

辣木叶及其有效成分抗高脂血症药理作用研究进展

杨卓凡¹, 宣攢威¹, 罗浩鑫¹, 郑智彬¹, 朱锦鸿¹, 周红祖^{2*}, 黄庆宝², 余惠旻^{1*}

1. 深圳大学 医学部, 广东 深圳 518060

2. 深圳市中医院, 广东 深圳 518020

摘要: 辣木叶来源于热带植物辣木 *Moringa oleifera*, 以叶入药, 具有良好的生理活性。现代研究显示辣木叶含有丰富的黄酮、多糖、多酚、生物碱等功能成分, 具有明确的抗氧化、抗菌、降糖、抗高脂血症等药理作用。辣木叶及其有效成分可能通过抑制脂质过氧化、抑制胰脂肪酶活性、抑制 α -葡萄糖苷酶活性、诱导棕色脂肪组织生成、提高胆汁酸结合能力等途径达到抗高脂血症作用。综述辣木叶及其有效成分抗高脂血症药理作用的研究进展, 以期利用该药用植物资源开发新药提供依据。

关键词: 辣木叶; 抗高脂血症; 抑制脂质过氧化; 抑制胰脂肪酶活性; 抑制 α -葡萄糖苷酶

中图分类号: R285.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-6376 (2023) 04-0911-06

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2023.04.029

Research progress of anti-hyperlipidemia effects of *Moringa oleifera* leaves and its active components

YANG Zhuofan¹, XUAN Zanwei¹, LUO Haoxin¹, ZHENG Zhibin¹, ZHU Jinhong¹, ZHOU Hongzu², HUANG Qingbao², YU Huimin¹

1. School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

2. Shenzhen Chinese Medicine Hospital, Shenzhen 518020, China

Abstract: *Moringa oleifera* leaves are derived from *Moringa oleifera* Lam. and used as medicine. Modern studies have shown that *M. oleifera* leaves are rich in functional components such as flavonoids, polysaccharides, polyphenols and alkaloids, and have defined pharmacological effects such as antioxidant, antibacterial, hypoglycemic and anti-hyperlipidemia. *M. oleifera* leaves and its active components may achieve the anti-hyperlipidemia effect by inhibiting lipid peroxidation, inhibiting the activity of pancreatic lipase, inhibiting the activity of α -glucosidase, inducing the formation of brown adipose tissue, and improving the bile acid binding ability. The research progress of the pharmacological effects of *M. oleifera* leaves and its active components on anti-hyperlipidemia are reviewed, in order to provide a basis for the development of new drugs for hyperlipidemia using the medicinal plant resources.

Key words: *Moringa oleifera* Lam. leaves; anti-hyperlipidemia; inhibiting lipid peroxidation; inhibiting activity of pancreatic lipase; inhibiting activity of α -glucosidase

高脂血症是由多种因素导致的慢性全身性代谢疾病, 与心脑血管等疾病的形成密切相关^[1]。中国人群血脂异常和高胆固醇人群数量持续增加, 发病率达到25%^[2]。他汀类药物是目前临床上治疗高脂血症的常用药物, 长期应用有不同程度的副作用^[3], 因此开发安全性较高、疗效确切的调血脂药物

或保健食品已成为研究热点。辣木 *Moringa oleifera* Lam. 又称鼓槌树, 为辣木科辣木属热带植物, 起源于印度西北部的喜马拉雅山脉南麓, 全世界共有14个种^[4], 拥有悠久的药用及食用历史^[5]。中国于100多年前引种印度辣木, 目前在台湾、云南、广东、广西、海南、福建、贵州等热带、亚热带省

收稿日期: 2022-10-22

基金项目: 广东省大学生创新创业训练计划(S202210590113); 深圳市基础研究面上项目(JCYJ20220531102208019); 深圳市药学会医院药学研究基金(恒瑞基金)(SZ2022A25); 深圳大学聚徒+学术项目(803-0000311684)

