

卫矛醇及其衍生物药理作用研究进展

权 泉, 黄曦醇, 李君豪, 宁 钊, 李红叶, 赵文慧, 金成浩*

黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2026年4月10日; 录用日期: 2026年5月18日; 发布日期: 2026年5月28日

摘 要

卫矛醇是一种天然存在的六元糖醇类小分子化合物, 广泛分布于卫矛科植物及海藻中。卫矛醇及其衍生物(如二去水卫矛醇、二乙酰二去水卫矛醇)具有抗肿瘤、抗炎、肠道屏障保护、调节肠道菌群及通便等多种药理活性, 近年来备受中外学者关注。本文对卫矛醇及其衍生物的药理作用及分子机制进行综述, 重点总结其在抗肿瘤与抗炎方面的研究进展, 以期为卫矛醇的进一步开发与临床应用提供理论指导。

关键词

卫矛醇, 二去水卫矛醇, 二乙酰二去水卫矛醇, 药理作用, 抗肿瘤, 抗炎

Research Progress on the Pharmacological Effects of Dulcitol and Its Derivatives

Quan Quan, Xichun Huang, Junhao Li, Zhao Ning, Hongye Li, Wenhui Zhao, Chenghao Jin*

College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing Heilongjiang

Received: April 10, 2026; accepted: May 18, 2026; published: May 28, 2026

Abstract

Dulcitol is a naturally occurring small-molecule compound of the hexitol type, widely distributed in plants of the Celastraceae family and in algae. Dulcitol and its derivatives (such as dianhydrogalactitol and diacetyldianhydrogalactitol) exhibit a variety of pharmacological activities, including anti-tumor, anti-inflammatory, intestinal barrier protection, gut microbiota regulation, and laxative effects, which have attracted increasing attention from researchers worldwide. This article reviews the pharmacological effects and molecular mechanisms of dulcitol and its derivatives, with a focus on summarizing the research progress in their anti-tumor and anti-inflammatory aspects, aiming to provide theoretical guidance for the further development and clinical application of dulcitol.

*通讯作者。

文章引用: 权泉, 黄曦醇, 李君豪, 宁钊, 李红叶, 赵文慧, 金成浩. 卫矛醇及其衍生物药理作用研究进展[J]. 中医学, 2026, 15(5): 428-434. DOI: 10.12677/tcm.2026.155300

Keywords

Dulcitol, Dianhydrogalactitol, Diacetyldianhydrogalactitol, Pharmacological Effects, Anti-Tumor, Anti-Inflammatory

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

卫矛醇(Dulcitol, 又称半乳糖醇)是一种天然存在的六元糖醇,广泛分布于卫矛科植物(如密花美登木、扶芳藤)、海藻及其他高等植物中[1]。其分子式为 $C_6H_{14}O_6$, 分子量为 182.17 g/mol, 常温下为白色结晶性粉末, 易溶于水, 熔点为 187°C~190°C。卫矛醇本身具有多种生物活性, 早期研究主要用于合成其衍生物二去水卫矛醇(DAG)及二乙酰二去水卫矛醇(DADAG)等抗肿瘤药物[2]-[4]。研究显示卫矛醇及其衍生物具有良好的抗肿瘤、抗炎、肠道屏障保护以及调节肠道菌群等药理作用。

2. 卫矛醇及其衍生物的抗癌机制

肿瘤尤其是恶性肿瘤, 已成为严重威胁人类公共卫生安全的重大疾病之一。据世界卫生组织统计, 癌症是全球第二大死亡原因, 其发病率和死亡率呈逐年上升趋势。恶性肿瘤因早期诊断困难、易复发转移、治疗耐药等问题, 临床治疗面临巨大挑战。因此, 寻找高效、低毒的抗肿瘤药物, 并阐明其作用机制, 具有重要的临床意义。卫矛醇衍生物 DAG 及 DADAG 作为具有良好抗肿瘤活性的化合物[3] [5], 其作用机制涉及诱导肿瘤细胞凋亡、抑制血管生成、阻滞细胞周期等多个方面。

