZHOU Dongrong¹, WANG Yanxin¹, HUANG Yanhui¹,
LI Puxuan², LI Changzhu³

(1. College of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science & Technology,

Changsha 410114, China; 2. Zhengzhou Yuanyang Oil & Fat Engineering Technology Co.,

Ltd., Zhengzhou 450000, China; 3. State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil

Resource, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410018, China)

Abstract: In order to obtain high quality oil – tea camellia seed oil rich in bioactive components, wet extraction method was used to extract oil from oil – tea camellia seed kernel, and the extraction conditions were optimized by response surface methodology. The results showed that the optimal extraction conditions were obtained as follows: water dosage 12%, dosage of oil extraction assistant 1%, extraction temperature 55℃ and extraction time 50 min. Under the optimal conditions, the oil extraction efficiency of oil – tea camellia seed kernel was above 86%, and the oil basically contained no solid impurities, and the contents of vitamin E, squalene and sitosterol were as high as 189.0, 221.9, 385.2 mg/kg, respectively, which were higher than the corresponding index values of standard *Extra oil – tea camellia seed oil* (T/LYCY 001 – 2020). It provides a new idea for the development of high quality oil – tea camellia seed oil products.

Key words: oil – tea camellia seed; oil – tea camellia seed oil; wet extraction; bioactive component

收稿日期: 2021-11-22; 修回日期: 2022-01-26

基金项目: 郑州市第三批“智汇郑州 * 1125 聚才计划”创新领军人才项目(郑政 2018-45 号); 湖南省长株潭标志性工程计划重大创新工程项目(2019XK2002); 长沙理工大学 2020 年度“双一流”建设项目(CX2020SS82)

作者简介: 吴苏喜(1965), 男, 教授, 博士, 主要从事油脂工程新技术开发研究工作(E-mail) wsx6524@163.com。

通信作者: 周东蓉, 在读硕士(E-mail) 1659108181@qq.com。

油茶籽是油茶的种子, 含油率达 30% ~ 60%^[1]。油茶籽油的脂肪酸组成与橄榄油相似, 故有“东方橄榄油”的美誉^[2]。研究表明, 油茶籽油有抗氧化^[3]、消炎抗菌^[4-5]、保护胃肠道^[6]及肝脏^[7]等多种功效作用。近年来, 随着《“健康中国 2030”规划纲要》《油茶产业发展指南》等政策的颁布以及国家油料产业发展战略的实施, 我国油茶产业朝着高质

量方向快速发展^[8-9]。

目前油茶籽油的制取方式主要有热榨法、冷榨法、溶剂浸出法和水代法等。热榨油茶籽油风味浓郁,但生物活性成分损失大、能量消耗高,而且易产生苯并芘等有害物质^[10];溶剂浸出法虽然提油效率高,但存在溶剂残留风险和生产环境安全风险^[11];冷榨法和水代法虽然能保持油茶籽油的天然生物活性成分,但冷榨法的电力消耗大、冷榨油风味偏淡、提油效率偏低^[12],水代法用水量大、产生废水多^[13],难以得到大规模产业化应用。因此,开发集绿色低温、能有效保持生物活性成分的油茶籽制油新技术成为油茶产业发展的必然趋势。

项目组在研究传统水代法利用亲水分子之间的内聚力排挤出油脂等提油原理的基础上,借鉴和参考 ALCON 调质原理^[14],开发出了一种油茶籽油湿法提取新技术^[15]。本文通过响应面优化实验设计,研究湿法提取工艺中加水量、提油助剂添加量、提取温度、提取时间等关键工艺参数对油茶籽提油效率的影响,以求达到在相对低温处理后得到大部分油并保护油中生物活性成分不受破坏、不排放废水、同时节约能源等目的,为油茶籽油的湿法提取技术的产业化和高品质产品的开发提供技术依据。

