舒俊, 蒋宸郡, 范鑫怡, 等. 不同品种油茶籽乙醇提取物抗氧化及抗肠炎活性比较 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(12): 259−265. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050255

SHU Jun, JIANG Chenjun, FAN Xinyi, et al. Comparison of Antioxidant and Anti Enteritis Activities of Ethanolic Extracts of Different Varieties of *Camellia oleifera* Seeds[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(12): 259−265. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050255

· 工艺技术 ·

不同品种油茶籽乙醇提取物抗氧化及抗肠炎活性比较

舒　俊, 蒋宸郡, 范鑫怡, 张美俏, Jabeen Amna, 兰天晴, 付湘晋*, 龙　肇, 张佳男, 钟海雁
（中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南长沙 410004）

摘　要: 为探究不同品种油茶籽抗氧化及抗肠炎活性的差异，本研究收集了大果油茶、浙江红花油茶、攸县油茶、小果油茶、普通油茶 5 个品种 15 个样品为研究对象，以果蝇“蓝精灵”模型评价了油茶乙醇提取物（*Camellia* ethnol extract，CET）的抗肠炎活性，并测定了 15 个样品的总酚含量、CET 对脂氧合酶（Lipoxygenase，LOX）、环氧化酶-2（Cyclooxygenase-2，COX-2）的抑制活性以及自由基清除活性。结果表明，15 个油茶籽样品的总酚含量介于 21.50~32.41 mg/g 之间，不同品种油茶籽乙醇提取物对 LOX、COX-2 及果蝇肠炎均表现出显著抑制作用，其中普通油茶 CET 对 LOX 和果蝇肠炎的平均抑制率最高（分别为 84.78% 和 83.76%），攸县油茶 CET 对 COX-2 的抑制效果最佳（72.36%）；各品种油茶 CET 对 DPPH、$ABTS^+$自由基及超氧阴离子自由基的清除率均高于 66%，其中攸县油茶对 $ABTS^+$自由基的清除率最高（77.62%），浙江红花油茶对超氧阴离子的清除率最高（93.64%），大果油茶对 DPPH 自由基清除率最高（79.70%）。LOX 抑制率与果蝇肠炎缓解效果呈极显著正相关（r=0.65，P<0.01）。综上，15 个油茶籽样品均对自由基有清除作用，不同油茶籽品种之间有显著性差异。抑制 LOX 是油茶 CET 抗肠炎的关键机制。

关键词: 油茶籽, 不同品种, 乙醇提取物, 抗氧化, 抗肠炎, 脂氧合酶
中图分类号: TS201.2　　**文献标识码:** B　　**文章编号:** 1002−0306(2026)12−0259−07
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050255
本文网刊:

Comparison of Antioxidant and Anti Enteritis Activities of Ethanolic Extracts of Different Varieties of *Camellia oleifera* Seeds

SHU Jun, JIANG Chenjun, FAN Xinyi, ZHANG Meiqiao, Jabeen Amna, LAN Tianqing, FU Xiangjin*, LONG Zhao, ZHANG Jianan, ZHONG Haiyan

（College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China）

Abstract: To investigate the differences in antioxidant and anti-enteritis activities among *Camellia oleifera* varieties, fifteen samples from five varieties (*Camellia vietnamensis* Huang., *Camellia chekiangoleosa* Hu., *Camellia yuhsienensis* Hu., *Camellia meiocarpa* Hu. and *Camellia oleifera* Abel.) were collected as research subjects. The anti-enteritis activity of camellia ethanol extract (CET) was evaluated using the *Drosophila* "Blue Spirit" model. The total phenolic content of the 15 samples was measured, along with CET's inhibitory activity against lipoxygenase (LOX) and cyclooxygenase-2 (COX-2), and free radical scavenging activity. The results demonstrated that the total phenolic content across all 15 *Camellia oleifera* seed samples was measured at 21.50~32.41 mg/g. *Camellia oleifera* ethanol extract (CET) from all varieties was found to exhibit significant inhibitory effects on LOX, COX-2, and *Drosophila* enteritis, with the highest average inhibition rates against LOX (84.78%) and *Drosophila* enteritis (83.76%) observed in *Camellia oleifera* Abel. CET, while optimal COX-2 inhibition (72.36%) was achieved by *Camellia yuhsienensis* Hu. CET. Additionally, the scavenging rate of DPPH

收稿日期: 2025−05−26
作者简介: 舒俊（1997−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: shujun9707@163.com。
*** 通信作者:** 付湘晋（1980−）, 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品深加工、食品风味化学, E-mail: drxjfu@163.com。

radicals, $ABTS^+$ radicals and superoxide anion radicals by CET of all varieties of *Camellia oleifera* was higher than 66%, with the highest scavenging rate of $ABTS^+$ radicals by *Camellia yuhsienensis* Hu. (77.62%), the highest clearing rate of superoxide anion by *Camellia chekiangoleosa* Hu. (93.64%), and the highest scavenging rate of DPPH radicals by *Camellia vietnamensis* Huang. (79.70%). There was a significant positive correlation between LOX inhibition and *Drosophila* enteritis relief (r=0.65, P<0.01). In summary, all 15 *Camellia oleifera* seed samples had free radical scavenging activity, with significant differences among different *Camellia oleifera* varieties. Inhibition of LOX is the key mechanism of *Camellia oleifera* CET against enteritis.

