

# 去氢骆驼蓬碱药理活性研究进展

李红叶, 叶佳茹, 裴慧珍, 任爽, 贾淋博, 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26日; 录用日期: 2026年5月21日; 发布日期: 2026年5月29日

## 摘要

骆驼蓬为蒺藜科骆驼蓬属多年生植物, 民间多用在咳喘痰壅、关节疼痛、肿毒及肤痒等症的治疗。去氢骆驼蓬碱是从该植物中分离得到的一种生物碱。已有研究显示, 去氢骆驼蓬碱具备抗肿瘤、抗炎抑菌、抗包虫、调控成骨分化以及作用于中枢神经系统等多种药理活性。本文围绕去氢骆驼蓬碱的药理作用进行综述, 旨在为去氢骆驼蓬碱的深入研究与新药开发提供理论支持。

## 关键词

去氢骆驼蓬碱, 抗肿瘤, 抗炎, 抗菌, 抗包虫, 成骨分化, 神经保护

# Research Progress on Pharmacological Activities of Harmine

Hongye Li, Jiaru Ye, Huizhen Pei, Shuang Ren, Linbo Jia, Chenghao Jin\*

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

Received: April 26, 2026; accepted: May 21, 2026; published: May 29, 2026

## Abstract

*Peganum harmala*, a perennial herbaceous plant belonging to the Zygophyllaceae family, has been traditionally utilized in the treatment of conditions such as cough, asthma, rheumatic pain, non-specific inflammatory swellings, and pruritic skin disorders. Harmine, an alkaloid derived from *Peganum harmala*, has been reported to exhibit a wide range of biological activities, including antitumor, anti-inflammatory, antibacterial, anti-echinococcal, osteogenic differentiation regulatory, and neuroprotective effects. This review aims to elucidate the pharmacological properties and underlying molecular mechanisms of harmine, thereby providing a theoretical foundation for further investigation and drug development.

\*通讯作者。

文章引用: 李红叶, 叶佳茹, 裴慧珍, 任爽, 贾淋博, 金成浩. 去氢骆驼蓬碱药理活性研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 3141-3147. DOI: 10.12677/acm.2026.1652131

## Keywords

**Harmine, Antitumor, Anti-Inflammatory, Antibacterial, Anti-Echinococcal, Osteogenic Differentiation, Neuroprotection**

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. 前言

骆驼蓬(*Peganum harmala*)是一种多年生草本植物,在中东、北非及亚洲部分地区广泛分布,具有止咳平喘、祛湿解毒、祛风止痒等功效。去氢骆驼蓬碱(Harmine)是一种来源于骆驼蓬的 $\beta$ -咪啉生物碱类化合物[1]。去氢骆驼蓬碱的分子式为 $C_{13}H_{12}N_2$ ,分子量为196.25 [2]。去氢骆驼蓬碱一般为白色结晶性粉末,可溶于氯仿、甲醇等有机溶剂。大量研究表明,去氢骆驼蓬碱具有抗肿瘤、抗炎抑菌、抗包虫、调控成骨分化及中枢神经系统等多种药理作用[3]。本文将对去氢骆驼蓬碱的药理作用及其分子机制研究进展进行阐述,以期去氢骆驼蓬碱的深入研究及其开发利用提供理论依据。

## 2. 去氢骆驼蓬碱的抗肿瘤作用

恶性肿瘤(Malignant tumor)是指机体在某些致癌因素的长期共同作用下,正常细胞发生突变并无限增殖的一种疾病。恶性肿瘤具有无限增殖、强侵袭性及强转移性等特点[4]。研究表明,去氢骆驼蓬碱可有效抑制多种肿瘤细胞的增殖、诱导凋亡并抑制侵袭与迁移。

### 2.1. 去氢骆驼蓬碱对肿瘤细胞的增殖抑制作用

陶婷婷等人[5]通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对人胃癌 SGC-7901 细胞中增殖相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,SGC-7901 细胞 PTEN 基因表达水平明显升高,蛋白激酶 B (AKT)、磷酸化的小鼠双微体基因 2 (p-MDM2)及环氧化酶-2 (COX-2)表达水平显著降低。进一步通过细胞转染技术和蛋白免疫印迹实验检测敲减 PTEN/AKT/MDM2 基因后去氢骆驼蓬碱对人胃癌 SGC-7901 细胞中增殖相关蛋白表达水平的影响。结果显示,敲减 PTEN 基因可有效阻断去氢骆驼蓬碱抑制 AKT、p-MDM2 及 COX-2 表达的作用,敲减 AKT 基因可协同去氢骆驼蓬碱抑制 p-MDM2 和 COX-2 表达水平,敲减小鼠双微体基因 2 (MDM2)可协同去氢骆驼蓬碱抑制 COX-2 表达水平。说明去氢骆驼蓬碱可通过 PTEN/AKT/MDM2 信号通路下调 COX-2 表达阻碍胃癌细胞增殖。

