

盾叶木籽油的理化性质、热特性及抗氧化性能

杨梦¹, 毕荣璐², 张平³, 王爱民⁴, 陆桂蒙¹, 汪海翔¹, 刘祥义¹, 徐娟¹

(1. 西南林业大学材料与化学工程学院, 昆明 650224; 2. 楚雄云植药业有限公司, 云南 楚雄 675000;
3. 德宏州老科技工作者协会, 云南 德宏 678400; 4. 云南优汇生物科技有限公司, 昆明 650224)

摘要:旨在为盾叶木籽油的进一步开发利用提供参考, 采用索氏提取法提取带壳和不带壳盾叶木籽中油脂, 测定带壳盾叶木籽油(HMGO)和不带壳盾叶木籽油(NMGO)的理化指标、总多酚含量、脂肪酸组成、热特性和抗氧化活性, 比较两种盾叶木籽油的性质差异。结果表明:带壳盾叶木籽含油率略低于不带壳的, NMGO的酸值、过氧化值、总多酚及不皂化物含量低于HMGO的, 而其皂化值高于HMGO的; HMGO和NMGO分别检出21种和20种脂肪酸, 其中神经酸含量最高(NMGO 43.00%和HMGO 41.10%), 其次是芥酸(NMGO 30.20%和HMGO 28.80%); HMGO低温结晶在-4.19℃处熔融, 快速热解温度在355~441℃, NMGO低温结晶在-3.68℃处熔融, 快速热解温度在363~440℃, 两种盾叶木籽油均在407℃质量损失速率达到最大值; 盾叶木籽油对DPPH自由基及ABTS自由基均具有不同程度的清除作用, 清除能力随着其浓度的升高而增大, 且HMGO较NMGO对DPPH自由基及ABTS自由基清除能力强。综上, 盾叶木籽油可作为神经酸和芥酸的来源资源进行开发利用。

关键词:盾叶木籽油; 理化性质; 热特性; 脂肪酸; 抗氧化活性

中图分类号:TS225.1; TS227 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2024)06-0053-06

Physicochemical property, thermal characteristics and antioxidant activity of *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil

YANG Meng¹, BI Ronglu², ZHANG Ping³, WANG Aimin⁴, LU Guimeng¹,
WANG Haixiang¹, LIU Xiangyi¹, XU Juan¹

(1. School of Materials and Chemical Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;
2. Chuxiong Yunzhi Pharmaceutical Co., Ltd., Chuxiong 675000, Yunnan, China; 3. Dehong Autonomous Prefecture Association of Senior Scientists and Technicians, Dehong 678400, Yunnan, China;
4. Yunnan Youhui Biotechnology Co., Ltd., Kunming 650224, China)

Abstract: Aiming to provide a reference for further development and utilization of *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil, the oil was extracted from *Macaranga adenantha* Gagnep. seed with shell and without shell by Soxhlet extraction. The physicochemical properties, total polyphenol content, fatty acid composition, thermal characteristics and antioxidant activities of *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil with shell (HMGO) and without shell (NMGO) were determined. A comparative analysis between HMGO and NMGO was conducted to investigate their respective properties. The results showed that the oil content in *Macaranga adenantha* Gagnep. seed with shell was slightly lower than that without shell. The

收稿日期: 2023-12-03; 修回日期: 2024-02-15

基金项目: 云南省农业基础研究联合专项重点项目 (202301BD070001-158)

