李蓉, 张亮, 朱德艳, 等. 蕲艾叶黄酮提取物降脂活性及作用机制 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(12): 455−461. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060257

LI Rong, ZHANG Liang, ZHU Deyan, et al. Lipid-lowering Activity and Mechanisms of *Artemisia argyi* Leaf Flavonoids Extract[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(12): 455−461. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060257

·营养与保健·

蕲艾叶黄酮提取物降脂活性及作用机制

李　蓉[1,*], 张　亮[1], 朱德艳[1], 孔祥辉[2], 黄业传[1], 段文杰[3]

（1.荆楚理工学院特色食品功能挖掘与综合利用团队, 湖北荆门 448000;
2.荆门市中心医院, 湖北荆门 448001;
3.湖北仙之灵食品有限公司, 湖北荆门 431935）

摘　要: 本研究以蕲艾叶为研究对象，提取其中的黄酮类物质，并利用秀丽线虫模型和体外胰脂肪酶抑制活性探究其降脂效果及作用机制。结果表明，蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶具有显著的抑制活性，其半数抑制浓度 IC_{50} 为 8.085±0.28 mg/mL，且这种抑制作用为非竞争性抑制。此外，蕲艾叶黄酮提取物能显著降低高脂线虫模型体内甘油三酯（TG）含量（P<0.05），高脂对照组线虫体内 TG 含量为 2.35 mmol/g，添加了 240、360 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物的高脂加药组线虫体内 TG 含量分别降低了 37.45%、34.04%。进一步研究发现，蕲艾叶黄酮提取物显著下调了 *fat-6*、*fat-7*、*pod-2*、*fasn-1* 等线虫脂肪合成途径相关基因的表达，上调了脂肪分解有关基因 *acs-2* 的表达，且蕲艾叶黄酮提取物降低线虫体内 TG 含量依赖于脂肪酸合成关键基因 *fat-6*、*fat-7*。综上，蕲艾叶黄酮提取物能够抑制胰脂肪酶活性，降低线虫体内 TG 含量，具有较好的降脂效果，本研究为蕲艾的高值化利用提供了理论依据。

关键词: 蕲艾叶, 黄酮类, 胰脂肪酶, 秀丽隐杆线虫, 降脂

中图分类号: TS201.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)12−0455−07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060257　　本文网刊:

Lipid-lowering Activity and Mechanisms of *Artemisia argyi* Leaf Flavonoids Extract

LI Rong[1,*], ZHANG Liang[1], ZHU Deyan[1], KONG Xianghui[2], HUANG Yechuan[1], DUAN Wenjie[3]

（1.Functional Exploration and Comprehensive Utilization Team for Specialty Foods, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, China;
2.Jingmen Central Hospital of Jingchu University of Technology, Jingmen 448001, China;
3.Hubei Xianzhiling Foods Corporation, Jingmen 431935, China）

Abstract: In this study, the flavonoids of *Artemisia argyi* leaf were extracted and identified. Subsequently, the lipid-lowering effects of *Artemisia argyi* leaf flavonoids extract (AALE) and its underlying mechanisms were investigated using a combination of the *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) model and *in vitro* lipase inhibition assays. The results showed that AALE exhibited significant inhibitory activity against pancreatic lipase, with a half-maximal inhibitory concentration (IC_{50}) of 8.085±0.28 mg/mL, and this inhibition was non-competitive. Furthermore, AALE significantly reduced triglyceride (TG) levels in a high-fat nematode model (P<0.05). The TG content in the high-fat control group was 2.35 mmol/g, whereas in the treatment groups supplemented with 240 and 360 μg/mL of AALE, the TG levels decreased 37.45% and 34.04% (P<0.05), respectively. Further studies revealed that AALE significantly downregulated the expression of key genes involved in fat synthesis pathways in nematodes, including *fat-6*, *fat-7*, *pod-2*, and *fasn-1*, while upregulating the expression of *acs-2*, a gene associated with lipolysis. Moreover, the effect of AALE in reducing TG levels was dependent on the critical fatty acid synthesis genes *fat-6* and *fat-7*. In conclusion, AALE can inhibit pancreatic lipase activity and reduce the TG

收稿日期: 2025−06−20

基金项目: 湖北省科技厅自然科学基金创新发展联合基金（2026AFC0739）; 荆门市青年人才科技计划项目（2025QNRC01）; 国家级大学生创新创业训练计划项目（202511336009）。

作者简介/通信作者*: 李蓉（1987−）, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物研究与开发, E-mail: lirong2022@jcut.edu.cn。

content in nematodes, demonstrating a good lipid-lowering effect. This study provides a theoretical basis for the high-value utilization of *Artemisia argyi*.

Key words: *Artemisia argyi* leaf; flavonoid; pancreatic lipase; *Caenorhabditis elegans*; lipid-lowering

肥胖及其并发症已成为一个重大的公共卫生问题。肥胖是由能量摄入与能量消耗之间的失衡所导致的,脂代谢功能障碍极大地影响了能量平衡,从而导致脂肪过度堆积。因此,具有调节脂质代谢的天然产物引起人们广泛的关注。研究表明天然产物如红小豆提取物[1]、枸杞多糖[2]、韭菜提取物[3]等对胰脂肪酶具有较好的抑制活性,显示具有降脂功效的潜力。蕲艾(*Artemisia argyi* Levl. et Vant.)是产自湖北蕲春的一种菊科蒿属艾的栽培品种,具有重要的药用价值和经济价值。蕲艾叶中含有黄酮类、鞣酸类、挥发油、有机酸类等多种化合物,其中黄酮类化合物是其具有生物活性的重要物质基础[4]。目前关于蕲艾黄酮化合物生物活性研究主要集中在抗氧化、抗炎、增强免疫等方面[5−7],对其调节脂代谢及其作用机制方面的报道较少。最近的研究显示在饲料中添加一定量的艾草粉可以调节湖羊的脂代谢[8],表明蕲艾具有潜在的降脂活性。

