

不同产地枇杷种子油营养成分对比 及其小鼠灌胃毒理测试

周吉森¹, 张 翼¹, 闫荣玲¹, 殷欣然¹, 罗金强², 廖 阳¹

(1. 湖南科技学院 化学与生物工程学院, 木本油料资源利用国家重点实验室永州分中心, 湖南 永州 425199;

2. 重庆市潼南区农业农村委员会, 重庆 402660)

摘要: 旨在为枇杷种子油作为新型木本植物油脂开发利用提供依据, 采用超声辅助提取四川、福建、浙江、安徽、江苏 5 个产地枇杷种子中的油脂, 测定了枇杷种子油的脂肪酸组成与微量营养成分含量, 并进行小鼠灌胃毒理测试。结果表明: 四川、福建、浙江、安徽、江苏的枇杷种子油得率分别为 9.8%、11.2%、8.6%、8.8%、10.5%; 枇杷种子油含有十三烷酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、山萘酸、木蜡酸等 8 种脂肪酸, 其中棕榈酸、油酸、亚油酸含量较高, 不饱和脂肪酸含量为 50.68%~55.20%, 5 个产地枇杷种子油的脂肪酸含量存在差异; 5 个产地枇杷种子油中黄酮、多酚、生育酚、甾醇含量分别为 146.7~164.2 mg/100 g、5.3~7.5 mg/100 g、47.6~62.4 mg/100 g、188.2~229.3 mg/100 g, 不同产地枇杷种子油间同一微量营养成分含量差异明显。小鼠灌胃毒理测试结果表明, 枇杷种子油未导致实验小鼠行为、体征、脏器等异常。综上, 枇杷种子油营养丰富且安全, 有望成为一种具有显著开发价值的新型木本植物油脂。

关键词: 枇杷; 种子油; 微量营养成分; 脂肪酸; 灌胃毒理测试

中图分类号: TS225.1; TQ646

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2025)09-0091-05

Comparison on the nutrient components of *Eriobotrya japonica* seed oil from different origins and its toxicological test on mice by gavage

ZHOU Jisen¹, ZHANG Yi¹, YAN Rongling¹, YIN Xinran¹,
LUO Jinqiang², LIAO Yang¹

(1. Branch Center of State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil Resources, College of Life Sciences and Chemistry Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, Hunan, China;

2. Agricultural and Rural Committee of Tongnan District in Chongqing, Chongqing 402660, China)

Abstract: In order to provide a basis for the development and utilization of *Eriobotrya japonica* seed oil as a new woody plant oil, ultrasound-assisted method was used to extract oil from *E. japonica* seed of five origins, namely Sichuan, Fujian, Zhejiang, Anhui and Jiangsu, and the fatty acid composition and micronutrient content of *E. japonica* seed oil were determined, and its toxicological test on mice by gavage was carried out. The results showed that the yields of *E. japonica* seed oil from Sichuan, Fujian, Zhejiang, Anhui and Jiangsu were 9.8%, 11.2%, 8.6%, 8.8% and 10.5%, respectively. The *E. japonica* seed oil contained eight fatty acids, including tridecanoic acid, palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, stearic acid, arachidic acid, behenic acid and lignoceric acid, with the higher contents of palmitic acid, oleic acid and linoleic acid, the unsaturated fatty acid contents ranged from 50.68% to 55.20%, and the content of each fatty

收稿日期: 2024-05-28; 修回日期: 2025-05-12

基金项目: 木本油料资源利用国家重点实验室开放基金 (2022kfj-10); 湖南科技学院科学研究项目 (23XKYZZ02)

作者简介: 周吉森 (2001), 男, 在读本科, 生物技术专业 (E-mail) 2739596145@qq.com; 张 翼 (1984), 男, 工程师, 主要从事植物资源开发研究 (E-mail) 36982537@qq.com。周吉森与张翼为共同第一作者。

通信作者: 闫荣玲, 副教授 (E-mail) yanrongling0912@163.com; 廖 阳, 教授 (E-mail) liaoyang1127@163.com。