作者简介: 杨梦(2001), 女, 硕士研究生, 研究方向为生物质资源检测与分析 (E-mail) 2740484864@qq.com。

通信作者: 徐娟, 正高级实验师 (E-mail) 58045846@qq.com。

acid value, peroxide value, total polyphenols and unsaponified contents of NMGO were lower than those of HMGO, whereas the saponification value was higher for NMGO. A total of 21 and 20 fatty acids were detected from HMGO and NMGO, respectively, in which nervonic acid was the

dominant fatty acid in both, with a content of 43.00% in NMGO and 41.10% in HMGO, followed by erucic acid with 30.20% in NMGO and 28.80% in HMGO. The melting peak temperatures of HMGO and NMGO low-temperature crystallisation were $-4.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-3.68\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectively. Both oils had a rapid pyrolysis temperature range between $355 - 441\text{ }^{\circ}\text{C}$ (HMGO) and $363 - 440\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NMGO), respectively. The maximum mass loss of both oils occurred at $407\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil had different scavenging effects on DPPH and ABTS free radicals, and the scavenging ability increased with the increase of concentration. Furthermore, HMGO exhibited superior scavenging ability on DPPH and ABTS free radicals in comparison with NMGO. In conclusion, *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil can be developed and utilized as a source of nervonic and erucic acid.

Key words: *Macaranga adenantha* Gagnep. seed oil; physicochemical property; thermal characteristics; fatty acid; antioxidant activity

盾叶木 (*Macaranga adenantha* Gagnep.), 属于被子植物门、双子叶植物纲、蔷薇亚纲、大戟目血桐属, 也被称为印度血桐, 其蒴果双球形, 长 4 mm , 宽 $7 \sim 8\text{ mm}$, 具颗粒状腺体, 果梗长约 8 mm , 花期 5—7 月, 果期 7—10 月, 广泛分布在我国广东中西部、广西、贵州西南部、云南东南部^[1-2]。盾叶木籽中含有一定量油脂, 盾叶木籽油富含神经酸^[3]。神经酸是神经组织和神经细胞的重要成分, 具有促进大脑发育, 增强记忆力, 修复受损的神经纤维等作用^[4]。目前的研究表明, 含有神经酸的木本植物油有蒜头果油、元宝枫籽油、文冠果油等^[5]。在含有神经酸的植物油种类较少的背景下, 探究能作为神经酸资源的植物油尤为重要。目前对盾叶木的研究主要集中在化学成分及其生物活性^[6], 以及盾叶木籽营养成分组成等方面^[7], 而有关盾叶木籽油理化性质及热特性等研究尚未见报道。本文以带壳和不带壳盾叶木籽为原料, 采用国标方法提取盾叶木籽油, 研究其理化性质、热特性及抗氧化活性, 以期对盾叶木籽的进一步开发利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

盾叶木籽, 采集于云南优汇生物科技有限公司的德宏州盈江县基地。油酸甲酯、亚油酸甲酯、亚麻酸甲酯、芥酸甲酯等 21 种脂肪酸甲酯标样 (色谱纯), 国药集团化学试剂有限公司; 石油醚、氢氧化钾、乙醇、碘化钾、硫代硫酸钠, 阿拉丁试剂 (上海) 有限公司; 无水碳酸钠, 成都市科隆化学品有限公司; 没食子酸、福林酚, 上海麦克林生化科技股份有限公司。

Agilent GC7890A 气相色谱仪, 安捷伦公司; DSC-204F1 型差示扫描量热分析仪; ZA120R4 电子天平; FZG 型真空干燥箱; 紫外分光光度计; TDZ4 -

WS 低速离心机。

1.2 实验方法

1.2.1 盾叶木籽粒特征指标的测定

分别按照 GB 5009.6—2016、GB/T 5519—2018 测定盾叶木籽含油率、千粒质量, 采用游标卡尺测定盾叶木籽平均直径。

1.2.2 盾叶木籽油的提取

采用索氏提取法提取盾叶木籽油。

1.2.3 盾叶木籽油的基本理化性质及总多酚含量的测定

分别参照 GB/T 5527—2010、GB 5009.227—2016、GB 5009.229—2016、GB/T 5534—2008、GB/T 5535.1—2008 测定盾叶木籽油的折光指数、过氧化值、酸值、皂化值和不皂化物含量, 参照 LS/T 6119—2017 测定盾叶木籽油的总多酚含量。

1.2.4 盾叶木籽油脂肪酸组成及相对含量测定

采用气相色谱法测定盾叶木籽油脂肪酸组成及相对含量。参照 GB 5009.168—2016 进行甲酯化, 参照文献[8]进行气相色谱分析。以标准品的保留时间定性, 峰面积归一化法定量。