秀丽隐杆线虫(*Caenorhabditis elegans*)因其体型小、生命周期短、身体透明、遗传操作简便以及培养成本低廉等特点,已成为研究脂质代谢和肥胖遗传学的热门模型[9−10]。更重要的是,许多调节人类脂代谢的关键信号通路和基因在秀丽隐杆线虫中是保守的[11]。胰脂肪酶是人体消化系统中脂肪分解的关键酶,抑制胰脂肪酶活性可以抑制机体对脂肪的吸收[12]。基于此,本研究以蕲艾叶黄酮提取物为研究对象,测定其对胰脂肪酶的抑制活性,再利用秀丽线虫模型探究蕲艾叶黄酮提取物体内降脂效果,并对其降脂作用的分子机制进行探究,为蕲艾叶在降脂性功能食品开发方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蕲艾叶　购于蕲春蕲艾康本草科技有限公司;野生型秀丽线虫株系(N2)、BX153 [*fat-7*(wa36) Ⅴ]、BX106 [*fat-6*(tm331) Ⅳ]、*E. coli* OP50　购于明尼苏达大学秀丽隐杆线虫遗传学中心 Caenorhabditis Genetics Center(CGC);胰脂肪酶(15~35 U/mg)、4-硝基苯基丁酸酯、奥利司他、芦丁标准品(纯度≥98%)、油红 O 粉末　上海阿拉丁生化科技股份有限公司;葡萄糖、亚硝酸钠、氯仿、无水乙醇、异丙醇、无水氯化钙、七水合硫酸亚铁、四水合氯化锰、七水合硫酸锌、五水合硫酸铜、十二水合磷酸氢二钠、胆固醇、次氯酸钠、七水合硫酸镁、氢氧化钠、氯化钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾　国药集团;5-氟-2-脱氧尿苷(FudR)　美国 Sigma 公司;Trizol 试剂、SuperReal PreMix Plus(SYBR Green)　北京天根生化科技有限公司;cDNA 反转录试剂盒、qPCR 试剂盒 SYBR　美国诺唯赞公司;TG 检测试剂盒、BCA 检测试剂盒　南京建成生物工程研究所。

SW-CJ-3F 超净工作台　上海沪静医疗器械有限公司;NIB610 倒置显微镜　宁波永新光学股份有限公司;XFH-50CA 全自动高压灭菌锅　浙江新丰医疗器械有限公司;Multiskan Skyhigh 全波长酶标仪　美国 Thermo 公司;MY-10 手持研磨器　上海净信实业发展有限公司;Centrifuge 5418 R 冷冻离心机　德国艾本德 Eppendorf 公司;QuantStudio 3.0 荧光定量 PCR 仪　美国 ABI 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蕲艾叶黄酮化合物的提取　参照 Shi 等[13]方法提取蕲艾叶中的黄酮化合物。蕲艾叶在 60 ℃ 下烘干后粉碎,按照料液比 1∶15 以 50% 乙醇溶液在 50 ℃ 下提取 2 h,重复浸提 2 次后抽滤,所得滤液在 50 ℃ 下旋转蒸发去除乙醇得到浓缩液,将浓缩液经 AB-8 大孔树脂纯化,收集 50% 乙醇洗脱液,浓缩并冷冻干燥得到蕲艾叶黄酮提取物粉末。用 DMSO 溶解粗提物粉末配成浓度为 60 mg/mL 的母液,在 −80 ℃ 保存备用。

1.2.2 蕲艾叶黄酮提取物中黄酮含量的测定　采用亚硝酸钠-硝酸铝法测定总黄酮含量[14]。将蕲艾叶黄酮提取物冻干粉溶解于 50% 乙醇中,取 200 μL 不同浓度的芦丁标准品溶液或样品溶液,加入 0.5% $NaNO_2$ 溶液 75 μL 混匀后,避光静置 5 min,再加入 150 μL 10% $Al(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 溶液,静置 5 min,最后加入 1 mol/L NaOH 溶液 500 μL,在 λ=510 nm 处测定吸光值,根据芦丁标准曲线(y=0.0019x+0.0309,R^2=0.9931)和样品溶液的吸光度计算样品中的总黄酮含量,结果以 mg 芦丁/g 样品表示。

1.2.3 蕲艾叶黄酮提取物胰脂肪酶抑制活性测定　参考缪园欣等[15]方法并稍作改进。按照表 1 反应体系进行实验,取 50 μL 不同浓度样品溶液(5、10、15、20、25 mg/mL)、50 μL 胰脂肪酶(10 mg/mL)、以及不同体积的 PBS 磷酸盐缓冲液(50 mmol/L,pH8.0)混匀后于 37 ℃ 恒温孵育 15 min,加入 50 μL

表 1　胰脂肪酶抑制活性反应体系

Table 1　Reaction system for determination of pancreatic lipase inhibitory activity

组别	PBS缓冲液(μL)	胰脂肪酶溶液(μL)	样品溶液(μL)	底物溶液(μL)
对照试验组	100	50	0	50
对照空白组	150	0	0	50
样品试验组	50	50	50	50
样品空白组	100	0	50	50