Key words: *Camellia oleifera* seeds; different varieties; ethanol extract; antioxidant; anti-enteritis; lipoxygenase

油茶属于山茶科山茶属(*Camellia oleifera*),生产上通常指山茶属中种子含油率较高、有栽培应用价值的一组物种的总称,是我国主要的木本食用油料植物之一[1]。研究发现,长期食用油茶籽油能够降低氧化应激和炎症因子,起到胃肠保护和抗炎作用[2−3]。油茶籽中主要包含三萜及三萜皂苷类、黄酮类、多酚类、多糖类等化学成分,其中的多酚类物质可能是茶油抗炎的关键组分[4−5]。

作为山茶科木本油料植物的全球多样性中心,中国在油茶的地理分布广度与遗传资源丰富度方面占据显著优势。现有的油茶品种分为普通油茶(*Camellia oleifera* Abel.)[6]、小果油茶(*Camellia meiocarpa* Hu.)[7]、越南油茶(*Camellia vietnamensis* Huang.)、攸县油茶(*Camellia yuhsienensis* Hu.)、浙江红花油茶(*Camellia chekiangoleosa* Hu.)[8] 等多个不同品种。其中,对普通油茶的抗炎活性研究最多,焦兵等[9] 通过对普通油茶中的黄酮类物质进行检测发现,100 μmol/L 山柰酚对前列腺素 E2(PGE2)、诱导型一氧化氮合酶(i NOS)、环氧化酶-2(COX-2)的活性和核转录因子 NF-κB 具有显著抑制作用,其中 PGE2 含量下降了 65.1 pg/mL,其抑制率为 61.12%。兰念念等[10] 对普通油茶籽油中多酚提取物进行抗炎活性测定,发现其产生的 NO 浓度在 8~20 μmol/L 之间,低于模型组 20.66 μmol/L。然而,国内外对其他油茶品种的抗肠炎活性研究相对较少,不同品种之间油茶籽的横向比较研究更少。研究不同油茶品种之间抗氧化和抗肠炎活性的差异是寻找油茶中关键活性成分的基础。

DPPH 自由基和 $ABTS^+$自由基是两种很稳定的自由基,被广泛用于评价生物活性物质的抗氧化活性[11]。脂氧合酶和环氧化酶-2 是引发肠炎的关键酶,通过检测活性物质对两者的抑制率被广泛用于评价活性物质的抗肠炎能力[12]。果蝇作为经典模式生物,其肠道干细胞在形态学、功能特征及信号调控机制上与哺乳动物具有高度相似性,且肠道内共生菌群构成复杂,是理想的评价活性物质抗肠炎活性的方法[13]。

为探究不同品种油茶籽的抗氧化及抗肠炎活性,本研究测定了大果油茶、浙江红花油茶、攸县油茶、小果油茶、普通油茶 5 个品种,共 15 个样品的乙醇提取物的抑制脂氧合酶、环氧化酶、抗氧化活性以及抗肠炎活性,并进行相关性分析,旨在为油茶籽及其副产物的开发提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

油茶籽样品　均来自市售,同一品种油茶收集三个来自不同产地的样品作为平行样品。在本研究中 DG 代表大果油茶,编号 DG-1、DG-2、DG-3,产地分别为宜春、赣州、贵州;ZH 代表浙江红花油茶,编号 ZH-1、ZH-2、ZH-3,产地分别为杭州、宣城、陇南;YX 代表攸县油茶,编号 YX-1、YX-2、YX-3,产地分别为攸县、耒阳、衡东;XG 代表小果油茶,编号 XG-1、XG-2、XG-3,产地分别为南宁、宜春、赣州;PT 代表普通油茶,编号 PT-1、PT-2、PT-3,产地分别为贵州、衡阳、萍乡:无水乙醇　分析纯,郑州派尼化学试剂厂;脂肪氧合酶、环氧化酶　1 万 U/g,源叶生物科技有限公司;吐温 20、亚油酸、硫酸葡聚糖钠盐、可食用亮蓝　分析纯,上海麦克林生化科技公司;COX-2 试剂盒　货号 S0168,碧云天生物科技有限公司。

TG25KR 高速冷冻离心机　长沙东旺实验仪器有限公司;Mix plus 涡旋仪　美国 ABSON Scientific Instruments Group;SPK-150BIII 微生物培养箱　北京中兴伟业仪器有限公司;KQ-300DB 超声清洗机　江苏昆山超声仪器有限公司;7045TR+HD-MI 体视镜　东莞市今视光电科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 油茶籽预处理　将 15 个油茶种子样品分别用植物高速粉碎机粉碎 1.5 min,然后用孔径为 0.85 mm(20 目)的筛子滤过后密封,储存在−20 ℃的冰箱中,待用。

1.2.2 油茶籽乙醇提取物制备　参考林欣等[14] 的方法,称取适量油茶籽粉置于烧杯中,按照 1∶12(g/mL)的料液比添加体积分数 70% 的乙醇溶液,在 60 ℃、超声功率 200 W 条件下提取 30 min,以 4000 r/min 离心 15 min,取上清液得到粗提液,对粗提液进行旋转蒸发浓缩处理,最后经冷冻干燥获得油茶籽乙醇提取物(*Camellia oleifera* ethanol extract, CET)。

1.2.3 总酚含量测定　参考吉南焕等[15] 的方法,采用福林酚法对油茶籽中的总酚含量进行测定。精确移取无水乙醇、没食子酸标准品溶液及样品溶液各

25 μL，依次加入含 10% 福林酚试剂 500 μL 的反应容器中，混匀后于避光条件下反应 5 min，随后加入浓度为 7.5% 的碳酸钠溶液 500 μL，充分振荡使体系混合均匀，转移至 37 ℃ 恒温培养箱中避光孵育 1 h，反应结束后，于 765 nm 波长处测定混合溶液的吸光度值。每个样本设置 3 个平行实验，以没食子酸当量标定油茶籽提取物中的总酚含量，建立并使用标准曲线方程来计算油茶籽的总多酚含量，经线性回归分析的特征方程 Y=0.6487X+0.0005，其拟合优度 R^2=0.9986。