1.2.5 盾叶木籽油热特性分析

采用差示扫描量热分析仪对盾叶木籽油进行热重 (TG/DTG) 和差示扫描量热 (DSC) 分析。TG/DTG 分析条件参照文献[9]。DSC 分析条件: 升温范围 $-80 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 升温速率 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

1.2.6 盾叶木籽油抗氧化活性测定

1.2.6.1 盾叶木籽油的 DPPH 自由基清除能力

参考岳华岭等^[10]的方法, 配制成质量浓度分别为 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 2.5 mg/mL 的盾叶木籽油无水乙醇溶液, 各取 2 mL 移入比色管中, 分别加入 $2\text{ mL } 0.02\text{ mg/mL}$ DPPH-无水乙醇标准溶液, 混匀后静置 30 min , 在 517 nm 波长处测定吸光度。根据

式(1)计算盾叶木籽油对 DPPH 自由基的清除率(x)^[11]。

$$x = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_1 为 2 mL 样品溶液和 2 mL DPPH - 无水乙醇混合溶液的吸光度; A_0 为 2 mL 无水乙醇和 2 mL DPPH - 无水乙醇混合溶液的吸光度; A_2 为 2 mL 样品溶液和 2 mL 无水乙醇的吸光度。

1.2.6.2 盾叶木籽油的 ABTS 自由基清除能力

ABTS 混合溶液的配制:分别移取 7 mmol/L ABTS 乙醇溶液和 2.45 mmol/L 过硫酸钾水溶液各 5 mL 混合均匀后得到 ABTS 母液,在室温下置于暗处反应 12 h,用水稀释母液直至在 734 nm 波长处吸光度为 0.70 ± 0.02 。

配制质量浓度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL 的盾叶木籽油无水乙醇溶液,各取 2 mL 移入比色管中,再加入 8 mL ABTS 混合溶液,置于黑暗环境中常温反应 6 min 后,在 734 nm 波长处测定吸光度。按式(2)计算盾叶木籽油对 ABTS 自由基的清除率(x)。

$$x = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_1 为 2 mL 样品溶液和 8 mL ABTS 混合溶液的吸光度; A_0 为 2 mL 无水乙醇和 8 mL ABTS 混合溶液的吸光度; A_2 为 2 mL 样品溶液和 8 mL 无水乙醇的吸光度。

1.2.7 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 对数据进行整理分析,用 Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 盾叶木籽粒特征

表 1 为盾叶木籽粒特征。

表 1 盾叶木籽粒特征

原料	含油率/%	千粒质量/g	平均直径/cm
带壳盾叶木籽	17.470 ± 0.379	0.041 ± 0.001	0.492 ± 0.003
不带壳盾叶木籽	18.810 ± 0.165	0.027 ± 0.001	0.393 ± 0.002

从表 1 可以看出,不带壳盾叶木籽的含油率(18.810%)高于带壳盾叶木籽的含油率(17.470%),去壳后,盾叶木籽千粒质量和平均直径均减少,其中壳占总质量的 34.146%。

2.2 盾叶木籽油基本理化性质及总多酚含量

带壳盾叶木籽油(HMGO)和不带壳盾叶木籽油(NMGO)的基本理化性质及总多酚含量见表 2。

表 2 盾叶木籽油的基本理化性质及总多酚含量

项目	HMGO	NMGO
酸值(KOH)/(mg/g)	43.915 ± 0.742	37.015 ± 0.247
过氧化值/(g/100 g)	1.815 ± 0.120	1.600 ± 0.141
折光指数(25℃)	1.403 ± 0.068	1.408 ± 0.060
皂化值(KOH)/(mg/g)	182.310 ± 1.824	196.730 ± 0.962
不皂化物/%	17.537 ± 0.126	6.802 ± 0.113
总多酚/(mg/kg)	373.521 ± 0.802	104.325 ± 0.165