Anhui and Jiangsu were 9.8%, 11.2%, 8.6%, 8.8% and 10.5%, respectively. The *E. japonica* seed oil contained eight fatty acids, including tridecanoic acid, palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, stearic acid, arachidic acid, behenic acid and lignoceric acid, with the higher contents of palmitic acid, oleic acid and linoleic acid, the unsaturated fatty acid contents ranged from 50.68% to 55.20%, and the content of each fatty

acid in *E. japonica* seed oil of five origins differed. The contents of flavonoid, polyphenol, tocopherol, sterol in *E. japonica* seed oil of five origins were 146.7 – 164.2 mg/100 g, 5.3 – 7.5 mg/100 g, 47.6 – 62.4 mg/100 g, and 188.2 – 229.3 mg/100 g, respectively, and the same micronutrient varied significantly among different origins. The results of the toxicological test on mice by gavage showed that *E. japonica* seed oil did not cause any abnormalities in the behavior, signs and organs of experimental mice. In conclusion, *E. japonica* seed oil is rich in nutrients and safe, and is expected to be a new type of woody plant oil with significant development value.

Key words: *Eriobotrya japonica*; seed oil; micronutrient; fatty acid; toxicological test by gavage

寻找成本低、产量高、品质佳的新型植物油脂资源是缓解全球油脂供需矛盾的重要途径。木本植物不占用耕地、种子产量大等优点使其在新型植物油脂资源挖掘中具有独特优势。近年来,越来越多的木本植物种子油受到关注,并在相关基础研究与综合利用研究等方面取得了丰硕成果,部分木本植物油如元宝枫种子油已被纳入国家新资源食品范畴^[1-2]。

枇杷(*Eriobotrya japonica*)属于蔷薇科枇杷属常绿乔木,其果实口感好,富含维生素、苦杏仁苷、白芦梨醇等多种有益成分,具有清咽润肺、止咳化痰等功效^[3],营养价值高。枇杷广泛种植于我国南方,其种子占果实总质量的比例高,大量枇杷在利用完果肉后其种子被舍弃,造成资源浪费。近年来,研究人员开始逐渐关注枇杷种子油的开发利用研究,目前已初步弄清枇杷种子的含油量,同时摸索了枇杷种子油的提取工艺^[4-5]。植物种子油一般含有角鲨烯、甾醇、生育酚、黄酮、类胡萝卜素等活性物质,这些活性物质赋予其特殊口感,独特风味,以及抗氧化、抗衰老、强免疫、护神经等保健功效,不同程度地提升了植物种子油的营养和保健价值,因此活性物质种类及含量是衡量植物种子油综合品质的重要指标^[2, 4, 6-7]。提取植物种子油时种仁或种皮等部位中的有毒有害物质也可能随油脂析出,这些有毒有害物质进入人体后会引发急、慢性毒理效应,危害人体健康与生命安全。因此,对新挖掘的植物种子油进行毒理测试是对其进行安全应用的重要前提^[8-9]。目前,我国枇杷种子油相关基础研究资料还很欠缺,且鲜见不同产地间横向比较的研究报道。

基于此,本研究比较了我国四川、福建、浙江、安徽、江苏5个枇杷主产区的枇杷种子油得率、脂肪酸组成、微量营养成分,并对提取的枇杷种子油进行小鼠灌胃毒理测试,以期枇杷种子油作为新型木本植物油脂开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

5个产地的枇杷种子,分别从来自四川雅安、福建漳州、浙江杭州、安徽歙县、江苏苏州的当年6月份自然成熟的大五星枇杷果实中,分离得到的外观饱满、光亮,无异常的种子。

正己烷、石油醚、甲醇、氢氧化钾、亚硝酸钠、三氟化硼、氢氧化钠、福林酚、碳酸钠、硝酸铝等均为分析纯;乙腈、芦丁与没食子酸标准品等均为色谱纯;去离子水(实验室自制)。

1.1.2 仪器与设备

AE124J型电子分析天平、QP2010s型气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;HH型三用恒温水浴箱,江苏国盛实验仪器公司;DHG-9070AS型电热恒温鼓风干燥箱,宁波江南仪器厂;722型可见分光光度计,翱乙仪器有限公司;A-88型多功能粉碎机,常州金南仪器制造有限公司;Scientz-IID超声波细胞破碎仪,宁波新芝生物科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 枇杷种子预处理

将枇杷种子放入60℃电热恒温鼓风干燥箱中干燥至恒重后,冷却至室温并用粉碎机粉碎后过0.25 mm(60目)筛备用。

1.2.2 超声辅助提取枇杷种子油

精确称取10 g枇杷种子粉末,置于250 mL锥形瓶中。将锥形瓶固定于超声波细胞破仪中,以石油醚为溶剂,在固液比1:15、超声时间20 min、温度60℃、超声功率180 W条件下提取1次后,经过滤、旋转蒸发、干燥后获得枇杷种子油^[10]。以枇杷种子油质量与枇杷种子粉末质量比计算枇杷种子油得率。重复3次,结果取平均值。