2.1. 卫矛醇及其衍生物的诱导肿瘤细胞凋亡机制

大量研究表明, DAG 及其衍生物可通过多种途径诱导肿瘤细胞凋亡。苏桂玉等[6]采用 CCK-8 法检测了 DAG 对 11 株人肺癌细胞株的体外增殖抑制作用, 结果显示 DAG 对 Calu-1、NCI-H1650、A549 等细胞均呈现明显的浓度 - 效应相关性抑制。透射电镜观察可见细胞呈现整体圆缩、微绒毛脱落、核固缩边集、线粒体肿胀、胞内空泡形成等典型凋亡形态学特征。实时荧光定量 PCR 结果显示, DAG 可上调促凋亡蛋白 Bax 的表达, 下调抗凋亡蛋白 Bcl-2 的表达, 并激活 Caspase-3, 表明其通过线粒体凋亡途径诱导肿瘤细胞凋亡。张玉岭等[7]研究了卫矛醇对 C6 胶质瘤细胞的作用, 结果显示卫矛醇对 C6 细胞增殖具有明显抑制作用, 呈良好浓度 - 效应相关性。Hoechst 染色可见细胞出现核固缩现象, Western Blot 证实了卫矛醇诱导胶质瘤细胞凋亡的机制与调节 Bax/Bcl-2 比例密切相关。

周莹等[8] [9]通过建立裸鼠人非小细胞肺癌 H460 细胞移植瘤模型, 研究了 DAG 的体内抗肿瘤作用。结果显示, 各剂量的 DAG 抑瘤率均高于 40%, 肿瘤细胞凋亡率显著增高。RT-qPCR 与 Western blotting 检测发现, DAG 可上调 Bax、Caspase-3、Caspase-9、P53 的 mRNA 水平与蛋白表达, 下调 Bcl-2 表达水平。进一步证实 DAG 通过线粒体凋亡途径发挥抗肿瘤作用。蒋霞等[10]研究发现, DAG 对人胶质瘤细胞 U251、BT325 的增殖具有显著抑制作用, 并呈剂量 - 时间依赖性。通过激光共聚焦显微镜检测发现, DAG 可降低细胞线粒体膜电位、增加胞内 Ca^{2+} 浓度, 同时可损伤细胞 DNA。进一步机制研究表明, DAG 可上调死亡受体通路相关基因 Caspase-8、Fas 以及内质网应激通路相关基因 Caspase-4、CHOP、GRP78、GRP94 的 mRNA 表达, 表明 DAG 既能通过死亡受体途径, 也能通过内质网应激途径调控胶质瘤细胞的

凋亡和增殖。黄银妹等[11][12]采用 CCK-8 法、细胞克隆形成实验检测了 DAG 对肺癌 NCI-H460 细胞的增殖抑制作用。结果显示, DAG 能持续抑制肿瘤细胞增殖。Hoechst 染色显示细胞核染色质发生明显改变, 单细胞凝胶电泳检测出 DAG 可导致 DNA 损伤。Fluo-3 AM 荧光染色显示胞内 Ca^{2+} 浓度增加, Rhodamine 123 染色显示线粒体膜电位下降。Real-time PCR 和 Western blot 检测表明, DAG 可降低 Topo II α 、Topo II β mRNA 转录水平和蛋白表达水平, 计算机模拟分子对接显示 DAG 与 Topo II 有相互结合作用, 表明 DAG 通过抑制拓扑异构酶 II 活性, 导致 DNA 双链断裂, 从而引起肿瘤细胞死亡。