由表 2 可知, HMGO 的酸值、过氧化值、不皂化物含量均高于 NMGO 的。HMGO、NMGO 的酸值较高,可能是盾叶木籽存放时间过长所致。HMGO 的酸值高于 NMGO 的,与陈云帮等^[12]研究发现含有较多外壳会导致石榴籽油酸值变高的结果类似。皂化值反映油脂的相对分子质量,皂化值越大,油脂相对分子质量越小^[13]。由表 2 可知, NMGO 的皂化值高于 HMGO。另外, HMGO 的总多酚含量高于 NMGO 的。

2.3 盾叶木籽油脂肪酸组成及相对含量

盾叶木籽油的脂肪酸组成及相对含量测定结果见表 3。

表 3 盾叶木籽油的脂肪酸组成及相对含量 %

脂肪酸	HMGO	NMGO
己酸	0.03 ± 0.05	0.03 ± 0.03
辛酸	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02
十四烷酸	0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.01
十五烷酸	0.01 ± 0.03	0.01 ± 0.04
棕榈酸	2.46 ± 0.01	2.33 ± 0.00
棕榈烯酸	0.08 ± 0.05	0.15 ± 0.05
十七烷酸	0.02 ± 0.04	-
硬脂酸	0.38 ± 0.04	0.32 ± 0.01
反油酸	0.08 ± 0.02	0.06 ± 0.04
油酸	6.05 ± 0.05	4.75 ± 0.00
亚油酸	5.34 ± 0.03	4.90 ± 0.00
二十烷酸(花生酸)	0.41 ± 0.02	0.37 ± 0.03
顺-11-二十碳烯酸	2.56 ± 0.04	2.20 ± 0.01
亚麻酸	4.16 ± 0.05	2.27 ± 0.00
二十碳二烯酸	0.19 ± 0.03	0.20 ± 0.03
山嵛酸	3.24 ± 0.04	3.45 ± 0.02
芥酸	28.80 ± 0.04	30.20 ± 0.05
花生四烯酸	0.19 ± 0.07	0.26 ± 0.01
二十二碳二烯酸	2.56 ± 0.06	2.68 ± 0.04
木蜡酸	2.29 ± 0.02	2.76 ± 0.01
神经酸	41.10 ± 0.14	43.00 ± 0.11
饱和脂肪酸	8.91	9.33
不饱和脂肪酸	91.11	90.67

由表 3 可知, NMGO 和 HMGO 分别检出 20 种和 21 种脂肪酸, 与 NMGO 相比, HMGO 中含有少量的十七烷酸, 推测其主要来自于盾叶木籽外壳。盾叶木籽油中神经酸含量最高, 超过 40%, 比萌发期间的蒜头果油(56.27%)^[14] 中神经酸含量低, 但远高于元宝枫籽油(5.89%)^[15] 和文冠果油(2.75%)^[16]。李洪果等^[7] 报道了采自广西百色市乐业县盾叶木籽油的神经酸含量为 18.1%, 与本文的检测结果相差较大, 这可能与盾叶木生长环境有关。HMGO、NMGO 中也含有较高的芥酸, 含量分别为 28.80%、30.20%, 高于菜籽油的(25.8%)^[17]。芥酸具有预防和辅助治疗多种肿瘤、高血脂和动脉粥样硬化等

心脑血管疾病^[18], 减轻组织损伤和炎症反应^[19] 等功效。与 HMGO 相比, NMGO 的神经酸和芥酸含量均较高。

NMGO 和 HMGO 不饱和脂肪酸的含量分别达 90.67% 和 91.11%, 高于花生油、大豆油、玉米油、橄榄油、牛油果油、茶叶籽油的不饱和脂肪酸含量^[20]。不饱和脂肪酸具有很好的生理活性, 有助于保障细胞的正常生理功能, 可降低血中胆固醇、甘油三酯和血液黏稠度等^[21]。综上, 盾叶木籽油是一种健康的油脂。