1.2.3 枇杷种子脂肪酸组成分析

称取0.05 g枇杷种子油于烧瓶中,加入8.0 mL 0.4 mol/L甲醇-氢氧化钾溶液,于冷凝回流装置

中加热至 80℃,回流 40 min,待成为无油滴状液体后,从冷凝器回流管上端加入 7.0 mL 15% 的三氟化硼-甲醇溶液,继续回流 2 min 后停止加热。取下烧瓶置于水浴中冷却至室温后加入 10~30 mL 正己烷,振摇 2 min,添加适量饱和氯化钠溶液,静置分层后取上清,进气相色谱-质谱联用仪分析。

气相色谱(GC)条件:Inertca 色谱柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm),柱箱温度 100℃;进样口温度 320℃;载气为 He,总流量 25.0 mL/min,柱流量 2.00 mL/min,吹扫流量 3.0 mL/min;进样方式为分流进样,分流比 10:1;升温程序为初始温度 150℃,保持 3.5 min,以 20℃/min 升温至 200℃,保持 5 min,以 5℃/min 升温至 280℃,保持 20 min。质谱(MS)条件:电子电离源;电子能量 70 eV;离子源温度 230℃,接口温度 320℃,溶剂延迟时间 2 min;全扫描模式,质量扫描范围(m/z)50~500。

通过检测器自带质谱库对总离子流图的峰进行检索,以保留时间、匹配度和标准质谱图确定脂肪酸种类,采用峰面积归一化法进行定量。

1.2.4 枇杷种子油微量营养成分测定

参照 GB 5009.82—2016 测定生育酚含量,参考文献[11-12]测定黄酮、多酚、甾醇含量。

1.2.5 小鼠灌胃毒理测试

以福建枇杷种子油为代表进行小鼠灌胃毒理测试。以 20 只体质量 20~22 g 的健康成年昆明小鼠为测试对象,实验组与对照组各 10 只,雌雄各半且分笼饲养,小鼠饲养环境、食物、饮水等保持一致。实验组小鼠每天分别于中午 12 时和晚上 7 时进行 2 次灌胃处理,每次灌胃剂量 25 μL/g(约 0.5 mL 油);对照组小鼠则于相同时间灌胃相同体积蒸馏水。连续灌胃 3 周,期间观察并记录小鼠体征(毛色、肤色、掉毛情况、排便情况、个体死亡)和行为(食量、日常活动)变化,并在灌胃 3 周后处死小鼠,取其脏器(心、肝、脾、胃),采用肉眼和显微镜观察其外观颜色与结构^[8-9]。

2 结果与分析

2.1 不同产地枇杷种子油得率

经测定,四川、福建、浙江、安徽、江苏 5 个产地的枇杷种子油得率分别为 9.8%、11.2%、8.6%、8.8%、10.5%。经显著性分析可知,浙江、安徽 2 个产地间枇杷种子油得率差异不显著($p>0.05$),其余 3 个产地间的枇杷种子油得率差异显著($p<0.05$),且均显著高于浙江、安徽 2 个产地的种子油($p<0.05$)。以油脂得率最高的福建枇杷种子为代表,比较其种子油与其他木本植物种子油的得率可知,枇杷种子油的得率较芸香科柑橘属的刺梨种子

油的(8.27%)^[13]稍高,但低于辣木(35.2%)^[10]、沙枣(23.84%)^[14]、牡丹(29.0%)^[15]、元宝枫(42.14%)^[16]等木本植物种子油。

2.2 不同产地枇杷种子油脂肪酸组成及相对含量

5 个产地枇杷种子油脂肪酸组成及相对含量见表 1。

表 1 5 个产地枇杷种子油脂肪酸组成及相对含量($n=3$)
Table 1 Composition and relative contents of fatty acid in *E. japonica* seed oil from five origins ($n=3$) %

脂肪酸	安徽	浙江	福建	四川	江苏
十三烷酸	0.24	0.36	0.56	0.58	0.31
棕榈酸	35.35	38.67	34.41	35.93	35.95
油酸	32.77	33.80	31.52	29.91	34.57
亚油酸	19.72	17.75	21.16	20.77	20.63
硬脂酸	4.42	3.65	4.01	4.38	3.41
花生酸	0.53	0.38	0.57	0.68	0.39
山嵛酸	4.24	3.93	4.87	4.95	2.05
木蜡酸	2.73	1.46	2.90	2.80	2.69
饱和脂肪酸	47.51	48.45	47.32	49.32	44.80
不饱和脂肪酸	52.49	51.55	52.68	50.68	55.20