1.2.4　油茶籽乙醇提取物溶液的配制　基于 1.2.2 节所得 CET 冻干粉的质量浓度配制所需总酚浓度的 CET 溶液。根据所需 CET 总酚浓度，称量各品种油茶籽的冻干粉，用无水乙醇溶解并定容，得到所需总酚浓度的各品种油茶籽 CET 溶液。

1.2.5　油茶籽 CET 对 LOX 抑制活性的测定　参考吴桂玲等[16] 的方法，将油茶籽提取物溶于二甲基亚砜（DMSO），采用分光光度法测定提取物对脂氧合酶（LOX）的抑制活性。通过预实验选取酶活为 50 U/mL 的 LOX 酶液以及多酚质量浓度为 21.7 μg/mL 的 CET 进行 LOX 酶抑制实验。亚油酸钠反应体系构建条件为：50 ℃，pH6.0，总体积 15.00 mL。酶活单位定义为：在 234 nm 波长处，吸光度每分钟增加 0.001 个单位计为 1 个酶活单位（U）。按式（1）计算 LOX 抑制活性。

$$抑制率(\%)=\frac{A_0-A_1}{A_0}\times 100 \qquad 式（1）$$

式中，A_0：无抑制剂时的酶活力，A_1：加抑制剂时的酶活力。

1.2.6　油茶籽乙醇提取物对 COX-2 抑制活性的测定　根据 COX-2 试剂盒方法进行测定。根据浓度梯度实验结果，总酚浓度选择 56 μg/mL。设置激发波长为 560 nm，发射波长 590 nm，记录各孔荧光值（M 值），使用公式（2）计算各样品的抑制率。

$$抑制率(\%)=\frac{M_2-M_1}{M_2-M_3}\times 100 \qquad 式（2）$$

式中，M_1：样品荧光值，M_2：100% 酶活性荧光值，M_3：空白组荧光值。

1.2.7　油茶籽乙醇提取物对果蝇肠炎抑制率的测定　参考吴俊豪等[17] 的方法，采用果蝇“蓝精灵”模型评价 CET 的抗肠道炎症活性。将提取物溶于无水乙醇，配制总酚浓度为 76 μg/mL 的样品溶液。空白组饲喂 100 μL 浓度 5% 的葡聚糖硫酸钠溶液，50 μL 浓度 2.5% 的亮蓝染色液和 100 μL 的无水乙醇。实验组在空白组的基础上额外饲喂 100 μL 76 μg/mL 的样品溶液。药物组在实验组的基础上将多酚溶液替换成同浓度的柳氮磺胺吡啶（Dextran sulfate sodium，DSS）溶液。将果蝇置于含对应饲喂液的培养管中孵育 16 h 后，通过体视镜观察染色表型，按式（3）计算果蝇肠炎抑制率。

$$果蝇肠炎抑制率(\%)=\left(\frac{A_2-A_1}{A_2}\right)\times 100 \qquad 式（3）$$

式中，A_1：样品蓝精灵比例，A_2：空白蓝精灵比例。

1.2.8　油茶籽乙醇提取物抗氧化活性测定

1.2.8.1　DPPH 自由基清除率　参照朱秀灵等[18] 的方法，对 CET 的 DPPH 自由基清除率进行测定。准确称量 2.4 mg DPPH 粉末，以无水乙醇溶解、定容至 50.00 mL，配制浓度为 48 mg/L 的溶液，−20 ℃ 环境下避光储存。实验组，将 2.00 mL DPPH-无水乙醇溶液与 1.00 mL 样品溶液混合，在暗处反应 30 min 后，于 517 nm 波长处测定吸光度值（标记为 A_1）。空白组使用无水乙醇代替样品溶液，在相同条件下测得吸光度为 A_2。对照组将 1.00 mL 样品溶液与 2.00 mL无水乙醇混合，相同条件下反应后，测得吸光度记为 A_0。按式（4）计算 DPPH 自由基清除率。

$$DPPH自由基清除率(\%)=\left(1-\frac{A_1-A_2}{A_0}\right)\times 100 \qquad 式（4）$$

式中，A_1：样品组吸光度，A_2：空白组吸光度，A_0：对照组吸光度。

1.2.8.2　$ABTS^+$自由基清除率　参照董菲等[19] 的方法，对 CET 的 $ABTS^+$自由基清除率进行测定。将 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液和 7.00 mmol/L ABTS 溶液按体积 1∶1 比例混合均匀，在常温下避光 12 h 后制得 $ABTS^+$自由基溶液，使用前用无水乙醇进行稀释，让其在波长 734 nm 处吸光度能够稳定在 0.70±0.02。分别吸取 50 μL 的 CET 和 150 μL $ABTS^+$自由基溶液于酶标板中，混匀后于 25 ℃ 避光反应 30 min，在波长 734 nm 处测定吸光度，每个样品测定 3 次。以 50 μL 无水乙醇替代样品溶液的反应体系为空白组。按式（5）计算 $ABTS^+$自由基清除率 R(%)。