饶明君[6]通过磺酰罗丹明 B 法检测去氢骆驼蓬碱和 B 细胞淋巴瘤-2 基因(Bcl-2)抑制剂(ABT-199/ABT-737)联合用药对非小细胞肺癌 NSCLC 细胞增殖能力的影响。结果显示,去氢骆驼蓬碱与 Bcl-2 抑制剂两者联用时细胞存活率显著低于二者单用时细胞的存活率。进一步通过细胞克隆实验与蛋白免疫印迹法检测去氢骆驼蓬碱对 NSCLC 细胞增殖相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,NSCLC 细胞内髓样细胞白血病-1 (Mcl-1)蛋白的表达水平显著下调。说明去氢骆驼蓬碱可通过促进 NSCLC 细胞内 Mcl-1 蛋白降解,逆转 Bcl-2 抑制剂的耐药,实现去氢骆驼蓬碱与 Bcl-2 抑制剂的协同抑制 NSCLC 细胞增殖的作用。

Jinrong He 等人[7]通过 CCK-8 实验和集落形成实验检测去氢骆驼蓬碱对非小细胞肺癌(NSCLC)细胞系(A549 和 H1299)增殖活性的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、5、10 及 20  $\mu\text{mol/L}$ )处理后,NSCLC

细胞的存活率和集落形成数量呈剂量依赖性显著降低。进一步通过药物亲和力和响应靶点稳定性(DARTS)实验、细胞热位移分析(CETSA)及分子对接技术,鉴定出去氢骆驼蓬碱直接靶向结合磷酸二酯酶 4D (PDE4D),并通过免疫共沉淀(Co-IP)实验证实该结合过程干扰了 PDE4D 与 PI3K p85 亚基的蛋白间相互作用,进而抑制下游 Akt/mTOR 信号通路的磷酸化激活。说明去氢骆驼蓬碱可通过特异性靶向 PDE4D 蛋白、干扰 PI3K/Akt 信号转导并诱导细胞铁死亡,进而发挥抗非小细胞肺癌增殖的作用。

## 2.2. 去氢骆驼蓬碱诱导肿瘤细胞的凋亡作用

孙坤[8]通过流式细胞术检测去氢骆驼蓬碱对胃癌 BGC-823 和 SGC-7901 细胞的诱导凋亡作用。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、4、8 及 16  $\mu\text{mol/L}$ )处理后, BGC-823 和 SGC-7901 细胞早期凋亡细胞比例逐渐增加。进一步通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对 BGC-823 和 SGC-7901 细胞凋亡相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后, BGC-823 和 SGC-7901 细胞内 Bcl-2 的表达水平显著降低, Bcl-2 相关 X 蛋白(Bax)的表达水平明显升高。说明去氢骆驼蓬碱可通过下调 Bcl-2 表达水平诱导人胃癌 BGC-823 和 SGC-7901 细胞凋亡。

刘俊玲等人[9]通过琼脂糖凝胶电泳法检测去氢骆驼蓬碱对急性 T 淋巴细胞白血病 Jurkat 细胞的诱导凋亡作用。结果显示, Jurkat 细胞经去氢骆驼蓬碱处理后,琼脂糖凝胶电泳呈现典型的梯状条带,而对照组 DNA 集中于加样孔附近,表明去氢骆驼蓬碱可诱导 Jurkat 细胞发生明显的 DNA 片段化,进而诱导细胞发生凋亡。进一步通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对 Jurkat 细胞的凋亡相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、2.5、5 及 10  $\mu\text{mol/L}$ )处理后, Jurkat 细胞内 Bcl-2 和 ICAD 蛋白的表达水平显著降低。说明去氢骆驼蓬碱可通过调控凋亡相关蛋白 Bcl-2 与 ICAD 的表达水平诱导急性 T 淋巴细胞白血病 Jurkat 细胞的凋亡。

刘济仁[10]通过流式细胞术检测去氢骆驼蓬碱对人胃腺癌 SGC-7901 细胞的诱导凋亡作用。结果显示,去氢骆驼蓬碱以浓度依赖性的方式(0、4、8 及 16  $\mu\text{mol/L}$ )显著升高 SGC-7901 细胞的凋亡率。进一步通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对 SGC-7901 细胞凋亡相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(3、4、5、6 及 7  $\text{mg/mL}$ )处理后, SGC-7901 细胞的促凋亡蛋白 Fas 的表达水平显著上升, Bcl-2 的蛋白表达水平显著下调。说明去氢骆驼蓬碱可通过调控凋亡相关蛋白 Fas 和 Bcl-2 的表达水平诱导人胃腺癌 SGC-7901 细胞的凋亡。

Jiming Liu 等人[11]通过流式细胞术检测细胞周期,结果显示去氢骆驼蓬碱诱导 SW620 细胞发生 S 期和 G2/M 期阻滞,伴随 Cyclin D1 下调和 Cyclin B1、CDK1 上调。进一步通过 JC-1 染色检测线粒体膜电位变化,结果显示去氢骆驼蓬碱处理后线粒体跨膜电位显著下降,且 Western blot 检测显示 Caspase-3 和 Caspase-9 激活、PARP 裂解、Bcl-2 下调及 Bax 上调。在信号通路层面,去氢骆驼蓬碱可显著抑制 p-Akt 和 p-ERK 的磷酸化水平。说明去氢骆驼蓬碱通过抑制 Akt 和 ERK 信号通路,诱导细胞周期阻滞并激活线粒体凋亡途径,进而发挥抗结肠癌作用。