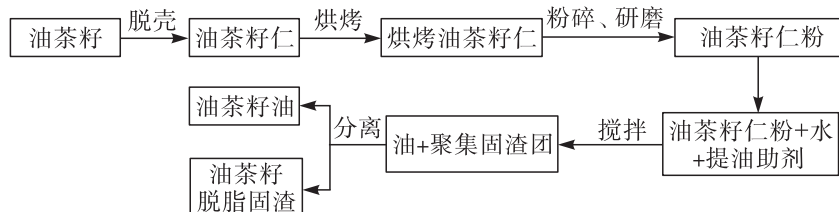


图1 油茶籽湿法提油工艺流程

油茶籽湿法提油具体的操作参数和步骤:油茶籽经脱壳后,将油茶籽仁在 80 °C 下烘烤、冷却、粉碎,用陶瓷研磨棒将油茶籽仁粉研磨过约 180 μm (80 目)筛;取一定质量(10 g 左右, W_1) 的筛下仁粉(脂肪含量为 Y_1),加入适量预先混合的水和提油助剂溶液,在适当的温度下搅拌揉搓约 50 min (在该过程可观察到游离油和聚集性固体颗粒),直至聚集的颗粒成团而难以搅动;将游离油和聚集固渣团进行离心分离,倾出上清油相,再重复离心 2 次,倾出上清油相,汇总油相,备存,用于油脂品质测定;取脱脂固渣称重(W_2),并测其脂肪含量(Y_2),按式(1)计算油茶籽仁提油效率(Y)。

$$Y = (W_1 Y_1 - W_2 Y_2) / W_1 Y_1 \times 100\% \quad (1)$$

1.2.2 油茶籽仁主要成分测定

水分及挥发物含量,参照 GB 5009.3—2016;蛋白质含量,参照 GB 5009.5—2016(第一法);脂肪含

1 材料与方法

1.1 实验材料

油茶籽,湖南省浏阳市聚康油茶专业合作社。石油醚、无水乙醇、冰醋酸、异辛烷、浓硫酸、3,5-二硝基水杨酸,分析纯,市售;提油助剂;正己烷、甲醇,色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;福林酚(Folin-Ciocalteu)试剂,合肥博美生物科技有限公司;没食子酸($\geq 98\%$, CAS 号 149-91-7)、角鲨烯($\geq 98\%$, CAS 号 111-02-4)、角鲨烷($\geq 98\%$, CAS 号 111-01-3)、维生素 E($\geq 97\%$, CAS 号 10191-41-0)、 β -谷甾醇($\geq 98\%$, CAS 号 83-46-5)、苯并(a)芘($\geq 95\%$, CAS 号 50-32-8)标准品,上海源叶生物有限公司。

FW-100 高速万能粉碎机;101-2A 电热鼓风干燥箱;DL-5-B 低速大容量离心机;UV-5200 紫外可见分光光度计;DHG-9140A 数显恒温水浴锅;旋转蒸发器;岛津 GC-14C 气相色谱仪(配 FID 检测器);Agilent1100 型高效液相色谱仪;SZF-6 型粗脂肪测定仪(索氏抽提原理)。

1.2 实验方法

1.2.1 油茶籽湿法提油工艺

油茶籽湿法提油工艺流程如图 1 所示。

量,参照 GB 5009.6—2016(第一法);淀粉含量,参照 GB 5009.9—2016。

1.2.3 油茶籽油相关指标测定

色泽,参照 GB/T 22460—2008;透明度、气味、滋味,参照 GB/T 5525—2008;水分及挥发物含量,参照 GB 5009.236—2016 第二法;不溶性杂质含量,参照 GB/T 15688—2008;酸值,参照 GB 5009.229—2016 第一法;过氧化值,参照 GB 5009.227—2016 第一法;谷甾醇含量,参照 GB/T 25223—2010;维生素 E 含量,参照 GB/T 26635—2011;角鲨烯含量,参照 LS/T 6120—2017;溶剂残留量,参照 GB 5009.262—2016;苯并(a)芘含量,参照 GB 5009.27—2016 第一法。