$$ABTS^+自由基清除率(\%)=\frac{A_0-A_i}{A_0}\times 100 \qquad 式（5）$$

式中，A_0：空白组吸光度，A_i：样品组吸光度。

1.2.8.3　超氧阴离子清除率　采用邻苯三酚自氧化法测定[20]，在试管中加入 4.50 mL pH8.2 的 Tris-HCl 缓冲液，0.10 mL 含有 0.46 mg/mL 待测样品溶液，25.0 ℃ 水浴平衡 20 min 后，加入 0.40 mL 7.00 mmol/L 的邻苯三酚准确反应 3 min，加入 1.00 mL 10.00 mol/L HCl 溶液终止反应，于 340 nm 波长处测定吸光度。以蒸馏水作为空白对照测定吸光度。按式（6）计算超氧阴离子清除率。

$$超氧阴离子清除率(\%)=\left(\frac{A_0-A_1}{A_0}\right)\times 100 \qquad 式（6）$$

式中，A_0：空白组吸光度，A_1：样品组吸光度。

1.3 数据处理

实验数据均经过 3 次平行重复后计算平均值，采用 Excel 进行数据整理，用 Origin 2021 绘图，用 SPSS 22.0 软件进行相关性及显著性统计分析（方差分析，ANOVA）。

2 结果与分析

2.1 油茶籽乙醇提取物总酚含量

对 15 个油茶籽样品的总酚含量进行测定，总酚含量如图 1 所示。15 个油茶籽样品的总酚含量介于 21.50~32.41 mg/g 之间，不同品种的油茶样品间存在显著差异（P<0.05）。李杨[21] 使用福林酚定量试剂盒方法测定成熟期不同品质的 15 个油茶籽样品的总酚含量，发现其总酚含量在 9.99~15.96 mg/g 之间，低于本研究所提取的总酚含量。这可能是由于样品品种差异和提取工艺不同导致的。

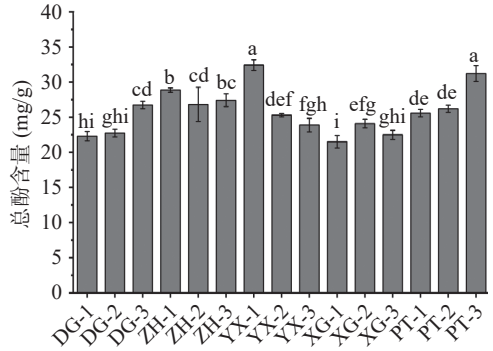


图 1 油茶籽样品的总酚含量比较

Fig.1 Comparison of total phenolic content of *Camellia oleifera* seed samples

注：不同小写字母表示不同样品之间的差异显著（P<0.05）；图 2~图 7 同。

2.2 油茶籽乙醇提取物对 LOX 抑制活性的对比

脂氧合酶在炎症反应调控中发挥关键作用。当机体受到炎性介质刺激时[22]，胞浆型磷脂酶 A2（cPLA2）会被迅速活化，进而介导膜磷脂水解生成花生四烯酸（Arachidonate, AA）。AA 在 LOX 催化作用下转化为白三烯 A4（Leukotriene A4, LTA），这类脂类介质不仅是高效的白细胞趋化因子，更是多种炎性病理过程的核心调控分子[23−24]。

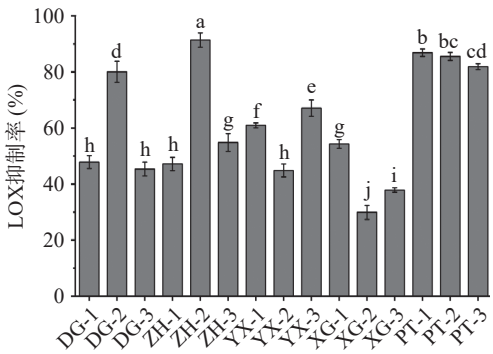


图 2 CET 对 LOX 的抑制效果比较

Fig.2 Comparison of the inhibitory effects of *Camellia oleifera* seed samples on LOX

由图 2 可知，15 个不同 CET 对 LOX 的抑制率在 29.91%~91.36% 之间。通过比较 5 组油茶籽样品的平均值，发现普通油茶组对 LOX 的抑制效果最好，平均抑制率为 84.78%，小果油茶对 LOX 的平均抑制率最低，其值为 40.71%。综上所述，不同 CET 均对 LOX 有良好的抑制效果，不同油茶品种之间差异显著（P<0.05）。所有样品的总酚浓度是一致的，因此，这些差异可能是不同油茶中的多酚种类及相对含量不同导致的。林欣等[14] 测定的 CET 对 LOX的抑制率在 15.06%~61.71% 之间，也表现出对 LOX具有良好的抑制作用。

2.3 油茶籽乙醇提取物对 COX-2 活性的对比

环氧化酶催化花生四烯酸（AA）产生前列腺素 E2（PGE2）[25]。PGE2 是最有效的炎症介质之一，它在所有炎症过程中起作用，导致典型的炎症迹象，如疼痛、肿胀和发红。COX-2 是治疗炎症的重要靶点。抗炎药如布洛芬、阿司匹林等便是高效的 COX-2 抑制剂。邢亚威等[26] 通过实验发现肠炎患者的 COX-2 表达量显著上升，阳性细胞平均表达数从 61.81 增长到 200.42。研究表明 COX-2 可以通过损伤肠道上皮细胞引发肠炎[27]。

从图 3 可知，15 个样品 CET 对 COX-2 的抑制率在 41.29%~80.74% 之间。攸县油茶 CET 对 COX-2 的抑制效果最好，平均抑制率为 72.36%。小果油茶 CET 对 COX-2 的平均抑制率最低，为 54.99%。