第一作者: 杨卓凡(2004—), 男, 本科, 研究方向为临床医学。E-mail: 2021221154@email.szu.edu.cn

*共同通信作者: 周红祖, 女, 主任药师, 广东省中医药传承人, 主要从事中药鉴定与药理学研究。E-mail: zhohuzhu@163.com

余惠旻, 男, 副研究员, 博士, 主要从事中药及复方药理研究。E-mail: yuhuimin@szu.edu.cn

区有栽培^[6]。国内学者对辣木叶的研究主要集中在降血糖、抗氧化方面,对其调血脂作用的研究较少。网络药理学研究提示^[7],辣木叶中的苯丙素类、黄酮类、生物碱类、维生素类、酚酸类、酚类、硫代葡萄糖苷、异硫氰酸酯和脂肪酸类等37个水溶性化合物具有潜在的调血脂活性,但缺乏明确的药理作用及机制研究,不能整体把握辣木叶抗高脂血症的功效^[8-9]。因此,本文就辣木叶及其活性成分抗高脂血症的作用及可能机制进行较为全面的归纳总结,以期为后续的深入研究以及新药研发奠定基础。

1 抑制脂质过氧化

脂质过氧化在高脂血症形成后的加剧状态,严重破坏了内皮细胞的结构与功能,并造成肝功能损伤,因此抑制脂质过氧化成为抗高脂血症的重要环节。Sreelatha等^[10]的研究表明,50 mg·mL⁻¹辣木叶提取物通过减少脂质过氧化,增加过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性,降低了过氧化氢(H₂O₂)对体外培养的人KB肿瘤细胞的毒性作用及氧化损伤。

蔡小华等^[11]用浓度400 μmol·L⁻¹的H₂O₂诱导人肝癌HepG2细胞制备氧化损伤细胞模型,用不同质量浓度(100~1 000 μg·mL⁻¹)的辣木叶水提取物干预24 h,结果明显提高了HepG2细胞存活率,不同剂量辣木叶水提取物可明显提高HepG2细胞的谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、SOD活性,降低细胞中丙二醛(MDA)含量,且其变化程度呈剂量相关效应,辣木叶水提取物对HepG2抗氧化相关指标的改善提示该提取物有干预脂质过氧化进程的作用。

孙滕等^[12]采用高脂饲料制备高脂血症小鼠模型,高、中、低剂量药物组每天给予200、100、50 mg·kg⁻¹辣木叶黄酮,阳性对照组每天给予10 mg·L⁻¹辛伐他汀,均连续给药5周,发现辣木叶黄酮可以显著抑制模型小鼠的体质量增长,降低血清总胆固醇(TC)、三酰甘油(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、MDA水平,并且提高高密度脂蛋白胆固醇水平(HDL-C)和SOD活性;与模型对照组比较,辣木叶黄酮高剂量(200 mg·kg⁻¹)比阳性药更强地提高HDL-C含量,说明辣木叶黄酮可能通过提高HDL-C含量来降低胆固醇对机体的损害,进而调节血脂,并通过抑制脂质过氧化的发生减少高脂血症诱发的动脉粥样硬化。

杨学芳等^[13]用奥氮平制备小鼠糖脂代谢紊乱模型,以75 mg·kg⁻¹二甲双胍作为阳性对照药,用400、200、100 mg·kg⁻¹辣木叶水提取物进行干预,各组

均给药14 d。结果证实辣木叶水提取物能够逆转奥氮平诱导的小鼠糖脂代谢紊乱,其作用机制一方面是辣木叶水提物的抗氧化作用保护组织器官正常功能,减少瘦素和胃饥饿素的分泌,减轻暴饮暴食;另一方面,辣木叶水提取物保护肝脏组织细胞功能,下调肝脏脂肪酸合成酶(FAS)和脂肪分化相关蛋白(ADRP)基因mRNA表达,调节血脂含量,并呈一定的剂量相关性,高剂量(400 mg·kg⁻¹)组的干预效果最为显著。另有研究建立了异丙肾上腺素(ISO)诱导的大鼠心衰模型,ig辣木叶中分离的*N*-α-*L*-吡喃鼠李糖糖基长春酰胺40 mg·kg⁻¹共7 d,结果证实其具有抗心肌脂质过氧化损伤的作用,主要表现为增加血清中SOD、CAT和GSH-Px表达水平,同时也恢复了ISO处理后降低的谷胱甘肽(GSH)水平^[14]。