1 mg/mL 4-硝基苯基丁酸酯溶液, 混匀后在 37 ℃ 继续孵育 15 min。使用酶标仪在 405 nm 下测定吸光度, 以奥利司他作为阳性对照, 按照式(1)计算脂肪酶抑制率。

$$抑制率(\%) = \left(1 - \frac{A1 - A0}{B1 - B0}\right) \times 100 \qquad 式（1）$$

式中: A1 为样品试验组吸光度值; A0 为样品空白组吸光度值; B1 为对照试验组吸光度值; B0 为对照空白组吸光度值。

1.2.4　蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶抑制类型测定　固定胰脂肪酶浓度为 10 mg/mL, 分别与质量浓度为 0、20 mg/mL 的样品反应, 按照 1.2.3 反应体系分别测定不同浓度的样品在不同底物 4-硝基苯基丁酸酯浓度(2、4、6、8、10 mg/mL)下的反应初速度, 以反应速率的倒数(1/[V])对底物 4-硝基苯基丁酸酯质量浓度的倒数(1/[S])作图, 绘制 Lineweaver-Burk 双倒数曲线, 确定样品对胰脂肪酶的抑制类型。

1.2.5　线虫的培养

1.2.5.1　线虫的裂解　将处于产卵期的线虫用 M9 缓冲液从线虫培养板上洗入 1.5 mL 离心管中, 去除上清液, 再用 M9 缓冲液洗三次除去线虫身上粘附的菌。然后在离心管中加入 1 mL 线虫裂解液(由氢氧化钠溶液与次氯酸钠混合配制), 迅速剧烈振荡 10 min 至虫体完全裂解, 再在 10000 r/min 常温离心 1 min, 弃去上清, 并用 M9 缓冲液清洗沉淀 4 次, 最后将得到的虫卵置于涂有 *E. coli* OP50 的线虫培养皿上, 放在 20 ℃ 培养箱中培养, 获得同步化的线虫子代[16]。

1.2.5.2　高脂线虫培养　参照 Peng 等[17] 的方法建立高脂线虫模型: 用 24 孔板培养, 每孔加入 300 μL 线虫液体培养基(实验室自制), 其中设置仅含有 DMSO 的空白对照组、含有 10 mmol/L 葡萄糖的高糖对照组以及含有 10 mmol/L 葡萄糖和不同浓度(60、240、360 μg/mL)蕲艾叶黄酮提取物的高糖加药组。将同步化至 L4 期的线虫用挑针挑取至线虫液体培养基中, 每孔挑取约 300 条线虫, 挑取线虫的时间设为第 0 d, 密封 24 孔板后放入 20 ℃ 培养。

1.2.5.3　线虫甘油三酯 TG 含量测定　参照 1.2.5.2 方法培养不同株系线虫包括野生型 N2、BX106、BX153, 当培养 3 d 后, 收集不同处理组线虫, 用 M9 缓冲液洗 3 次去除粘附的杂菌, 在冰上充分研磨, 再在 4 ℃ 下 10000 r/min 离心 5 min, 按照甘油三酯 TG、BCA 测定试剂盒说明书测定线虫匀浆液上清中 TG、蛋白质含量, 每个实验重复三次。

1.2.5.4　线虫油红 O 染色观察　利用油红 O 染色法观察线虫体内脂肪含量及分布情况。方法如下: 线虫的培养参照 1.2.5.2, 当培养至第 3 d 时, 收集不同处理组的 N2 线虫于 1.5 mL 离心管中, 用 M9 缓冲液洗三次, 加入 2% 多聚甲醛 100 μL 固定, 然后将离心管放入液氮中, 反复冻融三次, 最后一次解冻后于 4 ℃ 下 1500 r/min 离心 1 min, 用 M9 缓冲液洗 2 次, 去除上清后加入 1 mL 60% 异丙醇脱水 15 min, 离心去上清, 再加入 1 mL 60% 油红 O 染色液, 振荡过夜, 避光染色。染色后取出离心管, 4 ℃ 下 1500 r/min 离心 1 min, 除去染色液, 再加 M9 洗 2 次除去多余的浮色, 将线虫转移至载玻片上, 在显微镜下观察线虫脂滴染色情况, 并用 ImageJ 软件处理数据[18]。

1.2.6　线虫脂代谢相关基因表达测定　按照 1.2.5.2 所述方法培养野生型线虫 N2, 其中设置仅含有 DMSO 的高糖对照组和含有 240 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物的高糖加药组。待线虫培养至成虫第 3 d, 收集不同处理组的线虫用 M9 缓冲液洗 3 次去除粘附的杂菌, 在冰上充分研磨, 再在 4 ℃ 下 10000 r/min 离心 5 min 得到上清液。参照试剂盒说明书, 利用 Trizol 提取法获得高质量的总 RNA, 再按照逆转录试剂盒说明书, 配制反转录反应体系, 混匀后 37 ℃ 孵育 15 min, 85 ℃ 孵育 5 s, 获得的 cDNA。根据 SYBR Premix EX Tap Ⅱ 说明书进行定量扩增, 反应体系按照 5 μL 2×qPCR Mix, 0.4 μL 正向引物, 0.4 μL 反向引物, 0.5 μL cDNA, 3.7 μL ddH_2O 配制反应体系, 在荧光定量 PCR 仪中进行反应。设定反应程序为: 95 ℃ 预变性 30 s, 95 ℃ 变性 5 s, 57 ℃ 退火 30 s, 72 ℃ 延伸 30 s, 40 个循环。以 *act-1* 作为内参基因, 采用 $2^{-\Delta\Delta CT}$ 法计算目的基因的相对表达量。相关基因引物由武汉擎科生物有限公司合成, 具体引物序列见表 2。