2.2. 卫矛醇及其衍生物的抑制血管生成机制

肿瘤血管生成是肿瘤生长和转移的关键环节, 抑制血管生成已成为抗肿瘤治疗的重要策略。蒋霞等[10]采用划痕实验、Transwell 细胞迁移和侵袭实验评价了 DAG 对人胶质瘤细胞迁移和侵袭能力的影响, 结果显示 DAG 能够剂量、时间依赖性抑制细胞迁移、侵袭及体外血管新生。ELISA 测定结果显示, DAG 可显著降低胶质瘤细胞上清中 VEGF、FGF-2 的含量。进一步机制研究表明, DAG 可促进 PTEN 的表达水平, 下调 MMP-2 的表达水平, 从而抑制肿瘤细胞的侵袭与迁移。王小洁等[13]研究了 DAG 对人脐静脉管内皮细胞 HUVEC 的影响, MTT 结果显示 DAG 对 HUVEC 增殖具有抑制作用, 且与浓度和作用时间呈依赖关系。划痕实验、Transwell 模型及 Matrigel 胶管腔形成实验均显示, DAG 能抑制 HUVEC 细胞的迁移能力和管腔形成。RT-PCR、ELISA、免疫组化及 Western blot 结果均证实, DAG 可下调促血管生成相关因子 VEGFA、VEGFR-2、FGF-2、MMP-2、MMP-9 的表达。利用斑马鱼模型进一步验证, DAG 可抑制斑马鱼胚胎肠下静脉血管生长, 并下调 VEGFAA、VEGFR-2、FGF-2、FGFR-2 的 mRNA 转录水平, 证实了 DAG 具有明确的抗血管生成作用。刘敬弢等[14]采用小鼠 H22 模型研究了 DADAG 对肿瘤生长和血管生成的抑制作用, 结果显示 DADAG (5 和 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)可浓度依赖性降低小鼠瘤重(抑制率分别为 29.8%和 60.2%)和微血管密度(抑制率分别为 38.9%和 66.7%), 引起肿瘤组织坏死, 降低 VEGF 及 Sp1 的表达量, 且无明显肝、肾毒性, 表明 DADAG 的抗肿瘤作用与抑制血管生成密切相关。

2.3. 卫矛醇及其衍生物的细胞周期阻滞机制

DAG 及其衍生物还可通过阻滞肿瘤细胞周期抑制其的作用。梁乔芳等[15]采用 MTT 法检测了 DAG 对 11 株人脑肿瘤细胞的体外抑制作用, 结果显示 DAG 对 IMR-32、SH-SY5Y、U87、A172、BT325、T98G、SHG-44、U373、C6、SK-N-BE、U251 等细胞的 72 h 的 IC_{50} 值介于 19.24~25.13 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间, 表明 DAG 对人脑肿瘤细胞具有普遍的生长抑制作用。张慧玲等[16][17]研究发现, DAG 对 H460、SGC-7901、BEL-7404 和 SMMC-7721 肿瘤细胞的 72 h 的 IC_{50} 值分别为 15.98、16.00、16.73 和 16.46 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 显示出广谱抗肿瘤活性。闫雪莲等[18]研究了 DADAG 对人前列腺癌 PC-3M 细胞增殖的作用, SRB 结果显示 40 mg/L DADAG 作用 48 和 72 h 后, 细胞增殖抑制率分别为 34.6%和 47.8%。细胞周期分析表明, 5、10 和 20 mg/L DADAG 作用 48 h 后, G2/M 期细胞百分数分别为 47.4%、62.9%和 69.1%。Western blot 结果显示, DADAG 可下调 Cdc25C 表达水平, 上调 Cyclin B1、p-Cdc2 (Tyr15)和 Wee1 表达水平, 表明 DADAG 将细胞周期阻滞于 G2/M 期, 其机制与改变细胞周期调控蛋白表达有关。