2.4 盾叶木籽油的热特性

盾叶木籽油 TG/DTG 曲线如图 1 所示。

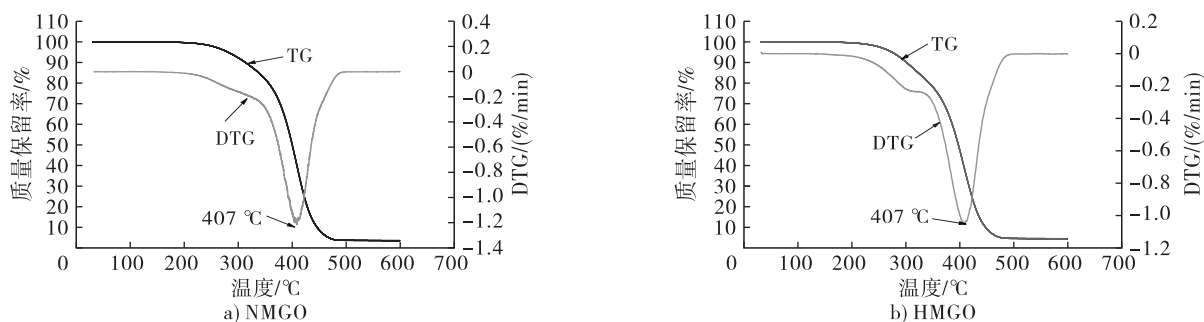


图 1 盾叶木籽油的 TG/DTG 曲线

从图 1a 可知, NMGO 的热分解可分为三个阶段: 第一阶段在 250 ~ 300 °C, 为预热解阶段, NMGO 有微小幅度失重, 主要失去水分及高挥发性小分子物质; 第二阶段在 363 ~ 440 °C, 为快速热解阶段, 热失重率较大, 样品的质量损失率为 96.4%, DTG 曲线显示明显的质量损失峰, 并在 407 °C 质量损失速率达到最大值, 对应其 TG 曲线上的失重第二阶段, 说明样品在此阶段发生了剧烈的热分解; 第三阶段在 440 ~ 600 °C, 为残余物缓慢分解阶段, 热失重速率趋于平缓, 说明热分解基本完成。从图 1b 可

知, HMGO 的热分解与 NMGO 趋势相似, 其在 355 ~ 441 °C 热失重率较大, 并在 407 °C 质量损失速率达到最大值, 质量损失率达到 95.5%。王新红^[22] 研究表明, 失重的起始温度越高, 说明越难失重, 油的氧化稳定性越好, 本研究中, NMGO 失重外推起始点温度(363 °C) 高于 HMGO(355 °C) 的, 说明 NMGO 热稳定性优于 HMGO。盾叶木籽油主要的失重温度范围为 355 ~ 441 °C, 说明盾叶木籽油在高温下具有较好的稳定性。

图 2 为盾叶木籽油的 DSC 曲线。

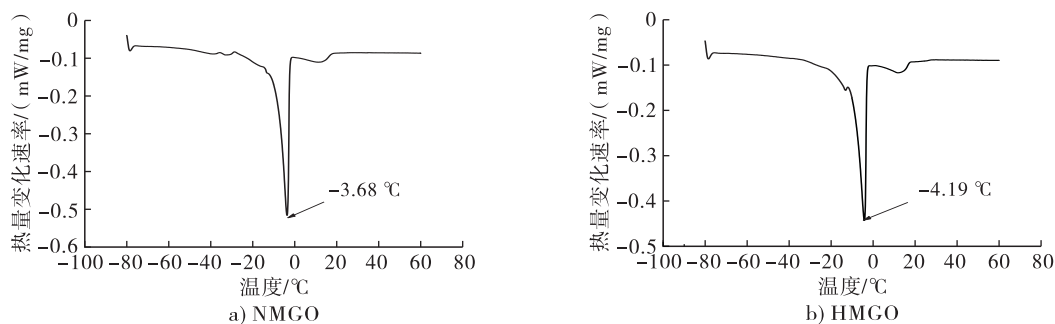


图 2 盾叶木籽油的 DSC 曲线

由图 2 可看出, 盾叶木籽油在加热过程中, 热量曲线只含有 1 个峰值, 推测为盾叶木籽油的熔融峰, NMGO 吸热峰温度为 -3.68 °C, HMGO 吸热峰温度为 -4.91 °C。