表 2　相关基因引物序列
Table 2　Primer sequences of related genes

基因	引物
act-1	F: CATGAAGATCAAGATCATCGCC R: GTGACGATGGTTTTGAACTTGT
fat-6	F: TCAACAGCGCTGCTCACTAT R: TTCGACTGGGGTAATTGAGG
fat-7	F: CAACAGCGCTGCTCACTATT R: CACCAACGGCTACAACTGTG
acs-2	F: GCCTTGGATGGGATAGAG R: TGATGGGAAGACCACAGT
pod-2	F: GTAAATCGAGTCAATACCGTGC R: GCGAGATTTTCTTCTGAACCTC
fasn-1	F: TCATGGTTGATAGAGACTACGC R: AACCAAAGCATAATAAGCGGTG

1.3　数据处理

所有实验重复三次, 结果以均值±标准偏差表示。实验数据用 SPSS 进行统计分析, 采用 ANOVA 进行显著性分析, $P<0.05$ 表示具有显著性差异。

2　结果与分析

2.1　蕲艾叶黄酮提取物中黄酮含量测定结果

对蕲艾叶黄酮提取物冻干粉中的黄酮含量进行测定, 其黄酮含量为 176.25±1.38 mg 芦丁/g。在前

期的研究成果中[19], 该蕲艾叶黄酮提取物中共鉴定出 22 种黄酮类化合物, 其中以山柰酚、芦丁、芹菜素、儿茶素、槲皮素、木犀草素、刺芒柄花素和柚皮素等 8 种黄酮类化合物为主。

2.2 蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶的抑制作用

由图 1 可知, 蕲艾叶黄酮提取物 AALE 浓度为 5~25 mg/mL 范围内, 随着浓度的增加, 其对胰脂肪酶的抑制率显著增加, 且具有一定的量效关系, 当其浓度为 25 mg/mL 时, 其对胰脂肪酶的抑制率为 77.19%, 略低于阳性对照奥利司他的抑制率 91.28%, 这可能与黄酮类化合物可以与胰脂肪酶的活性部位通过疏水缔合或分子间氢键形成相互作用, 从而改变酶的结构并抑制其活性[20]。经过计算 AALE 对胰脂肪酶的半数抑制浓度 IC_{50} 为 8.085±0.28 mg/mL, 奥利司他对胰脂肪酶的半数抑制浓度 IC_{50} 为 1.068±0.13 mg/mL, 结果表明在一定的质量浓度下, AALE 对胰脂肪酶抑制效果较好, 显示其降脂的潜力。

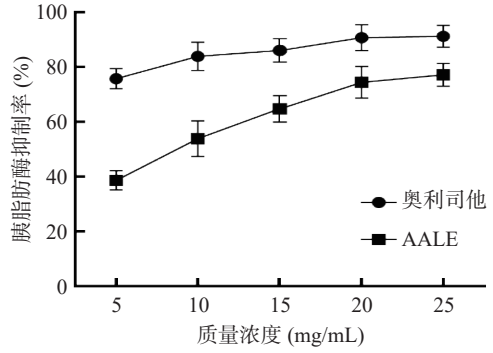


图 1 蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶抑制活性

Fig.1 Inhibitory activity of AALE on pancreatic lipase

2.3 蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶的抑制类型分析

固定胰脂肪酶浓度和样品质量浓度, 改变反应体系中的底物浓度, 以反应初速度的倒数 1/[V] 对底物浓度的倒数 1/[S] 绘制 Lineweaver-Burk 双倒数图, 当对照组曲线与样品组曲线相交于横轴, 则为非竞争性抑制[1−2]。如图 2 所示, 对照组与 AALE 试验组拟合曲线相交于横轴, 表明 AALE 对胰脂肪酶的抑制作用为非竞争性抑制。

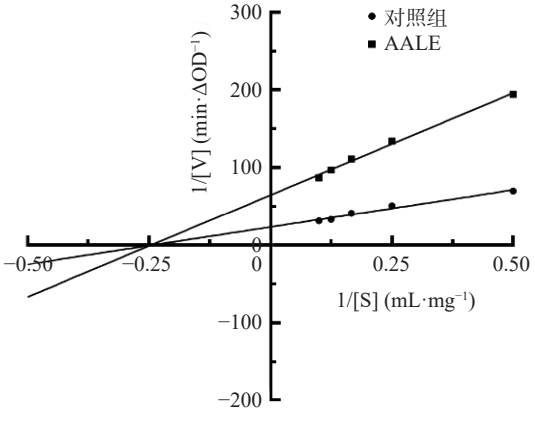


图 2 蕲艾叶黄酮提取物对胰脂肪酶作用的 Lineweaver-Burk 曲线

Fig.2 Lineweaver-Burk plots of AALE against pancreatic lipase

2.4 蕲艾叶黄酮提取物对野生型秀丽线虫体内甘油三酯含量的影响

本研究通过在秀丽线虫培养基中添加 10 mmol/L 葡萄糖建立高脂线虫模型, 培养 3 d 后测定秀丽线虫体内甘油三酯 TG 含量, 结果如图 3 所示。与对照组相比, 添加了 10 mmol/L 葡萄糖的线虫高糖组体内 TG 含量显著增加, 由对照组的 0.96 mmol/g 增加至 2.35 mmol/g, 这与 Zhang 等[21] 报道结果一致, 其添加了 10 mmol/L 葡萄糖后, 高脂对照组线虫体内 TG 含量为空白对照组的 1.5 倍, 表明本研究成功建立了高脂线虫模型。与高脂对照组 HF 相比, 添加了 60、240、360 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物的高脂加药组线虫体内 TG 含量分别降低了 16.17%、37.45%、34.04%, 其中 240 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物降脂效果最佳, 因此后续实验选择 240 μg/mL 这一浓度。与本研究结果类似, 研究报道黄酮类化合物芦丁、木犀草素、槲皮素、芹菜素等能显著降低秀丽线虫体内的脂肪含量[22], 富含黄酮类化合物的银杏种子提取物也对秀丽线虫脂代谢由积极的调节作用[23]。