综上所述, 卫矛醇衍生物 DAG 及 DADAG 具有显著的抗肿瘤活性, 其作用机制涉及诱导肿瘤细胞凋亡(线粒体途径、死亡受体途径、内质网应激途径)、抑制血管生成(下调 VEGF/VEGFR-2 信号通路、抑制血管内皮细胞功能)、抑制肿瘤细胞增殖与迁移(调控细胞周期、抑制拓扑异构酶 II 活性)等多个方面, 展现出良好的抗肿瘤药物开发潜力。

3. 卫矛醇及其衍生物的抗炎与肠道保护机制

卫矛醇及其衍生物除了能够调控凋亡相关蛋白的表达来诱导细胞凋亡, 以及调控 VEGF/VEGFR-2 信

号通路抑制血管生成外, 研究显示它们还能参与炎症信号通路的调控, 尤其是在调节肠道炎症方面具有显著效果。肠道屏障是机体抵御外界病原体入侵的第一道防线, 其完整性对于维持肠道稳态至关重要。断奶应激可引起仔猪肠上皮紧密连接受损, 诱发肠道炎症和腹泻。肠上皮屏障功能损伤与炎症反应密切相关, Toll 样受体 4 (TLR4)/髓样分化因子 88 (MyD88)/核因子- κ B (NF- κ B) 信号通路在肠道炎症反应中发挥关键调控作用。卫矛醇因其具有改善肠道菌群、抗炎等生物活性, 在缓解肠道屏障损伤和炎症反应方面显示出潜在应用价值。

王晗等[19]以断奶仔猪和猪肠道上皮细胞 IPEC-J2 为研究对象, 系统探讨了卫矛醇对 LPS 诱导的肠道屏障损伤和炎症反应的缓解作用。动物实验结果显示, 饲料中添加 500 mg/kg 卫矛醇可显著提高断奶仔猪的终体重、平均日增重和平均日采食量, 降低料重比。与 LPS 组相比, 卫矛醇可显著升高血清 SOD 活性, 降低 MDA、IL-1 β 、TNF- α 含量, 改善肠道形态, 增加空肠绒毛高度和绒腺比以及结肠隐窝中杯状细胞数量, 上调结肠粘膜 ZO-1、CLDN-1、OCLN、MUC2 等屏障蛋白表达。同时, 卫矛醇处理可抑制结肠粘膜炎症相关蛋白 TLR4、MyD88、I κ B- α 和 IL-1 β 的表达, 使 p-NF- κ B 与 NF- κ B 的比值显著下降, 表明卫矛醇通过抑制 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路缓解肠道炎症。细胞实验进一步验证了卫矛醇的保护作用。200 μ mol/L 卫矛醇预处理 IPEC-J2 细胞, 结果显示与 LPS 组相比, 卫矛醇预处理显著增加了细胞活力、迁移距离和迁移面积以及抗凋亡蛋白 Bcl-2 的表达水平, 显著降低了促凋亡蛋白 Bax 和自噬效应蛋白 Beclin1 的表达水平。卫矛醇预处理可显著促进屏障相关因子 ZO-1、OCLN、CLDN1、MUC2 蛋白的表达。相反, 炎症相关蛋白 TLR4、MyD88、I κ B- α 、NF- κ B 和 IL-1 β 的表达得到显著降低。多组学测序分析显示, 卫矛醇可显著升高结肠粘膜 Lactobacillus 和 Blautia 菌属丰度, 显著降低 Proteobacteria 菌门丰度。Lactobacillus 和 Blautia 与 SOD、OCLN、CLDN 呈显著正相关, Blautia 还与 I κ B- α 、MyD88、p-NF- κ B/NF- κ B 呈显著负相关。蛋白组学发现 240 种差异表达蛋白主要富集到溶酶体、细胞周期、脂肪酸代谢和酒精性肝病相关通路, 参与肠屏障功能、免疫与炎症反应的差异蛋白 CADM1 和 IRAK4 与 MDA、MyD88、p-NF- κ B/NF- κ B 呈显著负相关, 与 OCLN 呈显著正相关。王晗等[20]另一项研究进一步揭示了卫矛醇缓解 LPS 诱导的 IPEC-J2 细胞损伤的分子机制。该研究确定了 200 μ mol/L 卫矛醇为最佳处理浓度, 150 μ g/mL LPS 为有效致炎浓度。结果显示, 卫矛醇预处理缓解了细胞密度降低、细胞空泡增多、细胞边界不清晰的情况, 显著增加了细胞迁移距离和细胞迁移面积, 显著升高了屏障相关基因 ZO-1、OCLN、CLDN1 的 mRNA 转录水平与蛋白相对表达水平及 MUC2、LATS1、YAP1 的 mRNA 相对转录水平。同时, 卫矛醇预处理显著降低了通路相关基因 MyD88、I κ B- α 、NF- κ B、IL-1 β 的 mRNA 转录水平与蛋白相对表达水平和 TLR4 的蛋白相对表达水平以及 NLRP3、IL-18 的 mRNA 相对转录水平。以上结果表明, 卫矛醇通过下调 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路相关蛋白表达, 调节炎症因子分泌, 从而缓解 LPS 诱导的肠道屏障损伤和炎症反应。