2 抑制胰脂肪酶活性

抑制体内胰脂肪酶活性可有效抑制体内脂肪的吸收和水解,减少脂肪的沉积。钟英英等^[15]观察到辣木叶乙醇提取物能够抑制胰脂肪酶的活性,在辣木叶粉与乙醇质量浓度(g·mL⁻¹)比为1:50、乙醇浓度70%、超声功率400 W、处理时间600 s、温度50℃条件下获得的辣木叶提取物,以改进的铜皂法测定710 nm处吸光度,对胰脂肪酶活力进行定量分析。结果证实辣木叶提取物对胰脂肪酶活性的抑制率为79.15%,表现为非竞争性抑制作用,此研究为辣木叶作为天然胰脂肪酶抑制剂的开发利用提供了理论依据。

3 诱导棕色脂肪组织生成

棕色脂肪组织(BAT)可以增加能量消耗、对抗肥胖、加快脂质代谢,从而预防高脂血症的发生。Syamsunarno等^[16]研究表明辣木叶醇提取物可能通过上调骨形态发生蛋白-7(BMP-7)诱导BAT分化和增殖,增加高脂饮食小鼠的BAT细胞密度,延缓了高脂血症的发展,但其作用机制仍待进一步研究。

4 提高胆汁酸结合能力

胆汁酸是肠道脂类消化液的主要成分,多糖类成分可调控机体内胆汁酸水平,参与脂质代谢过程。近年来国外学者发现辣木叶多糖具有抗高脂血症的作用,杨延清^[17]通过纤维素酶和超声辅助纤维素酶提取法制备了辣木叶多糖,并以胆酸盐螯合剂为导向,发现辣木叶多糖具有较强的胆汁酸结合能力,且胆酸盐吸附能力是阳性对照药品考来烯胺的70%,其胆汁酸结合能力与半乳糖含量和线性大分子的比例成正相关。

5 抑制 α -葡萄糖苷酶活性

α -葡萄糖苷酶通过水解糖苷键产生葡萄糖,过量葡萄糖在肝脏转化为TG等,产生内源性脂肪蓄积也是高脂血症的重要致病因素之一。王远等^[18]在降血糖药物的研究中,采用响应面分析法优化微波辅助提取辣木叶总黄酮的工艺,应用AB-8型大孔树脂色谱柱和聚酰胺色谱柱联用的工艺对辣木叶总黄酮进行纯化,以对硝基苯基- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)为底物,阿卡波糖为阳性对照药,进行底物与抑制物的体外结合实验,发现辣木叶总黄酮对 α -葡萄糖苷酶活性具有协同抑制作用,纯化后的辣木叶总黄酮的抑制效果增强,其半数抑制浓度(IC₅₀)为4.18 mg·mL⁻¹,抑制作用类型为典型的竞争性抑制,且与辣木叶总黄酮的浓度呈正相关。由于 α -葡萄糖苷酶在糖代谢和脂代谢的过程中都发挥重要作用,该结果提示辣木叶黄酮参与了脂质代谢的关键环节,可对抗高脂血症的发生、发展。