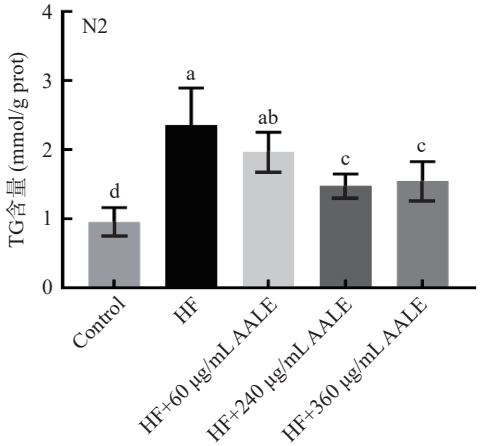


图 3 蕲艾叶黄酮提取物对野生型线虫体内 TG 含量的影响

Fig.3 Effect of AALE on the TG content of wild-type nematodes

注: 不同小写字母表示有显著性差异(P<0.05), 图 4 同。

2.5 野生型秀丽线虫体内油红 O 染色结果

糖代谢与脂代谢紧密相关, 过量的糖摄入会导致脂代谢紊乱, 诱导肥胖及相关疾病的发生。与哺乳动物类似, 秀丽线虫摄入过量的糖后会在体内以脂滴的形式贮存, 其主要分布在肠道及皮下细胞中[24]。油红 O 是一种脂溶性染料, 可以进入细胞将脂滴染成红色, 由于线虫身体透明, 因此可以直观地观察染料的颜色及位置并以此判断线虫体内脂肪含量及分布情况[25−26]。为了观察蕲艾叶黄酮提取物对秀丽线虫体内脂肪含量的影响, 本研究对野生型秀丽线虫体内的脂肪进行了油红 O 染色, 结果如图 4 所示。与空白对照组相比, 高脂对照组线虫虫体红色明显加深,

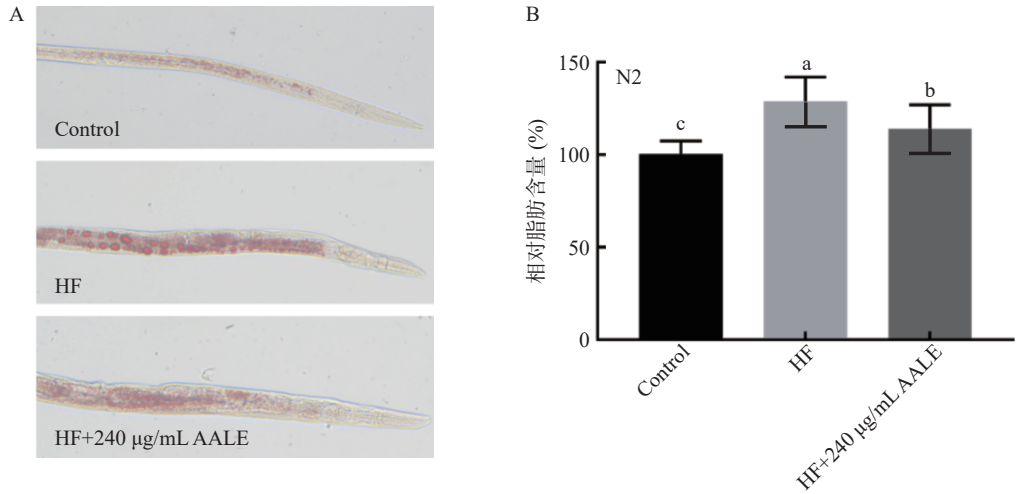


图 4　蕲艾叶黄酮提取物对野生型线虫油红 O 染色定量结果的影响

Fig.4　Effect of AALE on the relative quanti4cation of fat contents by Oil-Red-O staining in wild-type worms

注：A. 不同处理组野生型线虫油红 O 染色代表性图片；B. 不同处理组野生型线虫油红 O 染色定量结果。

数据处理显示脂肪含量显著提高了 28.86%。当加入 240 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物共同培养后，虫体红色比高脂对照组要浅，数据处理显示与高脂对照组相比，240 μg/mL 蕲艾叶黄酮提取物处理组其脂肪含量降低了 14.73%，此结果更加直观地显示蕲艾叶黄酮提取物可以显著降低线虫体内脂肪含量，这一结果与上述 TG 结果一致，表明蕲艾叶提取物具有较好的体内降脂效果。