由表 1 可看出,5 个产地枇杷种子油均含 8 种脂肪酸,分别是十三烷酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸、木蜡酸,其中棕榈酸、油酸、亚油酸含量较高,三者总含量达到 86.61%~91.15%。本研究所测得枇杷种子油的棕榈酸相对含量高于已有报道枇杷仁油的(14.8%^[4]和 26.01%^[5])。5 个产地枇杷种子油的脂肪酸组成及相对含量存在一定差异,这可能与原料产地不同有关。

由表 1 可知,5 个产地枇杷种子油的不饱和脂肪酸包括油酸、亚油酸 2 种,不饱和脂肪酸相对含量在 50.68%~55.20% 之间,普遍低于其他草本植物油(大豆油 83.61%^[17]、花生油 75.35%^[18]、菜籽油 81.20%^[19])或木本植物油(油茶籽油 89.72%^[20]、牡丹籽油 91.02%~92.06%^[21])。

2.3 不同产地枇杷种子油的微量营养成分

5 个产地枇杷种子油中黄酮、多酚、生育酚、甾醇含量如表 2 所示。

表 2 5 个产地枇杷种子微量营养成分含量($n=3$)
Table 2 Content of micronutrient in *E. japonica* seed oil from five origins ($n=3$) mg/100 g

产地	黄酮	多酚	生育酚	甾醇	总量
浙江	152.6±12.5 ^b	5.7±0.3 ^a	55.6±2.6 ^c	192.6±8.2 ^a	406.5
安徽	164.2±11.8 ^c	7.5±0.5 ^b	47.6±4.2 ^a	212.4±7.8 ^c	431.7
福建	146.7±8.9 ^a	5.5±0.3 ^a	50.7±1.8 ^b	229.3±7.3 ^d	432.2
四川	148.5±9.2 ^a	5.3±0.2 ^a	62.4±2.5 ^d	188.2±5.6 ^a	404.4
江苏	151.3±10.6 ^b	5.6±0.4 ^a	54.1±2.3 ^c	199.2±6.2 ^b	410.2

注:同列中不同字母表示存在显著差异($p<0.05$)
Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($p<0.05$)

由表 2 可知,5 个产地枇杷种子油均含有黄酮(146.7~164.2 mg/100 g)、多酚(5.3~7.5 mg/100 g)、生育酚(47.6~62.4 mg/100 g)、甾醇(188.2~229.3 mg/100 g)等活性物质,四者总含量介于 404.4~432.2 mg/100 g,但不同产地之间微量营养成分含量存在差异,其中安徽枇杷种子油中黄酮、多酚含量最高,四川枇杷种子油中生育酚含量最高,福建枇杷种子油甾醇含量最高。这与不同产地的光照、湿度、温度、土壤营养等环境因子不尽相同有关^[22]。研究表明,黄酮、生育酚、多酚具有抗氧化、延缓衰老等作用^[23-24],甾醇则具有调节代谢、抑制肿瘤、改善中枢神经系统等作用^[25-26]。可见,不同产地枇杷种子油营养价值存在差异。

2.4 枇杷种子油的小鼠灌胃毒理测试结果

经枇杷种子油灌胃 3 周后,对照组和实验组小鼠均未出现食欲、体质量、毛色、肤色、日常活动节律、排便次数和性状的异常,无异常掉毛及个体死亡现象。测试期结束后,经肉眼及解剖观察未发现小鼠心、肝、脾、胃等脏器出现明显表观颜色和结构异常。基于上述结果可知,枇杷种子油对动物体未产生明显急性毒害效应^[8-9]。