1.2.4 数据处理

采用 Origin2018 软件进行基础数据处理、分析与作图,利用 Design-Expert V 8.0.6.1 对 Box-

Behnken 响应面优化设计实验进行整理分析。

2 结果与分析

2.1 油茶籽仁的主要成分

实验所用油茶籽仁的主要成分如表 1 所示。

表 1 油茶籽仁主要成分

成分	含量/%
水分及挥发物	4.36 ± 0.03
蛋白质	8.68 ± 0.22
脂肪	43.65 ± 0.11
淀粉	8.03 ± 0.01

由表 1 可知:本实验所用油茶籽仁的脂肪含量为 43.65%,符合水热调质法从油茶籽仁中提取油脂的基本要求(脂肪含量大于 40%)^[16];油茶籽仁的蛋白质含量为 8.68% 淀粉含量为 8.03%,与一般油茶籽仁的蛋白质和淀粉含量相符;水分含量为 4.36%,低于油茶籽的安全水分(10%),有利于贮藏期间保持油茶籽仁的营养品质^[17]。

2.2 响应面实验优化油茶籽湿法提油工艺条件

2.2.1 响应面实验设计及结果

在前期实验基础上,确定提取时间 50 min,选取加水量(A)、提取温度(B)、提油助剂添加量(C)为自变量,以油茶籽仁提油效率(Y)作为响应值,进行 Box - Behnken 优化设计实验,所有实验均重复 3 次,结果取平均值。Box - Behnken 实验因素与水平见表 2, Box - Behnken 实验设计及结果见表 3。

从表 3 可见,各组实验的提油效率都在 65% 以上,最高可达 88.18%,说明本研究采取的湿法提油技术可以将油茶籽仁中的大部分油脂提取出来。原因可能在于:①在一定的湿热条件下,提油助剂溶液和油茶籽仁中的皂素、蛋白质、淀粉等亲水分子之间相互作用而形成氢键等内聚力^[18],在特制器械的搅拌、揉搓和推拉等作用下,使油料细胞中的油滴分子受到内外夹击而更易被挤出;②提油助剂会引起皂素、淀粉和蛋白质的表面张力和表面电荷发生变化,从而防止和破坏油茶籽油提取过程中可能形成的乳化现象,有利于油脂和油溶性生物活性成分被排挤出来^[19-20];③一定的温度会促进提油助剂分解释放出气体,从而使揉搓过程中形成的紧密结实的料渣聚集团产生蓬松效果,有利于油脂和油溶性生物活性成分的流出。排出油脂后剩余的固体料渣颗粒会吸收水分而聚集成团(最终脱脂固渣水分含量为 16.47%),通过离心即可实现油脂与结团料渣的分离。

表 2 Box - Behnken 实验因素与水平

水平	加水量/%	提取温度/℃	提油助剂添加量/%
-1	11	50	0.5
0	12	55	1.0
1	13	60	1.5

表 3 Box - Behnken 实验设计及结果

实验号	A	B	C	Y/%
1	-1	0	-1	71.56
2	1	0	1	68.05
3	1	1	0	67.17
4	0	0	0	85.46
5	1	0	-1	67.12
6	0	-1	-1	76.11
7	1	-1	0	70.36
8	0	0	0	86.38
9	0	1	1	72.64
10	-1	0	1	70.31
11	0	-1	1	75.75
12	0	1	-1	73.73
13	-1	-1	0	74.81
14	0	0	0	88.18
15	0	0	0	86.38
16	-1	1	0	71.44
17	0	0	0	79.93

2.2.2 响应面实验结果的回归分析

利用 Design - Expert V 8.0.6.1 对表 3 中 17 组数据进行多元回归拟合,得到以提油效率(Y)为目标函数的响应面回归方程: $Y = 85.27 - 1.93A - 1.51B - 0.22C + 0.045AB + 0.54AC - 0.18BC - 9.81A^2 - 4.51B^2 - 6.20C^2$ 。