6 抑制脂肪生成

广泛存在于自然界植物中的 β -谷甾醇有显著调节葡萄糖和脂质代谢的作用。研究发现,膳食中摄入的 β -谷甾醇不仅降低胆固醇在小肠的吸收,还能通过抑制胆固醇合成酶(HMG-COA)的活性,减少胆固醇的合成,可能是治疗高胆固醇血症的有效成分^[19]。辣木叶提取物中也含有 β -谷甾醇^[20]。Vasanth等^[21]以分化培养基诱导的3T3-L1前脂肪细胞为模型,用1~64 μ mol·L⁻¹的辣木叶 β -谷甾醇进行处理,证实其以剂量相关方式降低了脂肪细胞的活力,显著增加了G₁期细胞数目,同时减少处于其他周期(S和G₂/M)的细胞数目,降低了细胞内脂质堆积。 β -谷甾醇在机体内可以减少动物固醇的吸收和合成,但过量的吸收会导致植物固醇血症^[22]。另外,植物固醇可能是导致动脉粥样硬化的危险因素,并可能引起雌激素效应等生殖系统副作用^[23]。因此,将辣木叶 β -谷甾醇作为调血脂药物的开发仍存在较多的不确定因素。

7 抑制前脂肪细胞分化

前脂肪细胞在成脂条件下可分化为脂肪细胞,参与体内脂质的储存和动员,抑制前脂肪细胞的分化对减少体内脂质蓄积具有重要意义。Izumi等^[24]使用高脂饲料喂养的斑马鱼(受精后4~5周)建立肥胖模型,将斑马鱼饲养于6孔板中,以10 μ g·mL⁻¹辣木叶提取物处理1 h后进行形态学和生化指标检测,证实辣木叶二氯甲烷提取物及其正丁烷-醋酸乙酯提取物处理能够降低CCAAT增强子(早期成脂标

志物)结合蛋白基因 $cebpb$ 和 $cebpd$ 的表达及 $cebpa$ (分化晚期物)的表达,从而抑制前脂肪细胞的分化。在此基础上,研究人员利用小鼠3T3-L1前脂肪细胞,通过诱导脂肪细胞分化,经脂滴染色和酶标仪荧光测量量化了辣木叶提取物对细胞内脂质积累的作用,该研究在研究策略、标志物、实验模型的选取方面都具有较好的创新性,为辣木叶调血脂机制研究提供了新思路,但由于斑马鱼肥胖模型操作较为复杂,以此模型对辣木叶单体化学成分的调血脂活性进行大量筛选难度较大。

8 保肝

肝功能损伤可能导致继发性高脂血症发生,高脂血症发展也可能诱发肝功能损伤,因此保护和修复肝脏功能是预防和治疗高脂血症的重要环节之一。国外研究^[25]发现将辣木叶提取物(MOLE)和由淀粉-MOLE-牛血清白蛋白(BSA)制成的水凝胶NPs具有一定的保肝活性,该实验选用双酚A诱导的雄性大鼠肝毒性模型,实验组每天ig辣木叶提取物50 mg·kg⁻¹和50 mg·kg⁻¹双酚A,对照组每天ig 50 mg·kg⁻¹双酚A,持续给药4周后,收集大鼠肝脏标本和肝门静脉血液标本检验各项指标,结果发现MOLE可纠正谷氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)指标的紊乱、改善肝脏的组织病理学损伤、消除炎症以及提高抗氧化酶的活性,具有一定的保肝作用,对维持机体正常的脂质代谢具有重要的生理意义。

董笑克^[26]以肥胖II型糖尿病(ZDF)大鼠为动物模型,用0.18 mg·kg⁻¹二甲双胍作为阳性对照药,辣木叶醇提取物组给药600、300、150 mg·kg⁻¹,各组连续ig给药6周,以肝脏X受体 α (LXR- α)/维甲酸受体(RXR)信号通路及固醇原件调节蛋白-1c(SREBP-1c)为作用靶点,结果提示辣木叶醇提取物可能通过上述途径参与了胰岛素抵抗,从而改善ZDF大鼠的糖脂代谢,特别是对于血清TC和TG,具有显著的降低作用;同时辣木叶还对肝脏具有保护的作用,能有效降低ZDF大鼠血清ALT、AST,另外,对肝脏组织学观察发现辣木叶通过改善大鼠肝脏脂肪沉积,逆转大鼠肝脏脂肪病变,提示辣木叶对代谢相关脂肪性肝病也具有好的疗效。