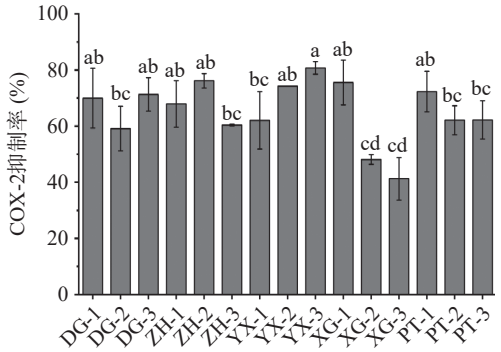


图 3 CET 对 COX-2 的抑制效果

Fig.3 Inhibitory effect of *Camellia oleifera* seed samples on COX-2

2.4 油茶籽乙醇提取物对果蝇肠炎抑制率的对比

果蝇是理想的肠道疾病模式生物[28]。果蝇蓝精灵实验通过饲喂果蝇不易被消化的蓝色染料，可以检测果蝇肠道的完整程度，从而判断果蝇是否患肠道炎症[29]。葡聚糖硫酸钠会破坏肠上皮中肠道表皮细胞之间的连接从而造成肠道损伤[30]，是果蝇肠炎模型造模的常用试剂[31]。

不同 CET 对果蝇肠炎的抑制作用如图 4 所示。CET 对果蝇肠炎有较好的抑制效果，15 个 CET 样品对果蝇肠炎的抑制率在 43.58%~89.74%，药物柳氮磺胺吡啶组仅为 22.58%。通过对比不同品种组

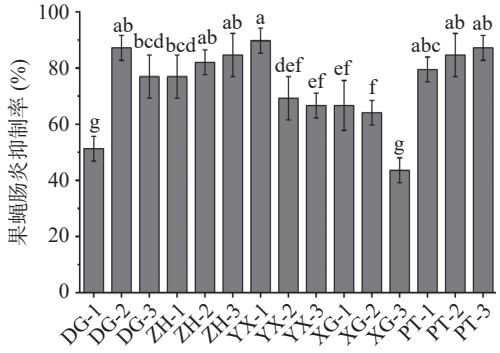


图 4　15 个油茶籽样品对果蝇肠炎的抑制效果

Fig.4　Inhibitory effect of 15 *Camellia oleifera* seed samples on enteritis in Drosophila

的肠炎抑制率, 发现普通油茶 CET 的肠炎抑制效果最好, 其平均抑制率为 83.76%, 显著(P<0.05)高于其他组。王逸凡[32] 使用山茶油进行果蝇蓝精灵实验发现, 山茶油可以显著降低果蝇的肠炎率, 相对对照组降低 70.46%(P<0.05)。

2.5　油茶籽乙醇提取物抗氧化活性测定

2.5.1　DPPH 自由基清除率　溃疡性结肠炎(UC)等肠炎中, 活性氧(ROS)如 H_2O_2 过度积累, 破坏肠上皮屏障并加剧炎症。DPPH 作为 ROS 的模拟物, 清除其的能力可预测化合物在体内清除 ROS 的潜力[33]。15 个 CET 样品对 DPPH 自由基清除作用如图 5 所示。由图可知, 不同 CET 对 DPPH 的抑制作用有显著差异(P<0.05)。15 个提取物样品对 DPPH 自由基清除率在 66.78%~85.38%。大果油茶 CET 对 DPPH 自由基清除效果最好, 清除率为 79.70%。文献报道油茶籽提取物的 DPPH 自由基清除率在 70%~90% 之间, 本实验结果与之一致[34]。

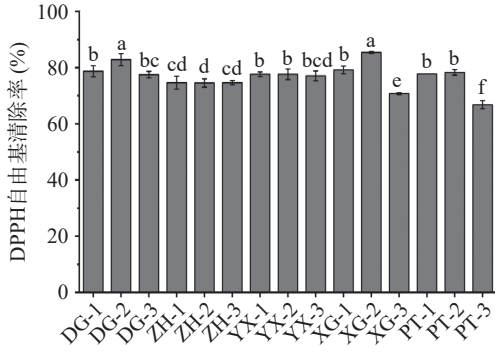


图 5　15 个油茶籽样品的 DPPH 自由基清除率

Fig.5　Scavenging of DPPH free radical by ethanolic extracts of 15 *Camellia oleifera* seeds

2.5.2　ABTS$^+$自由基清除率　ABTS$^+$自由基可与抗氧化剂发生电子转移或氢原子转移反应, 用于分析抗氧化机制, 如酚类、多肽等物质的自由基中和能力[35]。ABTS$^+$自由基在抗氧化研究中作为氧化应激的模拟物, 通过测定多酚类物质对其清除能力来量化抗氧化物质的活性, 清除率越高, 表明物质的抗氧化能力越强。如图 6 所示。15 个样品均对 ABTS$^+$自由基有清除作用, 清除率在 70.00%~80.33% 之间。其中攸县油茶 CET 的清除率最高, 为 77.62%。研究发现[36], 用 70% 乙醇提取油茶籽时, 提取物的 ABTS$^+$自由基清除活性可达 73.03~73.56 mg TE/g, 表明油茶籽提取物具有出较好的抗氧化效果。

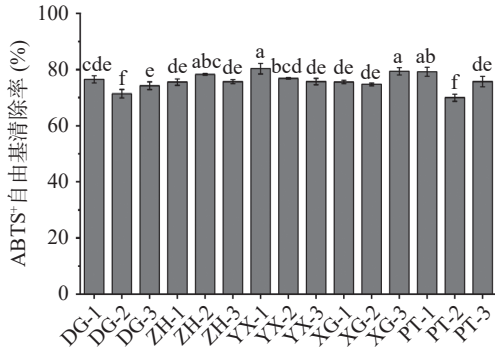


图 6　油茶籽乙醇提取物对 ABTS$^+$自由基的清除率

Fig.6　Scavenging of ABTS$^+$ free radicals by ethanol extract of *Camellia oleifera* seeds