回归方程的方差分析见表 4。由表 4 可知:回归方程模型极显著($P < 0.01$),表明湿法提油的提油效率和各因素之间的相关关系显著;失拟项不显著($P > 0.05$),表明该模型可用于预测油茶籽仁提油效率。由 Design - Expert V8.0.6.1 分析可知:模型响应值(提油效率)决定系数 R^2 为 0.948 5,校正后 R^2 为 0.917 7,表明模型拟合程度高;模型的变异系数(2.70%)小于 5%,表明模型对响应值的置信度好,可真实反映实验结果。综上所述,该回归模型对响应值的拟合程度高,能够良好地反映响应值与自变量的关系,可以用该模型对湿法提取油茶籽油的提油效率进行分析预测。其中二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 影响极显著($P < 0.01$),表明这几个因素对湿法提取油茶籽油提油效率的影响并不是简单的线性关系。根据 F 值的大小判断各因素对湿法提取油茶籽油提油效率的影响程度为加水量(A) > 提取温度

(B) > 提油助剂添加量(C)。

表4 回归方程方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	768.55	9	85.39	14.83	0.000 9**
A	29.72	1	29.72	5.16	0.057 3
B	18.15	1	18.15	3.15	0.119 1
C	0.39	1	0.39	0.07	0.801 7
AB	8.1×10^{-3}	1	8.1×10^{-3}	1.41×10^{-3}	0.971 1
AC	1.19	1	1.19	0.21	0.663 4
BC	0.13	1	0.13	0.02	0.883 4
A ²	405.14	1	405.14	70.38	<0.000 1**
B ²	85.71	1	85.71	14.89	0.006 2**
C ²	161.68	1	161.68	28.09	0.001 1**
残差	40.30	7	5.76		
失拟	0.81	3	0.27	0.03	0.992 9
净误差	39.48	4	9.87		
总离差	808.85	16			

注:**差异极显著($P < 0.01$); *差异显著($P < 0.05$)。

2.2.3 最佳工艺条件的确定

通过 Design - Expert V 8.0.6.1 预测湿法提取油茶籽油的最佳工艺条件为:加水量 11.9%,提取温度 54.15℃,提油助剂添加量 0.99%,提取时间 50 min。在最佳工艺条件下,理论提油效率为 85.48%。根据实际操作情况将最佳工艺条件调整为加水量 12%、提取温度 55℃、提油助剂添加量 1%、提取时间 50 min,该条件下的提油效率为 86.38%,与油茶籽油冷榨提油效率^[21]相当,但相比于冷榨法,本法已将具有亲水性的蛋白质、淀粉等固杂颗粒凝聚成紧密的固渣料团,从而大大减少了混入油脂中的固渣量。在最佳条件下进行 3 次验证实验,得到平均提油效率为 86.07%,与理论预测值(85.48%)只相差 0.59 百分点,表明实验结果与模型预测值相符度较高,说明采用该响应面优化所得工艺条件可靠。

2.3 湿法提取油茶籽油的品质

按 1.2.1 方法,在上述最佳工艺条件下提取得到的油茶籽油,经湖南省振华食品检测研究院检测其品质指标,结果见表 5。

由表 5 可知,湿法提取的油茶籽油除透明度微浊、水分及挥发物含量偏高以外,其他指标满足 T/LYCY 001—2020《特、优级油茶籽油》要求,尤其是其维生素 E、角鲨烯和谷甾醇含量明显高于标准中优级油茶籽油的指标值,分别达到 189.0、221.9 mg/kg 和 385.2 mg/kg。根据工厂实践经验,采取吸

附剂吸附或真空干燥处理即可得到澄清透明油茶籽油,各项指标满足 T/LYCY 001—2020 中的优级油茶籽油质量标准。由此可见,湿法提油工艺对于油茶籽油的生产具有积极作用,尤其是对维生素 E、角鲨烯等生物活性成分的保护有明显优势。

表5 湿法提取的油茶籽油品质

项目	T/LYCY 001—2020 优级油茶籽油	本方法提取的油茶籽油
气味、滋味	气味、口感正常	气味、口感正常
色泽	具有产品固有的颜色,如浅黄色至棕红色	浅黄色
透明度(20℃)	澄清、透明	微浊
水分及挥发物含量/%	≤0.10	1.10
不溶性杂质含量/%	≤0.05	0.05
酸值(KOH)/(mg/g)	≤1.5	0.48
过氧化值/(g/100 g)	≤0.2	0.11
苯并(a)芘含量/(μg/kg)	≤8	未检出
溶剂残留量/(mg/kg)	不得检出	未检出
维生素 E 含量/(mg/kg)	≥60	189.0
角鲨烯含量/(mg/kg)	≥50	221.9
谷甾醇含量/(mg/kg)	≥300	385.2