9 预防肥胖相关的高脂血症

肥胖与高脂血症的发生呈正相关,其主要致病机制为肥胖所致的胰岛素抵抗和脂质代谢紊乱,因此抗肥胖是预防和治疗高脂血症的重要环节^[27]。Ezzat等^[28]以高脂饮食诱导的高脂血症大鼠模型,给

予200、400 mg·kg⁻¹辣木叶醇提取物1个月,发现辣木叶醇提取物可逆转由高脂饮食诱导的内脏脂肪团增加、高血糖、高瘦素血症、高胰岛素血症、低脂联素血症、血脂水平异常,效果与阳性对照药辛伐他汀相近。该研究还指出400 mg·kg⁻¹组可抑制脂肪酸合成酶和羟甲基戊二酰辅酶A(HMG-CoA)还原酶基因的表达。除此之外,给肥胖患者连续8周服用辣木叶醇提取物硬明胶胶囊后,患者出现了TC和低密度脂蛋白(LDL)水平的降低,且AST和ALT数值趋于正常,提示辣木叶醇提取物对由肥胖导致的脂质代谢和肝功能紊乱有正向调控作用。

Alkhudhayri等^[29]采用与上述研究相同的动物模型,得出了相似的结论,指出辣木叶醇提取物能降低血清TC、TG和LDL含量,降低肝脏TG、TC水平,并增加粪便中的TG、TC水平,起到了调血脂的作用。提示辣木叶醇提取物可通过抗肥胖、抗炎、抗氧化等作用,减缓或逆转高脂血症的发生、发展。

Li等^[30]以高脂饮食诱导的小鼠模型来研究肠道菌群,分别以100、200、400 mg·kg⁻¹辣木叶多糖进行管饲,持续12周,发现辣木叶多糖有效阻止了高脂模型小鼠的体质量增加和脂质蓄积,改善了血脂水平和胰岛素抵抗,减少了促炎细胞因子(如肿瘤坏死因子- α 和白细胞介素-1 β)的分泌,显著上调了胆汁酸代谢相关基因 *Cyp7a1* 和 *Cyp7b1* 的表达。此外,该研究以肠道菌群为主要研究对象,发现辣木叶多糖还能降低与肥胖密切相关的肠道菌群丰度,如经黏液真杆菌属 *Blautia*、另枝菌属 *Alistipes* 和毛状芽孢杆菌 *Tyzerella*,提示辣木叶多糖通过对抗肥胖达到预防高脂血症的发生。

10 结语

随着生活水平的不断提高,不良饮食习惯导致高脂血症的发病率呈逐渐上升趋势,高脂血症的发生会加剧肥胖,进而引起肠道菌群紊乱、脂肪组织和肝脏的慢性炎症、动脉粥样硬化、糖尿病、中枢神经系统退行性病变、代谢相关脂肪性肝病、骨关节炎、心血管疾病等,以及增高某些癌症的发生风险。目前,临床上常使用他汀类药物进行治疗高脂血症,但长期用药较易发生不良反应,从天然可食用资源中开发能调节人体血脂水平的产品成为研究的热点与难点。

辣木在印度、尼日利亚、马来西亚等国家有悠久的药用及食用传统,多个部位皆可食用或入药。辣木叶于2012年正式被中国卫生部门列为新资源食品^[31]。现有研究表明辣木叶及其有效成分具有

抗高脂作用,其含有的黄酮类、多酚类、多糖类等成分均可通过抑制脂质过氧化、抑制胰脂肪酶活性、抑制 α -葡萄糖苷酶活性、诱导棕色脂肪组织生成、提高胆汁酸结合能力、抑制前脂肪细胞分化等途径对抗高脂血症的发生发展,但相关的药效物质基础以及具体的作用机制(尤其是药理靶点与通路)仍有待深入研究。