综上所述, 卫矛醇可通过调节 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路抑制炎症反应, 从而发挥肠道屏障保护和肾脏保护作用, 具有开发为新型饲料添加剂或器官保护药物的潜力。

4. 卫矛醇及其衍生物的其他药理作用及机制

4.1. 卫矛醇及其衍生物的抗氧化机制

除上述抗肿瘤与抗炎药效以外, 卫矛醇及其衍生物还表现出更为广泛的生物活性。研究表明, 该类化合物还具备抗氧化、调节肠道菌群以及通便等多重作用, 进一步拓展了其在代谢性疾病和肠道健康领域的应用潜力。

翟春清等[21]采用生物信息学分析、酵母多糖活化血清(ZAS)诱导足细胞构建细胞损伤模型及膜性肾病大鼠模型, 探讨了卫矛醇通过调控过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPARA)/ATP 结合盒转运蛋白 A1

(ABCA1)信号通路改善膜性肾病的机制。结果显示, PPARA 是卫矛醇治疗膜性肾病的关键靶点。卫矛醇处理或 PPARA 过表达均可改善 ZAS 诱导的足细胞氧化应激, 两者协同作用时效果更佳, 而敲减 ABCA1 则效果相反。此外, 卫矛醇可改善大鼠肾功能, 并上调 PPARA 与 ABCA1 的表达。表明卫矛醇可通过激活 PPARA/ABCA1 信号通路, 抑制氧化应激, 改善膜性肾病, 拓展了卫矛醇在肾脏保护方面的应用前景。

4.2. 卫矛醇及其衍生物的调节肠道菌群与通便机制

何沛等[22]采用人体肠道菌群功能检验方法, 研究了卫矛醇调节人体肠道菌群的作用。将 51 例志愿者随机分为试食组和空白对照组, 试食组每日服用 2 g 卫矛醇, 连续 30 天。结果显示, 试食组试食前后自身相比, 乳杆菌数量增加有显著性差异($P < 0.01$); 试食组试食后与对照组相比, 乳杆菌数量明显增加, 有显著性差异($P < 0.01$)。表明每日摄食 2 g 卫矛醇具有调节人体肠道菌群作用, 可激活益生菌, 且对受试者身体健康无不良影响。王殿奎等[23]采用随机双盲法将 52 名便秘者分为试食组和安慰对照组, 试食组每日服用 2 g 卫矛醇, 连续 14 天。结果显示, 试食后试验组与对照组比较, 试食组的排便次数增加($P < 0.05$), 排便状况、粪便性状均有改善($P < 0.05$)。试食前后自身比较, 试食组的排便次数增加($P < 0.01$), 排便状况、粪便性状均有改善($P < 0.05$)。结论表明, 每日食用 2 g 卫矛醇具有通便作用, 且对受试者身体健康无不良影响。