2.5 盾叶木籽油的抗氧化活性

盾叶木籽油对 DPPH 自由基及 ABTS 自由基清除能力如图 3 所示。

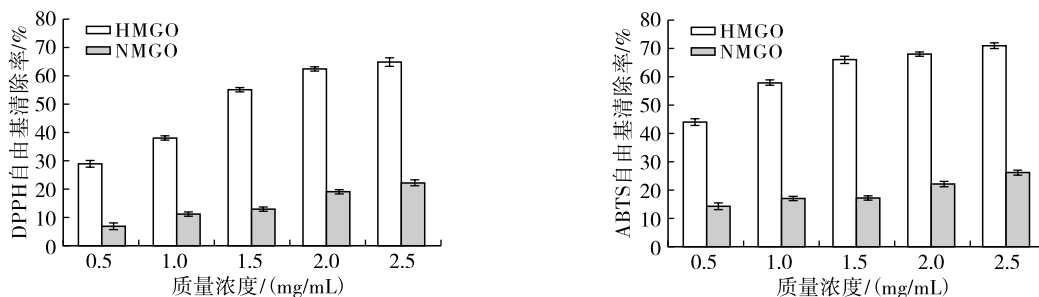


图3 盾叶木籽油对自由基的清除能力

由图3可知,随着HMGO、NMGO质量浓度的增加,二者对DPPH自由基和ABTS自由基清除能力增大,且与浓度呈剂量效应关系。相同浓度下,HMGO对DPPH自由基和ABTS自由基清除能力远高于NMGO,且HMGO、NMGO对ABTS自由基清除能力较对DPPH自由基清除能力强。

研究表明,油的抗氧化活性随着其总多酚和不皂化物含量的升高而增强^[23-26],结合表2推测,HMGO对DPPH自由基及ABTS自由基清除能力远高于NMGO,与HMGO的总多酚含量和不皂化物含量远高于NMGO有关。

3 结论

采用索氏提取法提取带壳和不带壳盾叶木籽中油脂,对两种盾叶木籽油的理化性质、脂肪酸组成、热特性和抗氧化活性进行了测定。结果表明,不带壳盾叶木籽含油率(18.810%)高于带壳盾叶木籽的含油率(17.470%)。不带壳盾叶木籽油(NMGO)酸值、过氧化值、总多酚和不皂化物含量低于带壳盾叶木籽油(HMGO)的,其皂化值高于HMGO。盾叶木籽油中神经酸含量最高,达到41%以上,其次是芥酸含量,达到28%以上,盾叶木籽油具有较好的热稳定性,对ABTS自由基和DPPH自由基均具有一定的清除能力,且相同浓度下,对ABTS自由基清除率更高;HMGO对DPPH自由基及ABTS自由基清除能力远高于NMGO。盾叶木籽油营养价值较高,可作为神经酸和芥酸的来源资源,具有一定的经济价值以及较好的开发前景。

参考文献:

[1] 杨孝辉,郭君. 超临界CO₂流体萃取盾叶木中顺-15-二十四碳烯酸的工艺研究[J]. 广东化工, 2016, 43(12): 302-303, 305.
 [2] 马明,尚小雅,王素娟,等. 盾叶木化学成分及其小鼠腹腔巨噬细胞TNF- α 分泌抑制作用[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(12): 1175-1179.
 [3] 马柏林,梁淑芳,赵德义,等. 含神经酸植物的研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(12): 2362-2365.
 [4] 王性炎,王姝清. 神经酸研究现状及应用前景[J]. 中

国油脂, 2010, 35(3): 1-5.