3 结 论

采用超声辅助提取四川、福建、浙江、安徽、江苏 5 个产地的枇杷种子油,得率在 8.6%~11.2% 之间。5 个产地枇杷种子油均含有十三烷酸、棕榈酸、油酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸、木蜡酸等 8 种脂肪酸,各脂肪酸的相对含量之间存在差异,但均以棕榈酸、油酸、亚油酸含量较高,三者总含量达到 86.61%~91.15%;5 个产地枇杷种子油中的不饱和脂肪酸相对含量在 50.68%~55.20% 之间。5 个产地枇杷种子油均含黄酮、多酚、生育酚、甾醇等微量营养成分,四者总含量介于 404.4~432.2 mg/100 g 之间。不同产地枇杷种子油微量营养成分含量存在差异,安徽枇杷种子油中黄酮、多酚含量,四川枇杷种子油中生育酚含量,福建枇杷种子油中甾醇含量高于其他产地的。枇杷种子油灌胃处理未导致小鼠出现食欲、体质量、毛色、肤色、日常活动节律、排便次数和性状异常以及异常掉毛、个体死亡现象,也未引发小鼠的心、肝、脾、胃等脏器明显的表观颜色及结构异常。多样的脂肪酸组成,高含量的不饱和脂肪酸,多样化的微量活性成分,以及不诱发机体体征、行为、脏器异常,赋予了枇杷种子油良好的营养与保健功效和显著的开发利用潜力。

参考文献:

[1] 王瑞元. 我国木本油料产业发展现状、问题及建议[J].

中国油脂, 2020, 45(2): 1-2, 20.

- [2] 尹丹丹, 李珊珊, 吴倩, 等. 我国 6 种主要木本油料作物的研究进展[J]. 植物学报, 2018, 53(1): 110-125.
- [3] 罗吉庆, 张永杰, 江丽慧, 等. 枇杷营养价值和功能价值的应用研究[J]. 农产品加工, 2021(4): 83-87.
- [4] 严小平. 超声波辅助与溶剂萃取枇杷仁油方法比较研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(1): 76-79.
- [5] 杨震峰, 李昂, 陈伟, 等. 响应曲面法建立超临界 CO₂ 萃取枇杷果仁油脂工艺模型及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 158-162.
- [6] 涂行浩, 杜丽清, 魏芳, 等. 我国 7 种典型热带木本油料加工研究现状[J]. 热带农业科学, 2019, 39(4): 114-122.
- [7] 廖阳, 李昌珠, 于凌一丹, 等. 我国主要木本油料油脂资源研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(8): 151-160.
- [8] 刘世彪, 谭秀梅, 彭小列, 等. 绞股蓝种子油的提取、成分分析和急性毒性实验[J]. 广西植物, 2014, 34(1): 130-134.
- [9] 闫荣玲, 龙毅, 廖阳, 等. 薄荷种子油超声辅助提取工艺及其脂肪酸组成、理化性质与急性毒性分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(5): 16-19, 27.
- [10] 伍雅士, 刘佳丽, 闫荣玲, 等. 超声辅助提取 3 种植物中药种子油的脂肪酸组成及活性成分研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(12): 131-137.
- [11] 田潇潇, 王羚, 方学智, 等. 不同干燥方式对山桐子油理化性质、脂肪酸组成及微量营养成分含量的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 8-11, 55.
- [12] 徐洪宇, 朱丽蓉, 董娟娥, 等. 楸树种子油中活性成分及其粕中黄酮类成分研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(2): 64-69.
- [13] 涂小艳, 余剑锋, 陈纤纤, 等. 贵州刺梨种子油提取工艺研究及理化性质分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(3): 145-148.
- [14] 张娜, 刘源. 水酶法提取沙枣种子油工艺研究[J]. 塔里木大学学报, 2012, 24(2): 56-61.
- [15] 姚欢欢. 油用牡丹种子油提取及剩余物综合利用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [16] 周子煜. 元宝枫籽油超临界 CO₂ 萃取最佳工艺优化及其质量评价[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 156-160, 168.
- [17] 王瑾, 李祖光, 胡伟, 等. 大豆油中脂肪酸组成的气相色谱-质谱分析[J]. 浙江科技学院学报, 2003(S1): 16-18.
- [18] 于森, 周玥彤, 马佳慧, 等. 两种冷榨花生油理化性质及抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(21): 38-43.
- [19] 刘家欣, 朱苗力, 黄诚, 等. 气相色谱/质谱法分析菜籽油中脂肪酸[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 1997, 18(3): 52-54.