5. 卫矛醇及其衍生物的化学合成、构效关系与结构优化

除了上述抗肿瘤、抗炎及肠道保护等药理活性外, 卫矛醇及其衍生物的化学合成与结构优化研究也为该类化合物的药物开发提供了重要基础。

卫矛醇作为天然六元糖醇, 可从卫矛科植物(如密花美登木、扶芳藤)中提取获得[1]。以卫矛醇为原料, 经溴代反应可制得二溴卫矛醇(DBD), 再与碳酸钾在叔丁醇中发生分子内消除反应可制得二去水卫矛醇(DAG)[24]。而以卫矛醇为原料经溴化、环合得到 DAG, 再对其 3, 4 位羟基进行酯化可制得 DADAG[25]。

在构效关系方面, 现有研究表明 DAG 和 DADAG 的抗肿瘤活性与其糖醇骨架上的环氧基团和乙酰基取代密切相关。闫雪莲[18]等发现 DADAG 可通过抑制鸟氨酸脱羧酶活性将人前列腺癌 PC-3M 细胞阻滞于 G2/M 期, 其作用与下调 Cdc25C、上调 Cyclin B1 和 Wee1 有关, 提示乙酰基修饰可能增强细胞周期调控活性。此外, 卫矛醇本身(未经修饰的六元糖醇)在调节肠道菌群和通便方面显示出独特活性, 而 DAG 和 DADAG 则主要发挥抗肿瘤作用, 表明结构修饰可显著改变药理活性谱[22][23]。然而, 关于不同晶型与生物活性之间的构效关系、以及侧链修饰对靶点选择性的影响尚缺乏系统研究, 这为未来结构优化提供了方向。

6. 展望

卫矛醇及其衍生物作为一类具有多种药理活性的天然小分子化合物, 其与众多衍生物在抗肿瘤、抗炎、肠道保护、调节肠道菌群及通便等方面展现出广阔的应用前景。近年来, 围绕卫矛醇及其衍生物的研究取得了一系列重要进展, 但对照前沿药物研发标准, 仍存在以下不足与挑战, 亟待从多维度深入突破。

卫矛醇及其衍生物不仅具有多样化的药理活性, 其药代动力学特征和安全性也是临床转化的重要考量。例如尽管已有研究证实 DAG 可通过血脑屏障, 但其系统药代动力学参数尚不完整。其吸收、分布、代谢、排泄等药代动力学参数尚不完整, 影响了其临床应用的精准性[26]。卫矛醇本身为水溶性糖醇, 口服吸收后体内分布和代谢途径缺乏定量数据; DAG 和 DADAG 作为抗肿瘤衍生物, 其静脉注射后的血浆蛋白结合率、组织分布(尤其是肿瘤靶器官的富集程度)、代谢产物鉴定及排泄途径等均未见系统报道[4][26]。樊亦军等测定了 DAG 对小鼠的 LD_{50} 为 9.9 ± 0.6 mg/kg, 但未提供药代参数[27]。刘冠萍等探讨了

注射用去水卫矛醇改口服制剂的可行性, 结果提示不宜改为肠溶微丸, 但舌下含片或其他剂型仍值得探索[28]。未来应借助 LC-MS/MS 等高灵敏度分析技术, 系统开展卫矛醇及其衍生物在啮齿类及非人灵长类动物中的药代动力学研究, 明确其吸收速率、生物利用度、半衰期及代谢稳定性, 为剂型设计和临床给药方案提供依据[1] [29]。除此之外, 卫矛醇及其衍生物的安全性评价也需加强。虽然 20, 40, 75 mg·mL⁻¹ 的 DAG 在 20, 40, 75 mg·mL⁻¹ 未导致斑马鱼组织产生明显的病变, 但该浓度下已经观测到斑马鱼的反应速度下降, 其自主运动能力受到抑制[30] [31]。这提示在药物开发过程中需关注其安全窗, 明确治疗剂量与毒性剂量的关系, 为临床合理用药提供依据。