尽管目前的研究已提示辣木叶在抗高脂血症药物的开发中具有广阔的应用前景,但仍存在一些待解决的问题:(1)辣木叶调血脂的实验研究不多,药效物质基础研究比较匮乏,现有研究主要集中在体外细胞、动物实验方面,不能对其活性成分进行全面系统的药效筛选;(2)辣木叶抗高脂血症作用的具体机制、靶点通路仍缺乏研究,目前仍未见有关辣木叶抗高脂血症的具体机制及相关物质基础报道;(3)关于辣木叶药理作用的研究仍主要集中于降糖、抗氧化方面,关于调血脂的研究相对较少。对于目前临床上常见疾病治疗的难点问题,如高血压与糖尿病,已有相关文献对其药效研究进行报道,仍缺乏进一步的药理机制研究;(4)辣木叶调血脂具有多成分、多靶点的特点,但大多数药理机制研究所关注的通路比较单一。网络药理学研究预测了辣木叶抗高脂血症可能的作用机制^[7],如通过调控代谢相关脂肪性肝病、胰岛素抵抗、细胞凋亡、丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路、雌激素信号通路及缺氧诱导因子(HIF-1)信号通路发挥作用,但目前研究的大多数结论仅停留于理论阶段,且研究思路和方法仍有待改进。

目前由于辣木叶调血脂作用机制及药效物质基础不明确,限制了辣木叶产品的深度开发,精深加工产品缺乏,现有产品的附加值不高。为进一步深入挖掘辣木叶抗高脂血症的药用潜力,需要更多地运用新手段和新方法对现有研究结果进行验证和优化,并结合细胞、分子药理学等更多角度,注重辣木叶抗高脂血症物质基础及多组分相互作用的研究,注重辣木叶抗高脂血症作用机制和作用靶点的探索和阐明,为辣木叶抗高脂血症的药物开发提供理论和实验依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Samantha K. Epidemiology and management of hyperlipidemia [J]. Am J Manag Care, 2017, 23(9 suppl): s139-s148.
- [2] 李鹏,李勇,郭志刚. 中国人群血脂流行病学研究25年