3 结论

(1)以油茶籽仁为原料,加入少量的水和提油助剂,在低温条件下进行适宜强度和时间的搅拌,再通过离心,可以提取出油茶籽仁中的绝大部分油脂,整个生产工艺不产生废水,所得毛油基本不含固杂。

(2)湿法提取油茶籽油的最佳工艺条件为加水量 12%、提油助剂添加量 1%、提取温度 55℃、提取时间 50 min,在此条件下油茶籽仁提油效率达 86% 以上,生物活性成分维生素 E、角鲨烯和谷甾醇含量分别高达 189.0、221.9 mg/kg 和 385.2 mg/kg,油脂整体品质基本达到 T/LYCY 001—2020《特、优级油茶籽油》中的优级油茶籽油质量要求。

参考文献:

- [1] 原姣姣,王成章,陈虹霞,等.不同品种油茶籽的含油率和脂肪酸组成分析研究[J].中国油脂,2012,37(1):75-79.
- [2] 张善英,郑丽丽,艾斌凌,等.蒸汽爆破预处理对油茶籽水代法提油品质的影响[J].食品科学,2019,40(11):124-130.
- [3] LUO F, FEI X Q. Distribution and antioxidant activities of free, conjugated, and insoluble-bound phenolics from seven species of the genus *Camellia*[J]. J Am Oil Chem Soc,2019,96(2):159-170.
- [4] CHANG M, QIU F C, LAN N N, et al. Analysis of

- phytochemical composition of *Camellia oleifera* oil and evaluation of its anti-inflammatory effect in lipopolysaccharide stimulated RAW 264.7 macrophages [J]. *Lipids*, 2020, 55(4): 353-363.
- [5] 邝婉涓, 邓彩间, 林乔禹, 等. 红花油茶籽油的抑菌和抗氧化作用研究[J]. *中国油脂*, 2010, 35(9): 25-28.
- [6] TU P S, TUNG Y T, LEE W T, et al. Protective effect of camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) against ethanol-induced acute oxidative injury of the gastric mucosa in mice [J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65(24): 4932-4941.
- [7] LEI X H, LIU Q, LIU Q, et al. Camellia oil (*Camellia oleifera* Abel.) attenuates CCl₄-induced liver fibrosis via suppressing hepatocyte apoptosis in mice [J]. *Food Funct*, 2020, 11(5): 4582-4590.
- [8] 孟桂元, 韩杰铨, 詹兴国, 等. 我国油茶产业分析与发展对策[J]. *中国油脂*, 2021, 46(7): 104-108, 113.
- [9] 张立伟, 王辽卫. 我国油茶产业的发展现状与展望[J]. *中国油脂*, 2021, 46(6): 6-9, 27.
- [10] 吴苏喜, 张智敏, 刘瑞兴. 油茶籽油中苯并(a)芘的形成与控制[J]. *食品科学*, 2013, 34(4): 71-74.
- [11] 黄鑫, 张利军, 张保艳. 油茶籽油提取方法对比分析[J]. *中国油脂*, 2019, 44(6): 9-13.
- [12] 秦玉川, 刘本同, 薛锦松, 等. 冷榨法与热榨法制取山茶油品质差异研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(5): 97-104.
- [13] 黄闪闪, 吴苏喜, 聂楷峰. 水代法提取鲜果茶籽油的工艺优化及其品质分析[J]. *食品与机械*, 2014, 30(3): 185-189, 193.
- [14] 黄忠胜, 辛凤鲜. ALCON 熟化调理工艺在加工大豆产品中的优势[J]. *中国油脂*, 2004, 29(1): 26-28.
- [15] 吴苏喜, 周东蓉, 夏纯凤, 等. 一种富含生物活性成分的油茶籽油及其湿法提取方法: CN202110949559Y. 9 [P]. 2021-11-19.
- [16] TU J C, WU W B, YANG J F, et al. A method of producing edible oils with high quality by water[J/OL]. *J Food Process Pres*, 2017, 41(6): e13280 [2021-11-20]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13280>.
- [17] 王亚萍, 石晓丽, 姚小华, 等. 适宜含水率保持油茶籽贮藏品质[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(4): 256-261.
- [18] 陈治光. 不同加工条件下淀粉分子构象和次级相互作用力变化规律研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2021.
- [19] 曹绪龙, 吕凯, 崔晓红, 等. 阴离子表面活性剂与阳离子的相互作用[J]. *物理化学学报*, 2010, 26(7): 1959-1964.
- [20] LIU L, YU X Z, ZHAO Z, et al. Efficient salt-aided aqueous extraction of bitter almond oil [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97(11): 3814-3821.
- [21] 胡健华, 韦一良, 何东平, 等. 脱壳冷榨生产纯天然油茶籽油[J]. *中国油脂*, 2009, 34(1): 16-19.