2.6　蕲艾叶黄酮提取物对野生型秀丽线虫脂代谢相关基因表达的影响

为了探究蕲艾叶黄酮提取物对线虫降脂作用的分子机制，本研究测定了蕲艾叶黄酮提取物对线虫体内脂代谢相关基因表达的影响。如图 5 所示，与高脂对照组相比，240 μg/mL AALE 处理后线虫 *fat-6*、*fat-7* 的表达显著下调（P<0.05），分别为对照组的 0.64、0.38 倍。在秀丽线虫中，*fat-6* 和 *fat-7* 编码硬脂酰辅酶 A 去饱和酶，在硬脂酸转化为油酸的过程中发挥重要作用[27−28]。AALE 显著下调 *fat-6*、*fat-7* 的表达，表明其抑制了不饱和脂肪酸的合成途径，从而对降低脂肪含量起到积极的作用。此外，与高脂对照组相比，240 μg/mL AALE 显著下调了 *pod-2*、*fasn-1* 的表达（P<0.01），其分别为对照组的 0.58、0.63 倍。脂代谢基因 *pod-2* 编码线虫体内乙酰辅酶 A 羧化酶，是脂肪酸生物合成中的限速酶，它催化乙酰辅酶 A 作为底物生成丙二酰辅酶 A，与线虫体内中长链脂肪酸生物合成有关[29]。而 *fasn-1* 编码脂肪酸合成酶，是脂肪酸生物合成中的另一种限速酶[30]。AALE 显著下调 *pod-2*、*fasn-1* 的表达（P<0.01），表明其抑制了脂肪酸的合成途径，从而降低线虫体内脂肪含量。相反地，与高脂对照组相比，240 μg/mL AALE 显著增加了 *acs-2* 的表达量（P<0.05），其表达水平为对照组的 1.87 倍。在秀丽线虫中，*acs-2* 编码线粒体酰基辅酶 A 合成酶，催化脂肪酸转化为酰基辅酶 A，可以促进脂肪酸转运至线粒体基质用于后续的 β 氧化[31−32]。AALE 上调 *acs-2* 的表达，表明 AALE有助于激活脂肪酸 β 氧化途径，通过促进脂肪分解途径而降低线虫体内脂肪的积累水平。综上所述，AALE 通过抑制脂肪合成相关基因的表达，促进脂肪分解途径相关基因的表达，降低了线虫体内脂肪含量。

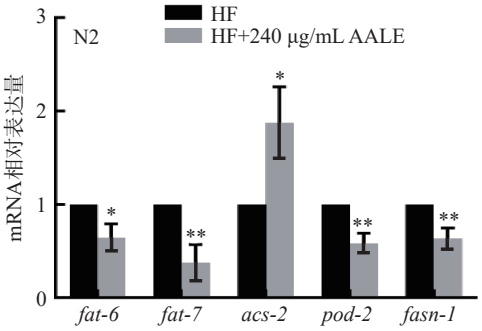


图 5　蕲艾叶黄酮提取物对野生型线虫脂代谢相关基因表达的影响

Fig.5　Effect of AALE on the expression of lipid metabolism-related genes in wild-type nematodes

注：结果用平均值±标准偏差表示，*P<0.05，**P<0.01 表示与高脂对照组比较。

2.7　蕲艾叶黄酮提取物对 *fat-6* 缺失突变体线虫体内 TG 含量的影响

BX106 线虫株系是 *fat-6* 缺失突变体，鉴于前面已经表明 AALE 显著降低线虫体内 *fat-6* 的表达水平，为了进一步探究 *fat-6* 在 AALE 调控的降脂效果中的作用，本研究测定了 BX106 线虫体内 TG 含量。如图 6 所示，AALE 不能显著降低 *fat-6* 缺失突变体 BX106 株系的 TG 含量，表明 AALE 的降脂效果依赖于 *fat-6*，这与 AALE 调节 *fat-6* 基因表达结果一致，*fat-6* 在 AALE 的降脂效果中发挥重要作用。Zhang 等[21] 研究指出，五没食子酰葡萄糖可以显著降低野生型秀丽线虫体内 TG 含量，但是不能降低 *fat-6* 缺失突变体 BX106 线虫体内 TG 含量，表明

五没食子酰葡萄糖降低秀丽线虫 TG 含量依赖于 *fat-6*。

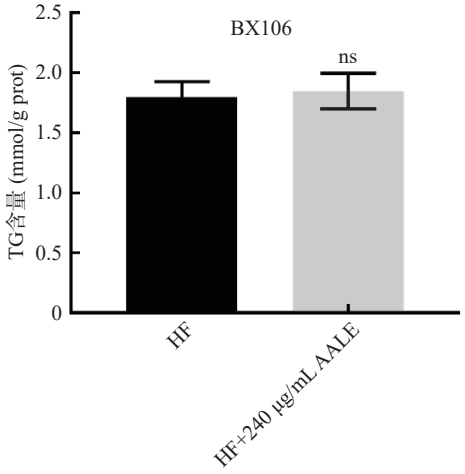


图 6 蕲艾叶黄酮提取物对 BX106 线虫株系 TG 含量的影响
Fig.6 Effect of AALE on the TG content of BX106 strains
注: ns 表示与高脂对照组无显著差异, 图 7 同。

2.8 蕲艾叶黄酮提取物对 *fat-7* 缺失突变体线虫体内 TG 含量的影响

BX153 线虫株系是 *fat-7* 缺失突变体, 常用于活性成分降脂作用机制研究。Lin 等[33] 报道指出, 苦瓜皂苷提取物能显著降低野生型秀丽线虫体内脂肪含量, 但是不能降低 *fat-7* 缺失突变体线虫 BX153 体内脂肪含量, 表明苦瓜皂苷提取物降低线虫脂肪含量依赖于 *fat-7*。鉴于前面结果显示 AALE 显著降低线虫体内 *fat-7* 的表达水平, 为了进一步探究 *fat-7* 在 AALE 调控的降脂效果中的作用, 本研究测定了 BX153 线虫体内 TG 含量。如图 7 所示, AALE 不能显著降低 *fat-7* 缺失突变体 BX153 株系的 TG 含量, 而 AALE 能显著降低野生型线虫株系体内 TG 含量, 表明 AALE 的降脂效果依赖于 *fat-7*, 其在 AALE 的降脂效果中发挥重要作用。