2.5.3　超氧阴离子清除率　超氧阴离子可作为第二信使参与细胞信号转导, 调控免疫反应、炎症反应等生理过程[37]。在肠道中, NADPH 氧化酶 1(NOX1)产生的超氧阴离子对维持健康的上皮屏障功能至关重要[38]。超氧阴离子通过破坏细胞膜、蛋白质、DNA 及其他重要生物分子来引起细胞氧化损伤。15 个 CET 对超氧阴离子清除率在 63.74%~94.53% 之间(图 7)。其中浙江红花油茶 CET 的清除率最高, 为 93.64%, 不同样品间存在显著性差异(P<0.05)。

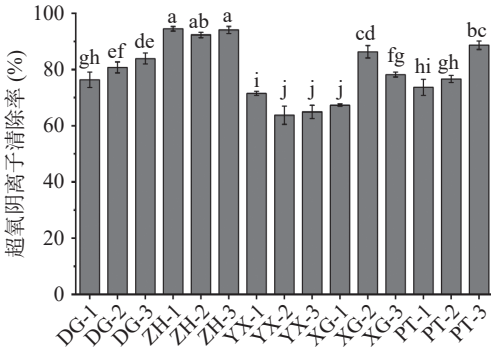


图 7　油茶籽乙醇提取物对超氧阴离子清除率

Fig.7　Scavenging of superoxide anion by ethanol extract of *Camellia oleifera* seeds

2.6　不同指标的相关性分析

对以上所测得的各项指标进行相关性分析, 结果如图 8 所示。

CET 的 LOX 的抑制率与果蝇肠炎抑制率呈极显著正相关(r=0.65, P<0.01), 这表明 CET 可能是通过抑制 LOX 活性从而对果蝇肠炎产生抑制作用。脂氧酶通路(LOX)是炎症反应的重要机制之一, LOX 是花生四烯酸代谢通路的关键酶, LOX 通路的终产物白三烯(LTs)是参与炎症反应的重要炎性介

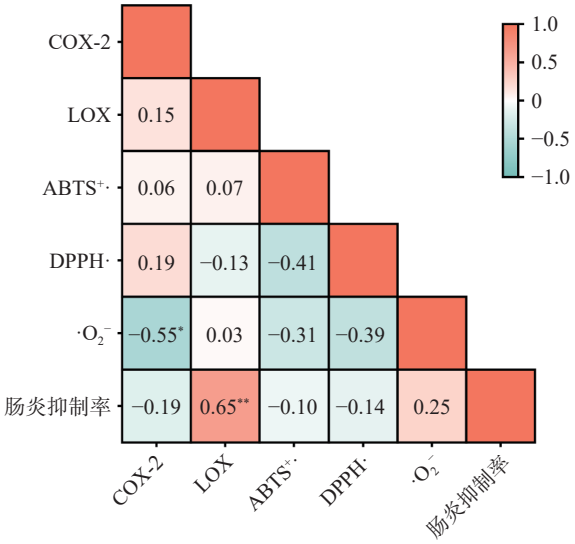


图 8 果蝇抗炎抗氧化活性指标相关性分析

Fig.8 Correlation analysis of indicators of anti-inflammatory and antioxidant activity in Drosophila melanogaster

注：方格内的数字为相关系数；*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上表现出统计学上的显著相关性。

质[39]，可直接促进肠道血管通透性增加、中性粒细胞浸润和组织损伤。同时 LOX 通路激活会产生活性氧，而肠炎中 LOX 过表达会加剧氧化应激-炎症恶性循环[40]。

3 结论

15 个 CET 样品均对 LOX、COX-2 和果蝇肠道炎症表现出良好的抑制作用。普通油茶样品组对 LOX 和果蝇肠道炎症的抑制率高于其他样品组，攸县油茶样品组对 COX-2 的抑制作用高于其他品种油茶。15 个样品对自由基均有清除作用，不同油茶籽品种的抗氧化能力存在显著性差异。CET 抑制 LOX 活性是其抗肠炎的重要机制。这些研究结果可以为油茶籽及其副产物的开发提供理论基础。不同品种油茶籽之间的抗氧化和抗肠炎活性差异尚不清晰。通过代谢组学方法研究活性差异的物质基础将是未来研究的方向。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] 刘文静, 潘冬梅, 彭升龙, 等. 浙江红花油茶种质的油用价值评价研究[J]. 中国油料作物学报, 2025, 47(2): 393−401. [LIU Wenjing, PAN Dongmei, PENG Shenglong, et al. Research on oil fruit evaluation of *Camellia chekiangoleosa* Hu Germplasm[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2025, 47(2): 393−401.]

[2] 叶佳丰, 马晶菁, 张雨瑞, 等. 油茶蒲总黄酮大孔吸附树脂纯化工艺优化及其体外抗氧化、抗炎活性[J]. 食品工业科技, 2025, 46(7): 178−186. [YE Jiafeng, MA Jingjing, ZHANG Yurui, et al. Purification process and antioxidant, anti-inflammatory activities of total flavonoids from *Camellia oleifera* with macroporous adsorption resin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7): 178−186.]

[3] 李娜. 山茶油对胃溃疡的防治作用及其机制研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2017. [LI Na. The therapeutic effects and potential mechanisms of camellia oil on gastric ulcer[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2017.]