- 回顾与展望[J]. 心血管病学进展, 2007, 28(5): 776-780.
- Li P, Li Y, Guo Z G. Review and prospect of lipid epidemiology in chinese population for 25 years [J]. Adv Cardiol, 2007, 28(5): 776-780.
- [3] Huang Y X, Gao L, Xie X P, et al. Epidemiology of dyslipidemia in Chinese adults: Meta-analysis of prevalence, awareness, treatment, and control [J]. Popul Health Metr, 2014, doi: 10.1186/s12963-014-0028-7.
- [4] Saini R K, Sivanesan I, Keum Y S. Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance [J]. 3 Biotech, 2016, 6(2): 203. doi: 10.1007/s13205-016-0526-3.
- [5] 沙子珺, 刘英华, 杨滨, 等. 辣木传统应用的文献考证[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(12): 2800-2807.
- Sha J, Liu Y H, Yang B, et al. Literature research on traditional application of *Moringa oleifera* [J]. China J Chin Mater Med, 2020, 45(12): 2800-2807.
- [6] 肖伟, 于凡, 许利嘉, 等. 海上丝绸之路上的重要资源——辣木叶茶[J]. 中国现代中药, 2019, 21(7): 851-854, 919.
- Xiao W, Yu F, Xu L J, et al. *Moringa* leaf tea, an important resource on the maritime silk road [J]. Chin Mod Tradit Chin Med, 2019, 21(7): 851-854, 919.
- [7] 沙子珺, 黎彩凤, 唐仕欢, 等. 新资源药材辣木叶抗高血脂症的药效与作用机制探析[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(14): 3465-77.
- Sha J, Li C F, Tang S H, et al. Pharmacodynamics and mechanism of *Moringa oleifera* leaves against hyperlipidemia [J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(14): 3465-77.
- [8] 袁静, 梁文仪, 袁永兵, 等. 辣木叶化学成分和药理活性的研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(14): 4422-32.
- Yuan J, Liang W Y, Yuan Y B, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Moringa oleifera* leaves [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2021, 52(14): 4422-32.
- [9] 巩思佳, 康澳, 陈可菁, 等. 辣木叶的营养、功能及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 435-44.
- Gong S J, Kang A, Chen K J, et al. Research progress on nutrition, function and application of *Moringa oleifera* leaves [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(21): 435-44.
- [10] Sreelatha S, Padma P R. Modulatory effects of *Moringa oleifera* extracts against hydrogen peroxide-induced cytotoxicity and oxidative damage [J]. Hum Exp Toxicol, 2011, 30(9): 1359-1368.
- [11] 蔡小华, 李小伟, 李国坤, 等. 辣木叶水提物对 H₂O₂ 致 HePG2 细胞氧化损伤的保护作用[J]. 现代食品科技, 2021, 37(10): 62-69, 111.
- Cai X H, Li X W, Li G K, et al. Protective effects of water extracts from *Moringa oleifera* leaves on oxidative damage of HePG2 cells induced by H₂O₂ [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(10): 62-69, 111.
- [12] 孙滕, 王鸿飞, 王凯凯, 等. 辣木叶黄酮对小鼠血脂调节作用研究[J]. 核农学报, 2018, 32(8): 1597-1602.
- Sun M, Wang H F, Wang K K, et al. Effects of *Moringa oleifera* leaf flavonoids on lipid regulation in mice [J]. J Nuclear Agric, 2018, 32(8): 1597-1602.
- [13] 杨学芳, 肖蓉, 廖顺杉, 等. 辣木叶水提取物减缓奥氮平诱导的小鼠糖脂代谢紊乱[J]. 昆明医科大学学报, 2021, 42(4): 202-207.
- Yang X F, Xiao R, Liao S S, et al. *Moringa oleifera* leaf water extract alleviates olanzapine induced glucolipid metabolism disorder in mice [J]. J Kunming Med Univ, 2021, 42(4): 202-207.
- [14] Panda S, Kar A, Sharma P, et al. Cardioprotective potential of *N*, α -*L*-rhamnopyranosyl vincosamide, an indole alkaloid, isolated from the leaves of *Moringa oleifera* in isoproterenol induced cardiotoxic rats: *In vivo* and *in vitro* studies [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2013, 23(4): 959-962.
- [15] 钟英英, 谢勇鹏, 郭莎莎, 等. 辣木叶提取物对胰脂肪酶活性的抑制研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(19): 33-7.
- Zhong Y Y, Xie Y P, Guo S S, et al. Inhibitory effect of *Moringa oleifera* leaf extract on pancreatic lipase activity [J]. Food Res Develop, 2019, 40(19): 33-37.
- [16] Syamsunarno M, Alia F, Anggraeni N, et al. Ethanol extract from *Moringa oleifera* leaves modulates brown adipose tissue and bone morphogenetic protein 7 in high-fat diet mice [J]. Vet World, 2021, 14(5): 1234-1240.
- [17] 杨延清. 辣木叶多酚、多糖分段提取及其体外降糖控脂活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- Yang Y Q. Extraction of polyphenols and polysaccharides from *Moringa oleifera* leaves and their hypoglycemic and lipid control activities *in vitro* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2021.
- [18] 王远, 郑雯, 袁田青, 等. 辣木叶总黄酮微波辅助提取工艺优化及其抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究[J]. 核农学报, 2018, 32(1): 84-94.
- Wang Y, Zheng W, Yuan T Q, et al. Microwaved assisted extraction of total flavonoids from *Moringa oleifera* leaves and its inhibitory activity on α -glucosidase [J]. J Nucl Agric, 2018, 32(1): 84-94.
- [19] Kaffarnik H, Mühlfellner G, Mühlfellner O, et al. beta-Sitosterin in the treatment of essential type II hyperlipoproteinemias [J]. Fortsc Med, 1977, 95(46): 2785-2787.
- [20] 袁明焱, 刘守金, 杨柳, 等. 辣木叶挥发性成分的 GC-MS 研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(8): 174-176, 87.