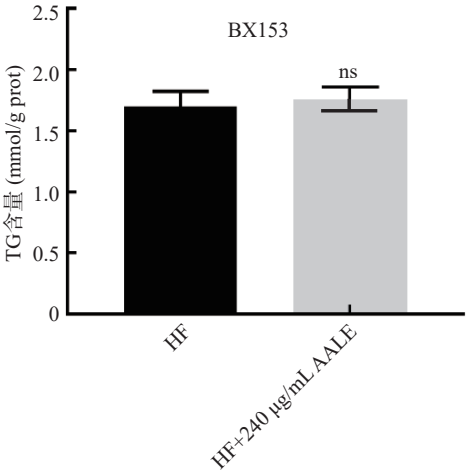


图 7 蕲艾叶黄酮提取物对 BX153 线虫株系 TG 含量的影响
Fig.7 Effect of AALE on the TG content of BX153 strains

3 结论

本研究提取了蕲艾叶中的黄酮类化合物并对其进行了鉴定, 其含有山柰酚、芦丁、芹菜素、儿茶素、槲皮素、木犀草素、刺芒柄花素、柚皮素等为主的黄酮类物质。利用体外模型探究其降脂活性, 结果表明其对胰脂肪酶具有良好的抑制作用, 且为非竞争性抑制。此外, 蕲艾叶黄酮提取物可以显著降低秀丽线虫体内甘油三酯含量, 进一步研究发现其通过下调线虫体内脂肪合成途径相关基因的表达, 上调脂肪分解途径相关基因的表达水平从而起到降脂效果。本研究通过探究蕲艾叶黄酮提取物体内外降脂活性, 初步阐明其体内降脂作用的分子机制, 为蕲艾叶在降脂方面的应用提供理论依据。

© 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] 郭庆丰, 周敬文, 卢文芳, 等. 红小豆提取物对 α-葡萄糖苷酶和胰脂肪酶的抑制作用[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(9): 147−151, 157. [GUO Qingfeng, ZHOU Jingwen, LU Wenfang, et al. The inhibitory effects on α-glucosidase and pancreatic lipase of extracts from adzuki bean[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(9): 147−151,157.]
[2] 张涛, 马麦迈, 卢顺, 等. 枸杞叶多糖结构表征及体外抗氧化与酶活抑制活性评价[J]. 中国食品学报, 2024, 24(11): 59−70. [ZHANG Tao, MA Maimai, LU Shun, et al. Structural characterization and evaluation of antioxidant and enzyme activity of *Lycium barbarum* leaves polysaccharide *in vitro*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(11): 59−70.]
[3] 曹叶霞, 李慧卿, 尹爱萍, 等. 韭菜提取物对胰脂肪酶抑制作用的研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(4): 141−144,159. [CAO Yexia, LI Huiqing, YIN Aiping, et al. Study on the inhibitory effect of leek extracts on pancreatic lipase[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(4): 141−144,159.]
[4] 李涵, 陈希瑜, 朱珠, 等. 蕲艾的现代研究进展[J]. 中药材, 2022, 45(3): 765−769. [LI Han, CHEN Xiyu, ZHU Zhu, et al. Modern research progress of *Artemisia argyi*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2022, 45(3): 765−769.]
[5] 杨理萍, 刘梦婷, 郑雯琪, 等. 响应面优化蕲艾总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(2): 83−89. [YANG Liping, LIU Mengting, ZHENG Wenqi, et al. Extraction process of total flavonoids from *Artemisia argyi* optimized by response surface methodology and the antioxidant activity research[J]. Storage and Process, 2022, 22(2): 83−89.]
[6] 朱芸芸, 陈乐, 魏晓晴, 等. 蕲艾治疗溃疡性结肠炎的活性筛选与作用评价[J]. 中草药, 2021, 52(16): 4882−4891. [ZHU Yunyun, CHEN Le, WEI Xiaoqing, et al. Activity screening and evaluation of *Artemisia argyi* in treatment of ulcerative colitis[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 52(16): 4882−4891.]
[7] CHEN Meiyun, PAN Sheng, LIN Fengli, et al. Edible plant *Artemisia argyi* H. Lév. & Vaniot: An *in vitro* study on its anti-*Helicobacter pylori* effect[J]. Journal of Functional Foods, 2025, 124: 106648.
[8] 李晓, 王学方, 李永亮, 等. 艾草粉对湖羊生长性能、肉品质、脂质代谢、消化酶活力与肠道菌群的影响[J]. 中国饲料, 2025(5): 178−186. [LI Xiao, WANG Xuefang, LI Yongliang, et al. Effects of *Artemisia argyi* powder on growth performance, meat

quality, lipid metabolism, digestive enzyme activity and intestinal flora of Hu sheep[J]. China Feed, 2025(5): 178−186.]

[9] JONES K T, ASHRAFI K. *Caenorhabditis elegans* as an emerging model for studying the basic biology of obesity[J]. Disease Models & Mechanisms, 2009, 2(5−6): 224−229.

[10] YUE Yiren, LI Sida, SHEN Peiyi, et al. *Caenorhabditis elegans* as a model for obesity research[J]. Current Research in Food Science, 2021, 4: 692−697.