(下转第 113 页)

- 广州: 华南理工大学, 2012.
- [11] WANG X, CHEN Y, ZHENG L, et al. Synthesis of 1, 3 - distearoyl - 2 - oleoylglycerol by enzymatic acidolysis in a solvent - free system[J]. Food Chem, 2017, 228: 420 - 426.
- [12] RIVERO - PINO F, PADIAL - DOMINGUEZ M, GUADIX E M, et al. Novozyme 435 and Lipozyme RM IM preferably esterify polyunsaturated fatty acids at the Sn - 2 position[J/OL]. Eur J Lipid Sci Technol, 2020, 122(10): 2000115[2024 - 07 - 04]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000115>.
- [13] HUANG C, LIU Z, HUANG W, et al. Fabrication, characterization, and purification of nutraceutical diacylglycerol components from camellia oil[J]. J Food Sci, 2022, 87(9): 3856 - 3871.
- [14] DIAO X, SUN W, JIA R, et al. Preparation and characterization of diacylglycerol via ultrasound - assisted enzyme - catalyzed transesterification of lard with glycerol monolaurate[J/OL]. Ultrason Sonochem, 2023, 95: 106354[2024 - 07 - 04]. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2023.106354>.
- [15] LI Y, LI C, FENG F, et al. Synthesis of medium and long - chain triacylglycerols by enzymatic acidolysis of algal oil and lauric acid[J/OL]. LWT - Food Sci Technol, 2021, 136: 110309[2024 - 07 - 04]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110309>.
- [16] CORDOVA A, HENRÍQUEZ P, NUÑEZ H, et al. Recent advances in the application of enzyme processing assisted by ultrasound in agri - foods: A review[J/OL]. Catalysts, 2022, 12(1): 107[2024 - 07 - 04]. <https://doi.org/10.3390/catal12010107>.
- [17] MENG Z, GENG W X, LI J W, et al. Enzymatically catalyzed synthesis of anti - blooming agent 1, 3 - dibehenoyl - 2 - oleoyl glycerol in a solvent - free system: Optimization by response surface methodology[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(45): 10798 - 10806.
- [18] LIU N, WANG Y, ZHAO Q, et al. Fast synthesis of 1, 3 - DAG by Lecitase® Ultra - catalyzed esterification in solvent - free system[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2011, 113(8): 973 - 979.
- [19] GHARAT N, RATHOD V K. Ultrasound assisted enzyme catalyzed transesterification of waste cooking oil with dimethyl carbonate[J]. Ultrason Sonochem, 2013, 20(3): 900 - 905.
- [20] HAN L, XU Z, HUANG J, et al. Enzymatically catalyzed synthesis of low - calorie structured lipid in a solvent - free system: Optimization by response surface methodology[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(23): 12635 - 12642.
- [21] CHANG X, HOU Y, LIU Q, et al. Physicochemical and antimicrobial properties of chitosan composite films incorporated with glycerol monolaurate and nano - TiO₂[J/OL]. Food Hydrocolloid, 2021, 119: 106846[2024 - 07 - 04]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106846>.
- [22] CHURCHWARD C P, ALANY R G, SNYDER L A S. Alternative antimicrobials: The properties of fatty acids and monoglycerides[J]. Crit Rev Microbiol, 2018, 44(5): 561 - 570.
- [23] WANG L, WANG Y, HU C, et al. Preparation of diacylglycerol - enriched oil from free fatty acids using Lecitase Ultra - catalyzed esterification[J]. J Am Oil Chem Soc, 2011, 88(10): 1557 - 1565.
-
- (上接第 94 页)
- [20] 陈振超, 倪张林, 莫润宏, 等. 7 种木本油料油脂品质综合评价[J]. 中国油脂, 2018, 43(11): 80 - 85.
- [21] 王灵芝, 徐宝成, 陈树兴, 等. 不同产地及品种牡丹籽油脂脂肪酸和角鲨烯含量的分析[J]. 中国油脂, 2023, 49(5): 120 - 125.
- [22] 黄霄, 姚丹, 陆爱华, 等. 江苏不同产地“白玉”枇杷果实品质与果实和土壤中矿质元素含量的相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 85 - 92.
- [23] 葛宇飞, 朱冰瑶, 方晶晶, 等. 龙眼核油脂成分及其抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 91 - 95.
- [24] 肖新生, 唐琳芝, 杨舒曼, 等. 不同产地山苍子油主要活性成分及风味特征差异分析[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(8): 165 - 174.
- [25] COFÁN M, ROS E. Use of plant sterol and stanol fortified foods in clinical practice[J]. Curr Med Chem, 2019, 26(37): 6691 - 6703.
- [26] ZHAO J Q, HAO Y Y, GONG T T, et al. Phytosterol intake and overall survival in newly diagnosed ovarian cancer patients: An ambispective cohort study[J/OL]. Front Nutr, 2022, 9: 974367[2024 - 05 - 28]. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.974367>.