- Yuan M Y, Liu S J, Yang L, et al. Study on volatile components of *Moringa oleifolia* leaves by GC-MS [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(8): 174-176, 87.
- [21] Vasanth K, Minakshi G C, Velu k, et al. Anti-adipogenic β -sitosterol and lupeol from *Moringa oleifera* suppress adipocyte differentiation through regulation of cell cycle progression [J]. J Food Biochem, 2022, doi: 10.1111/jfbc.14170.
- [22] 王欣, 王枫. 植物固醇的研究新进展 [J]. 国外医学: 卫生学分册, 2007, 34(2): 98-101.
- Wang X, Wang F. Recent progress of plant sterol research [J]. Foreign Med: Hyg Vol, 2007, 34(2): 98-101.
- [23] Delaney B, Stevens L A, Schmelzer W, et al. Oral absorption of phytosterols and emulsified phytosterols by Sprague-Dawley rats [J]. J Nutr Biochem, 2004, 15(5): 289-295.
- [24] Izumi M, Kanae H, Hirotaka K, et al. Zebrafish obesogenic test identifies anti-adipogenic fraction in *Moringa oreifera* leaf extracts [J]. Food Sci Nutr, 2022, 10(4): 1248-1256.
- [25] Hasanin A E h m, a. e s, Mokhtar Y E, et al. Starch-based hydrogel nanoparticles loaded with polyphenolic compounds of *Moringa oleifera* leaf extract have hepatoprotective activity in bisphenol a-induced animal models [J]. Polymers, 2022, doi: 10.3390/polym14142846.
- [26] 董笑克. 辣木叶醇提物调节ZDF大鼠下丘脑摄食中枢的机制研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2018.
- Dong X K. Study on mechanism of ethanol extract of *Moringa oleifera* leaf regulating hypothalamic feeding center in ZDF rats [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2018.
- [27] 贾宏伟, 邓琼英, 刘鹏, 等. 广西瑶族成人肥胖指标与血脂异常和高血压的关系 [J]. 卫生研究, 2022, 51(5): 746-752.
- Jia H W, Deng Q Y, Liu P, et al. Relationship between obesity index and dyslipidemia and hypertension in adults of Yao ethnic group in Guangxi [J]. Health Res, 2022, 51(5): 746-752.
- [28] Ezzat S M, Mahitab H E B, Aborehab N M, et al. Upregulation of MC4R and PPAR- α expression mediates the anti-obesity activity of *Moringa oleifera* Lam. in high-fat diet-induced obesity in rats [J]. J Ethnopharmacol, 2020, doi: 10.1016/j.jep.2020.112541.
- [29] Alkhudhayri D A, Osman M A, Alshammari G M, et al. *Moringa peregrina* leaf extracts produce anti-obesity, hypoglycemic, anti-hyperlipidemic, and hepatoprotective effects on high-fat diet fed rats [J]. Saudi J Biol Sci, 2021, 28(6): 3333-3342.
- [30] Li L F, Li M, Wen Y L, et al. crude polysaccharide extracted from *Moringa oleifera* leaves prevents obesity in association with modulating gut microbiota in high-fat diet-fed mice [J]. Front Nutr, 2022, doi: 10.3389/fnut.2022.861588.
- [31] 王苗苗, 赵有为, 赵开丽, 等. 响应面法优化辣木叶总黄酮超声波辅助提取工艺 [J]. 热带农业科技, 2015, 38(4): 22-28.
- Wang M M, Zhao Y W, Zhao K L, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of total flavonoids from *Moringa oleifera* leaves by response surface method [J]. Trop Agric Sci Technol, 2015, 38(4): 22-28.

[责任编辑 李红珠]