综上所述, 卫矛醇及其衍生物具有多靶点、多途径的药理作用特点, 在抗肿瘤、肠道疾病防治等领域显示出独特的优势。随着对其作用机制的深入研究和剂型开发的不断推进, 卫矛醇有望在临床应用中发挥更大的价值。

基金项目

中央支持地方高校改革发展基金人才项目(2020GSP16), 黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(202510223002), 黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(YJSCX2025-KJQN66)。

参考文献

- [1] 王杏利, 孙丽涵, 张雷, 等. 柱前衍生化反相高效液相色谱法测定去水卫矛醇的含量[J]. 医药导报, 2019, 38(5): 641-645.
- [2] 唐人九, 邓强, 闭宁基. 卫矛醇的提取和含量测定[J]. 中国药学杂志, 1984(11): 57.
- [3] 卫康醇(去水卫矛醇) [J]. 中国药学杂志, 1986(3): 158-159.
- [4] 陶瑞芳, 林宝爵. 抗癌新药——二去水卫矛醇[J]. 新药与临床, 1985(4): 248.
- [5] 申雅娟, 邓楠, 丁辉, 等. 二去水卫矛醇和二乙酰二去水卫矛醇抗肿瘤作用的研究进展[J]. 天津中医药大学学报, 2021, 40(5): 653-658.
- [6] 苏桂玉, 刘华钢, 黄慧学, 等. 二去水卫矛醇对人肺癌细胞株体外抗癌活性及机制探讨[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(10): 122-127.
- [7] 张玉岭, 张涛, 陈宝贵, 等. 卫矛醇对 C6 胶质瘤细胞体外抗癌活性及机制探讨[J]. 湖南中医杂志, 2024, 40(2): 168-172+200.
- [8] 周莹, 刘华钢, 孙悦文, 等. 二去水卫矛醇对人非小细胞肺癌 H460 细胞体内抗癌活性及其机制研究[J]. 广西医科大学学报, 2022, 39(2): 215-220.
- [9] 周莹. 二去水卫矛醇在裸鼠体内对人 NCI-H460 肺癌细胞诱导凋亡的作用及其机制研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西医科大学, 2016.
- [10] 蒋霞. 二去水卫矛醇对人胶质瘤细胞增殖、凋亡、侵袭及血管生成作用的影响与机制研究[D]: [博士学位论文]. 南宁: 广西医科大学, 2016.
- [11] 黄银妹. 二去水卫矛醇对肺癌 NCI-H460 细胞的影响及基于拓扑异构酶II探讨其抗肿瘤作用[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西医科大学, 2017.
- [12] 黄银妹, 刘华钢, 苏桂玉, 等. 二去水卫矛醇对肺癌 NCI-H460 细胞 DNA 拓扑异构酶II的抑制作用[J]. 中国药理学通报, 2016, 32(11): 1601-1607.
- [13] 王小洁. 二去水卫矛醇对血管生成影响的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西医科大学, 2016.
- [14] 刘敬弢, 郭维, 徐波, 等. 乙二酰二脱水卫矛醇对小鼠移植性肝癌 H22 肿瘤生长和血管生成的抑制作用[J]. 中国新药杂志, 2011, 20(2): 115-119.
- [15] 梁乔芳, 刘华钢, 谭强, 等. 二去水卫矛醇对人脑肿瘤细胞体外抑制作用[J]. 广西科学, 2015, 22(4): 454-456.
- [16] 张慧玲. 二去水卫矛醇体外抗肿瘤作用及诱导肝癌细胞 SMMC-7721 凋亡的研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西医科大学, 2013.
- [17] 张慧玲, 王稼农, 梁霜, 等. 二去水卫矛醇对四种肿瘤细胞的体外抑制作用[J]. 广西科学, 2013, 20(1): 82-84.