[11] YE Yongli, GU Qingyin, SUN Xiulan. Potential of *Caenorhabditis elegans* as an antiaging evaluation model for dietary phytochemicals: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(6): 3084−3105.

[12] LI X, YAMADA H, MORITA S, et al. Effects of free linoleic acid and oleic acid in sesame meal extract as pancreatic lipase inhibitors on postprandial triglyceridemia: A randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover study in healthy volunteers[J]. Nutrients, 2023, 15(7): 1748.

[13] SHI Yu, LEI Yueyue, GUO Shiwen, et al. Screening anti–rheumatoid arthritis synovitis effective ingredients of total flavonoid from *Artemisia argyi* folium based on spectrum–effect relationship[J]. Phytochemical Analysis, 2025, 36(4): 943−956.

[14] COSMULESCU S, TRANDAFIR I, NOUR V, et al. Total phenolic, flavonoid distribution and antioxidant capacity in skin, pulp and fruit extracts of plum cultivars[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 39(1): 64−69.

[15] 缪园欣, 田建阳, 贲锦华, 等. 山楂酵素发酵工艺优化及体外生物活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(10): 181−187. [MIAO Yuanxin, TIAN Jianyang, BI Jinhua, et al. Optimization of fermentation technology and its *in-vitro* activity of hawthorn enzyme[J]. Food and Machinery, 2024, 40(10): 181−187.]

[16] LI Rong, TAO Mingfang, WU Ting, et al. A promising strategy for investigating the anti-aging effect of natural compounds: A case study of caffeoylquinic acids[J]. Food & Function, 2021, 12(18): 8583−8593.

[17] PENG Huimin, WEI Zhaohan, LUO Hujie, et al. Inhibition of fat accumulation by hesperidin in *Caenorhabditis elegans*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(25): 5207−5214.

[18] LEE D, JEONG D E, SON H G, et al. SREBP and MDT-15 protect *C. elegans*from glucose-induced accelerated aging by preventing accumulation of saturated fat[J]. Genes & Development, 2015, 29(23): 2490−2503.

[19] WANG Jinsong, ZHU Deyan, CUI Hailin, et al. Molecular mechanism of culinary herb *Artemisia argyi* in promoting lifespan and stress tolerance[J]. npj Science of Food, 2024, 8: 111.

[20] 孙嘉莉, 江峻峰, 牟晓娟, 等. 沙棘果皮渣总黄酮的纯化、成分分析及对胰脂肪酶的抑制作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 206−215. [SUN Jiali, JIANG Junfeng, MOU Xiaojuan, et al. Purification and component analysis of total flavonoids from sea buckthorn peel residue and its anti-pancreatic lipase[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(19): 206−215.]

[21] ZHANG Xiaoying, LI Wei, TANG Yunzhou, et al. Mechanism of pentagalloyl glucose in alleviating fat accumulation in *Caenorhabditis elegans*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(51): 14110−14120.

[22] LIN Yan, YANG Nan, BAO Bin, et al. Luteolin reduces fat storage in *Caenorhabditis elegans* by promoting the central serotonin pathway[J]. Food & Function, 2020, 11(1): 730−740.

[23] SHEN Nan, ZENG Wen, LENG Feng, et al. *Ginkgo seed* extract promotes longevity and stress resistance of *Caenorhabditis elegans*[J]. Food & Function, 2021, 12(24): 12395−12406.

[24] SHEN P Y, YUE Y R, ZHENG J, et al. *Caenorhabditis elegans*: A convenient *in vivo* model for assessing the impact of food bioactive compounds on obesity, aging, and Alzheimer's disease[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2018, 9: 1−22.

[25] MAK H Y, NELSON L S, BASSON M, et al. Polygenic control of *Caenorhabditis elegans* fat storage[J]. Nature Genetics, 2006, 38(3): 363−368.

[26] SRINIVASAN S. Regulation of body fat in *Caenorhabditis elegans*[J]. Annual Review of Physiology, 2015, 77: 161−178.

[27] NTAMBI J M, MIYAZAKI M. Regulation of stearoyl-CoA desaturases and role in metabolism[J]. Progress in Lipid Research, 2004, 43(2): 91−104.

[28] WATTS J L. Fat synthesis and adiposity regulation in *Caenorhabditis elegans*[J]. Trends in Endocrinology & Metabolism, 2009, 20(2): 58−65.

[29] ELLE I C, OLSEN L C B, PULTZ D, et al. Something worth dyeing for: Molecular tools for the dissection of lipid metabolism in *Caenorhabditis elegans*[J]. FEBS Letters, 2010, 584(11): 2183−2193.

[30] LEE K Z, KNIAZEVA M, HAN Min, et al. The fatty acid synthase fasn-1 acts upstream of WNK and Ste20/GCK-VI kinases to modulate antimicrobial peptide expression in C. elegans epidermis[J]. Virulence, 2010, 1(3): 113−122.

[31] YANG F J, VOUGHT B W, SATTERLEE J S, et al. An ARC/Mediator subunit required for SREBP control of cholesterol and lipid homeostasis[J]. Nature, 2006, 442(7103): 700−704.

[32] van GILST M R, HADJIVASSILIOU H, JOLLY A, et al. Nuclear hormone receptor NHR-49 controls fat consumption and fatty acid composition in *C. elegans*[J]. PLoS Biology, 2005, 3(2): e53.

[33] LIN Chunxiu, LIN Yizi, CHEN Yue, et al. Effects of *Momordica* saponin extract on alleviating fat accumulation in *Caenorhabditis elegans*[J]. Food & Function, 2019, 10(6): 3237−3251.