(上接第18页)

直径为 38 μm, 漆籽油收率为 90%。脱蜡漆籽油中维生素 E 含量为 623.38 mg/kg, 其中 δ-生育酚含量为 422.78 mg/kg, 植物甾醇含量为 3 760.00 mg/kg, 其中 β-扶桑甾醇、柠檬二烯醇是漆籽油特有的, 未在其他植物油中被发现。因此, 可进一步研究漆籽油中这些特有物质的功效及作用, 提高漆籽油的利用价值。

参考文献:

- [1] 张飞龙, 张武桥, 魏朔南. 中国漆树资源研究及精细化应用[J]. *中国生漆*, 2007, 26(2): 36-50.
- [2] 王成章. 漆籽漆蜡(油)的化学组成和开发前景[J]. *林业科技通讯*, 2000(9): 5-6.
- [3] 王洪云. 漆蜡(油)的成分及其综合利用价值[J]. *中国民族民间医药*, 2013(8): 3-5.
- [4] 王成章, 王庆峰. 漆蜡的理化特性及其化学成分研究[J]. *中国野生植物资源*, 2000, 19(4): 35-37.
- [5] 郭慧然, 廖学焜, 王会平. 含二元酸植物资源研究(1): 野漆蜡的二元酸分析[J]. *中国生漆*, 1987, 6(3): 3-7.
- [6] 董艳鹤, 王成章, 叶建中, 等. 漆蜡的提取工艺及其化学成分研究[J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32(4): 256-260.
- [7] 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.
- [8] 司耀彬, 聂建军, 黄涛, 等. 漆树籽油制备生物柴油的研究[J]. *粮油加工*, 2008(6): 67-70.
- [9] 王森, 谢碧霞, 何方, 等. 秦岭山区漆树种籽含油率与脂肪酸成分分析[J]. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31(3): 97-101.
- [10] 胡亿明, 谢碧霞, 余江帆. 溶剂法萃取漆油的工艺研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(4): 59-63.
- [11] 林炎兴. 我国漆籽漆蜡资源开发利用的探讨[J]. *中国生漆*, 1998, 17(11): 42-43.
- [12] 史伯安, 胡卫兵, 瞿万云, 等. 漆籽漆蜡(油)提取方法的研究[J]. *中国油脂*, 2004, 29(7): 44-47.
- [13] 高志英, 沙丽娜. 傣族漆油饮食文化论[J]. *民族学刊*, 2015, 31(5): 54-63.
- [14] 邓莉, 何静仁, 何毅, 等. 气相色谱-质谱联用法测定植物油中脂肪酸组成[J]. *中国调味品*, 2019, 44(6): 157-159, 167.
- [15] 阿拉坦图雅, 张丽, 乌志颜, 等. 9种食用植物油脂肪酸成分分析[J]. *赤峰学院学报(自然科学版)*, 2019, 35(12): 5-7.
- [16] 夏琛, 崔心禹, 项婷, 等. 棕榈油酸功能的研究进展[J]. *中国油脂*, 2020, 45(2): 39-43.