[5] 范一铭,高桂珍,薛羽君,等. 植物神经酸研究进展[J]. 生物技术进展, 2022, 12(5): 664-672.
 [6] 王双梅. 金铁锁和盾叶木的化学成分研究[D]. 昆明: 云南中医学院, 2015.
 [7] 李洪果,黎云睦,邓振海,等. 盾叶木籽营养成分分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(3): 130-134.
 [8] 付晓娜,苏霁玲,张凯,等. 辣木籽种仁氨基酸组成、矿物质元素及油脂脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 72-75.
 [9] 韦承珊,付晓娜,张凯,等. 野生核桃仁营养成分、油脂Sn-2脂肪酸组成及热特性分析[J/OL]. 中国油脂: 1-8[2023-12-03]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.220799>.
 [10] 岳华岭,廖红梅. 食用玫瑰多酚提取物的稳定性及抗氧化活性评价[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11[2023-12-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034900>.
 [11] CHOI H S, SONG H S, UKEDA H, et al. Radical-scavenging activities of citrus essential oils and their components: Detection using 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(9): 4156-4161.
 [12] 陈云帮,李雪,张旭,等. 冷榨石榴籽油的气味组分判别分析[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2023, 37(6): 72-78.
 [13] 陈超,吕都,唐健波,等. 苾荛仁油脂的提取及其品质分析[J]. 河南农业科学, 2023, 52(4): 162-169.
 [14] 付一笑. 蒜头果光合生理及其种子中神经酸的提取纯化[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
 [15] 张凯,徐娟,韦承珊,等. 元宝枫种仁营养成分分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(5): 129-132, 152.
 [16] 唐东慧,阮成江,孟婷,等. 不同种质文冠果含油量及油中脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 77-81.
 [17] 彭雅丽,彭思敏,申超群. 我国24种植物油脂脂肪酸组成比较分析与评价[J]. 农产品加工, 2023(9): 56-59, 63.
 [18] 高婷. 芥酸对大鼠肝脏脂肪酸代谢的影响及其机制探讨[D]. 湖南湘潭: 湖南科技大学, 2021.

(下转第81页)

mV。TEM 形态学表征结果显示 Gen@ Lip 呈球状且分布均匀;XRD 表征证明 Gen 被有效包埋在 Gen@ Lip 中;体外消化试验表明,脂质体保护了 Gen 在胃部的消化过程,很大程度将 Gen@ Lip 输送到肠道,而小肠是 Gen 的主要分解场所;体外抗炎试验证明 Gen@ Lip 具有良好的抗炎效果,且安全无毒。因此,采用大豆卵磷脂和胆固醇制备的 Gen@ Lip 是提高脂溶性 Gen 稳定性和体内生物活性的有效手段之一,在 Gen 功能食品的开发和应用等方面具有较大的发展潜力。

参考文献:

- [1] ANTIMISIARIS S G, MARAZIOTI A, KANNAVOU M, et al. Overcoming barriers by local drug delivery with liposomes[J]. *Adv Drug Deliv Rev*, 2021, 174: 53–86.
- [2] ESPOSTO B S, JAUREGI P, TAPIA – BLÁCIDO D R, et al. Liposomes vs. chitosomes: Encapsulating food bioactives [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2021, 108: 40–48.
- [3] TULI H S, TUORKEY M J, THAKRAL F, et al. Molecular mechanisms of action of genistein in cancer: Recent advances [J/OL]. *Front Pharmacol*, 2019, 10: 1336[2023–03–31]. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01336>.
- [4] TANG J, XU N, JI H, et al. Eudragit nanoparticles containing genistein: Formulation, development, and bioavailability assessment [J]. *Int J Nanomed*, 2011, 6: 2429–2435.
- [5] ZHANG X, LYU Y, LIU Y, et al. Artificial apoptotic cells/VEGF – loaded injectable hydrogel united with immunomodification and revascularization functions to reduce cardiac remodeling after myocardial infarction [J/OL]. *Nanotoday*, 2021, 39: 101227[2023–03–31]. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101227>.
- [6] UZUN S, KIM H, LEAL C, et al. Ethanol – induced whey protein gels as carriers for lutein droplets [J]. *Food Hydrocolloid*, 2016, 61: 426–432.
- [7] 马莉君. 靶向纳米药物在炎症性肠病和结肠癌治疗中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [8] 张志锋. 金雀异黄酮通过 PI3K/AKT 信号通路对人脐静脉内皮细胞一氧化氮合成的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [9] PAN L, WANG H, GU K. Nanoliposomes as vehicles for astaxanthin: Characterization, *in vitro* release evaluation and structure[J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(11): E2822 [2023–03–31]. <https://doi.org/10.3390/molecules23112822>.
- [10] 常振刚, 潘丽, 张新, 等. 植物甾醇油酸酯的制备及其在负载虾青素的脂质体中的应用[J]. *中国油脂*, 2022, 47(11): 92–97.
- [11] 王策. 大麻二酚递送载体的构建、稳定性及生物利用率研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [12] TANG J, LI L, HOWARD C B, et al. Preparation of optimized lipid – coated calcium phosphate nanoparticles for enhanced *in vitro* gene delivery to breast cancer cells [J]. *J Mater Chem B*, 2015, 3(33): 6805–6812.
- [13] 罗娅君, 张琦, 李辉容, 等. 染料木素磷脂复合物的制备及其光谱性质研究[J]. *中国药学杂志*, 2010, 45(20): 1562–1566.
- [14] 刘玮琳. 脂质体的结构和消化稳定性及其形成机理[D]. 南昌: 南昌大学, 2013.
- [15] MOHANTY C, SAHOO S K. The *in vitro* stability and *in vivo* pharmacokinetics of curcumin prepared as an aqueous nanoparticulate formulation [J]. *Biomaterials*, 2010, 31(25): 6597–6611.
- [16] KUMAR S S, MAHESH A, MAHADEVAN S, et al. Synthesis and characterization of curcumin loaded polymer/lipid based nanoparticles and evaluation of their antitumor effects on MCF – 7 cells [J]. *Biochim Biophys Acta*, 2014, 1840(6): 1913–1922.
- [17] FAN W, ZHANG S, WU Y, et al. Genistein – derived ROS – responsive nanoparticles relieve colitis by regulating mucosal homeostasis [J]. *ACS Appl Mater Inter*, 2021, 13(34): 40249–40266.
- [18] 何春梅, 陈冠林, 俞憬, 等. 核桃壳多酚的提取、含量测定及其抗氧化活性研究[J]. *广东药学院学报*, 2016, 32(2): 153–158.
- [19] 彭清. 芥酸减轻 LPS 致肝原代细胞炎症损伤的研究[D]. 湖北 宜昌: 三峡大学, 2022.
- [20] 刘颖, 刘晓谦, 梁曜华, 等. 11 种植物油的脂肪酸组成与抗氧化活性比较[J]. *中国油脂*, 2020, 45(10): 52–56, 61.
- [21] 穆同娜, 孙婷, 吴燕涛, 等. 三种食用植物油中不饱和脂肪酸含量调查[J]. *粮油食品科技*, 2011, 19(3): 36–38.
- [22] 王新红. 植物油脂的热分析及动力学研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(3): 151–152, 154.
- [23] 何春梅, 陈冠林, 俞憬, 等. 核桃壳多酚的提取、含量测定及其抗氧化活性研究[J]. *广东药学院学报*, 2016, 32(2): 153–158.
- [24] 苏悦, 杨晶晶, 刘云, 等. 橡胶籽油的不皂化物组分及抗氧化活性[J]. *中国油脂*, 2021, 46(12): 118–122.
- [25] 周振宇, 杨成, 蔡春辉. 油茶籽油不皂化物的提取与抗氧化性研究[J]. *日用化学工业*, 2018, 48(6): 330–335.
- [26] 李雪, 张玉, 王君虹, 等. 樟树籽油抗氧化能力及物质基础研究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(6): 119–124.

(上接第 57 页)