[4] 叶美金, 杨玉敏, 冯鸿, 等. 分光光度法测定油茶籽油中总三萜含量的前处理方法研究[J]. 中国油脂, 2023, 48(4): 140−142, 148. [YE Meijin, YANG Yumin, FENG Hong, et al. Pretreatment for determination of total triterpene in oil-tea camellia seed oil by spectrophotometry[J]. China Oils and Fats, 2023, 48(4): 140−142, 148.]

[5] 孔庆博, 姜惠, 郭春雨, 等. 油茶主要化学成分及药理活性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(4): 194−202. [KONG Q B, JIANG H, GUO C Y, et al. Research progress on main chemical constituents and pharmacological activities of *Camellia oleifera*[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(4): 194−202.]

[6] YUAN Bin, HU Guanxing, ZHANG Xiaoxiao, et al. What are the best pollinator candidates for *Camellia oleifera*: Do not forget hoverflies and flies[J]. Insects, 2022, 13(6): 539.

[7] WANG Rui, LI Weiguo, HE Zhilong, et al. Haplotype-resolved genome assembly of the tetraploid Youcha tree *Camellia meiocarpa* Hu[J]. Scientific Data, 2025, 12: 541.

[8] ZHU Huaguo, WANG Fuqiu, XU Zhongping, et al. The complex hexaploid oil-*Camellia* genome traces back its phylogenomic history and multi-omics analysis of *Camellia* oil biosynthesis[J]. Plant Biotechnology Journal, 2024, 22(10): 2890−2906.

[9] 焦兵, 许承婷, 黎青, 等. 油茶枯黄酮类化学成分及其体外抗炎活性[J]. 中成药, 2019, 41(2): 327−333. [JIAO Bin, XU Chenting, LI Qing, el al. Chemical constituents of the flavonoids from *Camellia oleifera* and their anti-inflammatory activities *in vitro*[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41(2): 327−333.]

[10] 兰念念, 刘睿杰, 常明, 等. 油茶籽油的抗炎活性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(8): 84−88. [LAN Niannian, LIU Ruijie, CHANG Ming, et al. Anti-inflammatory activity of oil-tea camellia seed oil[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(8): 84−88.]

[11] WOŁOSIAK R, DRUŻYŃSKA B, DEREWIAKA D, et al. Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays: A practical approach[J]. Molecules, 2022, 27(1): 50.

[12] WANG Shuhao, LI Yang, LIN Xin, et al. Rapid screening of phenolic compounds with anti-enteritis activity from *Camellia oleifera* oil using a smurf *Drosophila* model and molecular docking methods[J]. Molecules, 2024, 29(1): 76.

[13] XIU Minghui, LI Botong, HE Li, et al. Caffeic acid protects against ulcerative colitis via inhibiting mitochondrial apoptosis and immune overactivation in *Drosophila*[J]. Drug Design, Development and Therapy, 2025, 19: 2157−2172.

[14] 林欣, 李杨, 詹森, 等. 油茶籽乙醇提取物代谢物组成及其抗炎活性[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 304−311. [LIN Xin, LI Yang, ZHAN Miao, et al. Metabolite composition and anti-inflammatory activity of ethanol extract of *Camellia oleifera* Seed[J]. Food Science, 2023, 44(2): 304−311.]

[15] 吉南焕, 侯耀辉, 王开济, 等. 不同施肥模式对越南油茶饼的总多酚含量和抗氧化活性的影响[J]. 热带生物学报, 2024, 15(2): 165−170. [JI Nanhuan, HOU Yaohui, WANG Kaiji, et al. Effects of different fertilizer combinations on total polyphenols contents and antioxidant activities of the cakes of *Camellia vietnamensis* T. C. Huang ex Hu[J]. Journal of Tropical Biology, 2024, 15(2):