- [18] 闫雪莲, 徐波, 李敏, 等. 二乙酰二脱水卫矛醇抑制鸟氨酸脱羧酶活性及机制初探[J]. 中国药学杂志, 2009, 44(12): 904-908.
- [19] 王晗. 卫矛醇缓解 LPS 诱导的断奶仔猪肠道屏障损伤和炎症反应[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2024.
- [20] 王晗, 刘正群, 朱龙博, 等. 卫矛醇通过调节 Toll 样受体 4/髓样分化因子 88/核因子- κ B 信号通路缓解脂多糖诱导的猪肠道上皮细胞损伤[J]. 动物营养学报, 2024, 36(6): 3952-3962.
- [21] 翟春清, 裴明, 温暖. 卫矛醇通过调控 PPARA/ABCA1 信号通路抑制氧化应激改善膜性肾病[J]. 中国医科大学学报, 2026, 55(3): 198-205.
- [22] 何沛, 马永华, 刘仁民, 等. 卫矛醇调节人体肠道菌群功能研究[J]. 黑龙江科学, 2021, 12(4): 28-31.
- [23] 王殿奎, 马永华, 刘仁民. 卫矛醇通便功能人体试验研究[J]. 黑龙江科学, 2021, 12(2): 18-21.
- [24] 代霖霖, 李冬冬, 陶遵威. 二去水卫矛醇的合成[J]. 中国药物化学杂志, 2016, 26(2): 109-111.
- [25] 赖树生, 黎思慧, 徐卓. 二乙酰二去水卫矛醇的合成[J]. 轻工科技, 2016, 32(2): 35+68.
- [26] 杨锦南, 王淑秀, 李平法, 等. 二乙酰二脱水卫矛醇的抗肿瘤作用及其分子机理[EB/OL]. 新乡医学院. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Klkw5nWhgJGENwIQFd2J7WiWuS_IVUBI4W3tThpFswOs9HWNifl-8QYFm3nnbDuHlqzpHdsCDpoWp-caMiZR0HJ7xUQ4LIhfhH1GBTfHiE6KijVle6BOE8ijwY5e_A0ca_CvR6GWidcnO_papfp7eeUfBrCUFwBOLTCx3M7eMeFVlhKJTIgZUFw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS, 2004-12-02.
- [27] 樊亦军, 韦焕英, 邢邦华, 等. 1,2:5,6-二去水卫矛醇抗肿瘤作用及毒性[J]. 华西药理学杂志, 1987(3): 161-165.
- [28] 刘冠萍, 钟杰敏, 徐卓, 等. 注射用去水卫矛醇改剂型研究[EB/OL]. 广西壮族自治区: 广西梧州制药(集团)股份有限公司. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Klkw5nWhgJGVuv_InXaRjqSixPfCrtPHrOQG9Bv0X4ip-JZjBT3jWU1VZMU7jMCgg3sRwAXgPi6PaqiH9JFSOa2BHRPDEiPASC-BZOa0VXoI6GgTOT9fgQfssDvdWvAyV8nB1Jso8PpDAP_jCSz9EbrjcTzZbV2IKrx0d64T8GA48gkSm9VZTw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS, 2021-04-22.
- [29] 吴先富, 张琪, 马玲云, 等. 定量核磁共振法测定去水卫矛醇的含量[J]. 药物分析杂志, 2017, 37(1): 181-184.
- [30] 彭晓丽, 曹雯, 李澄, 等. 去水卫矛醇对斑马鱼神经发育毒性评价[J]. 中国现代应用药理学, 2023, 40(15): 2093-2099.
- [31] 彭晓丽, 刘华钢, 苏桂玉, 等. 去水卫矛醇应用于斑马鱼胚胎的安全性评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(6): 134-139.