165−170.］
［16］ 吴桂玲, 胡丽, 冯定坤, 等. 超声波辅助提取蓝莓叶总黄酮及对脂氧合酶的抑制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 55−60.［WU Guiling, HU Li, FENG Dingkun, et al. Ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from blueberry leaves and its inhibition on lipoxygenase[J]. Food Research and Development, 2020, 41(8): 55−60.］
［17］ 吴俊豪, 王晶, SETHYKUN K, 等. 龟肉蛋白肽延缓果蝇衰老的作用及机制研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 394−401.［WU Junhao, WANG Jing, SETHYKUN K, et al. Research on anti-aging function and mechanism of pond turtle protein-derived peptides on drosophila melanogaster[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 394−401.］
［18］ 朱秀灵, 叶精勤, 盛伊健, 等. 体外模拟消化对苹果多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 63−71.［ZHU Xiuling, YE Jingqin, SHENG Yijian, et al. Effects of *in vitro* simulated digestion on apple polyphenols and their antioxidant activities[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 63−71.］
［19］ 董菲, 田玉红, 周旭凯, 等. 满山香精油和金橘精油的成分分析及其抗氧化性能研究[J]. 应用化工, 2020, 49(5): 1096−1100, 1104.［DONG F, TIAN Y H, ZHOU X K, et al. Chemical composition and antioxidant activities of the essential oil from *Schisandra propinqua* and *Fortunella margarita*[J]. Applied Chemical Industry, 2020, 49(5): 1096−1100.］
［20］ 张靖媛, 吴昊, 王凤舞, 等. 南瓜酒抗氧化活性及其与 Vc、多酚和多糖含量的关系[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 78−82.［ZHANG J Y, WU H, WANG F W, et al. Correlation between antioxidant activity and contents of Vc, polyphenols and polysaccharides in pumpkin wine[J]. Food Science, 2013, 34(1): 78−82.］
［21］ 李杨. 茶籽乙醇提取物抗果蝇肠炎活性评价及机制初步研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.［LI Yang. Evaluation of the anti-drosophila enteritis activity and preliminarystudy on the mechanism of ethanolic extract of *Camellia* seeds[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022.］
［22］ 曾雨, 杨晓迪, 胡卓炎, 等. 不同品种荔枝壳中原花青素的鉴定及其体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2024, 45(21): 218−226.［ZENG Yu, YANG Xiaodi, HU Zhuoyan, et al. Identification of procyanidins in the pericarps of different litchi cultivars and their *in vitro* antioxidant activities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(21): 218−226.］
［23］ LIARAS K, FESATIDOU M, GERONIKAKI A. Thiazoles and thiazolidinones as COX/LOX inhibitors[J]. Molecules, 2018, 23(3): 685.
［24］ GUO Dongchuan, REGALADO E S, GONG Limin, et al. LOX mutations predispose to thoracic aortic aneurysms and dissections[J]. Circulation Research, 2016, 118(6): 928−934.
［25］ CUI Jiahua. Natural COX-2 inhibitors as promising anti-inflammatory agents: An update[J]. Current Medicinal Chemistry, 2021, 28(18): 3622−3646.
［26］ 邢亚威, 刘春玉, 张月花. 炎症性肠病患者髓系细胞表达触发受体-1 与 COX-2 的表达及其意义[J]. 现代预防医学, 2014, 41(14): 2598−2600.［XING Yawei, LIU Chunyu, ZHANG Yuehua. The expression and significance of triggering receptor-1 and COX-2 in myeloid cells in patients with inflammatory bowel disease[J]. Modern Preventive Medicine, 2014, 41(14): 2598−2600.］
［27］ LÓPEZ D E, BALLAZ S J. The role of brain cyclooxygenase-2 (cox-2) beyond neuroinflammation: Neuronal homeostasis in memory and anxiety[J]. Molecular Neurobiology, 2020, 57(12): 5167−5176.
［28］ COOK K R, PARKS A L. The international exchange of drosophila melanogaster strains[J]. Revue Scientifique Et Technique (international Office of Epizootics), 2022, 41(1): 82−90.
［29］ WONG R, PIPER M D W, WERTHEIM B, et al. Quantification of food intake in *Drosophila*[J]. PLoS One, 2009, 4(6): e6063.
［30］ LEE K A, LEE W J. Immune–metabolic interactions during systemic and enteric infection in *Drosophila*[J]. Current Opinion in Insect Science, 2018, 29: 21−26.
［31］ 户行宇, 姚梦柯, 孙婷, 等. 常温酸奶发酵剂产胞外多糖对 DSS 诱导肠炎的改善作用[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 378−387.［HU Hangyu, YAO Mengke, SUN Ting, et al. Improvement effect of the EPS produced by long shelf-life yogurt culture on DSS-induced enteritis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(12): 378−387.］
［32］ 王逸凡. 山茶油的品质分析、加工工艺优化及缓解肠道炎症的作用研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2022.［WANG Yifan. Study on quality analysis, processing optimization of camellia oil and its effect of alleviating intestinal inflammation[D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2022.］
［33］ PRAVDA J. Evidence-based pathogenesis and treatment of ulcerative colitis: A causal role for colonic epithelial hydrogen peroxide[J]. World Journal of Gastroenterology, 2022, 28(31): 4263−4298.
［34］ CHEN Bangtian, LI Weixi, HE Rongrong, et al. Anti-inflammatory effects of a polyphenols-rich extract from tea (*Camellia sinensis*) flowers in acute and chronic mice models[J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2012, 2012: 537923.
［35］ 高文涛, 雷文平, 陈利, 等. 不同方式鉴别不同产地白胡椒特征挥发性物质及抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2025, 46(8): 235−246.［GAO Wentao, LEI Wenping, CHEN Li, et al. Identification of characteristic volatile substances by the combined use of different analytical methods and antioxidant properties of white peppers from different geographical origins[J]. Food Science, 2025, 46(8): 235−246.］
［36］ CHO S C, SHAW S Y. Tea seed saponin-reduced extract ameliorates palmitic acid-induced insulin resistance in HepG2 cells[J]. Molecular Medicine Reports, 2023, 29(2): 26.
［37］ 曾艳丽, 金晨, 廖佳伟, 等. 黄酮类化合物干预神经炎症治疗神经退行性疾病的机制研究进展[J]. 中国药理学通报, 2024, 40(12): 2224−2231.［ZENG Yanli, JIN Chen, LIAO Jiawei, et al. Advances in mechanism of flavonoids intervention in neuroinflammation for neurodegenerative diseases[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2024, 40(12): 2224−2231.］
［38］ HERFINDAL A M, ROCHA S D C, PAPOUTSIS D, et al. The ROS-generating enzyme NADPH oxidase 1 modulates the colonic microbiota but offers minor protection against dextran sulfate sodium-induced low-grade colon inflammation in mice[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2022, 188: 298−311.
［39］ SINGH S, ARTHUR S, SUNDARAM U. Unique regulation of Na-glutamine cotransporter SN2/SNAT5 in rabbit intestinal crypt cells during chronic enteritis[J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2018, 22(3): 1443−1451.
［40］ BALLESTER-SERVERA C, ALONSO J, CAÑES L, et al. Lysyl oxidase in ectopic cardiovascular calcification: Role of oxidative stress[J]. Antioxidants, 2024, 13(5): 523.