## 2.3. 去氢骆驼蓬碱对肿瘤细胞迁移和侵袭作用

王梅林等人[12]通过细胞划痕实验检测去氢骆驼蓬碱对人乳腺癌 MCF-7 细胞迁移能力的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、5、10 及 20  $\mu\text{mol/L}$ )处理后, MCF-7 细胞的迁移率显著降低。通过 Transwell 小室实验测定去氢骆驼蓬碱对 MCF-7 细胞侵袭能力的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,穿透 Matrigel 胶的细胞数量显著降低。进一步通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对 MCF-7 细胞的迁移及侵袭相关蛋白表达水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后, MCF-7 细胞内转化生长因子- $\beta$  (TGF- $\beta$ )、果蝇抗十五体缺损蛋白同系物 2 (Smad2)、果蝇抗十五体缺损蛋白同系物 3 (Smad3)、果蝇抗十五体缺

损蛋白同系物 4 (Smad4)、N-钙黏蛋白(N-Cadherin)、波形蛋白(Vimentin)及转录激活因子 3 (Stat3)的蛋白表达水平显著降低。说明去氢骆驼蓬碱可通过调控 TGF- $\beta$  信号通路抑制人乳腺癌 MCF-7 细胞的迁移和侵袭,进而发挥抗肿瘤作用。

孙洪雨等人[13]通过细胞划痕实验和 Transwell 小室实验检测去氢骆驼蓬碱对人成骨肉瘤 Saos-2 细胞的迁移和侵袭能力的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、5、10 及 20  $\mu\text{mol/L}$ )处理后, Saos-2 细胞的迁移率和侵袭数显著降低。进一步通过 TUNEL 免疫染色实验检测去氢骆驼蓬碱对裸鼠瘤模型小鼠的抗肿瘤效果。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(0、5、10 及 20  $\mu\text{mol/L}$ )处理后, Saos-2 细胞凋亡率显著增高,同时其迁移能力显著降低。说明去氢骆驼蓬碱可通过抑制骨肉瘤 Saos-2 细胞的迁移和侵袭,进而发挥抗肿瘤作用。

Yin Bao 等人[14]通过划痕愈合实验和 Transwell 小室实验检测去氢骆驼蓬碱对人卵巢癌 SKOV3 和 A2780 细胞迁移与侵袭能力的影响。结果显示,去氢骆驼蓬碱呈剂量依赖性抑制卵巢癌细胞迁移和侵袭。进一步通过 Western blot 和免疫荧光检测 EMT 标志物表达,结果显示去氢骆驼蓬碱处理后可显著上调上皮标志物 E-cadherin,下调间质标志物 N-cadherin、Snail 及 Vimentin,同时抑制 MMP2 和 MMP9 表达。在分子机制层面,转录组测序结合 ChIP 实验证实去氢骆驼蓬碱通过抑制 HDAC7 活性,破坏 HDAC7 与转录因子 SP1 的相互作用,促进 SP1 结合至 RECK 启动子区域并激活其转录,进而恢复 RECK 表达。RECK 敲低可完全逆转去氢骆驼蓬碱对细胞迁移侵袭及 EMT 的抑制作用。说明去氢骆驼蓬碱可通过抑制 HDAC7、恢复 RECK 表达来阻断卵巢癌细胞 EMT 进程,进而发挥抗迁移和抗侵袭作用。

### 3. 去氢骆驼蓬碱的抗炎抑菌作用

#### 3.1. 去氢骆驼蓬碱的抗炎作用

炎症是机体对各种致炎因子引起的损伤所发生的一种以防御为主的基本病理过程。炎症反应中涉及多种炎症细胞、炎性细胞因子、炎性介质、黏附分子、趋化因子、生长因子等[15]。研究表明,去氢骆驼蓬碱可通过抑制相关炎症因子的表达改善炎症的症状。

谭燕杰等人[16]通过 HE 染色实验检测去氢骆驼蓬碱对炎症性肠病(IBD)模型小鼠肠道组织黏膜屏障的防护作用。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,小鼠病理损伤与结肠黏膜和黏膜下层上皮损伤程度明显减轻,炎性细胞浸润明显减少。进一步通过蛋白免疫印迹实验检测去氢骆驼蓬碱对 IBD 模型小鼠中促炎因子表达水平变化的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,小鼠体内闭锁小带蛋白 1 (ZO-1)和闭合蛋白(Occludin)蛋白表达水平明显升高。说明去氢骆驼蓬碱通过调节肠道组织中 ZO-1 蛋白和 Occludin 蛋白的表达水平,增强肠道屏障功能与减少黏膜通透性,进而发挥抗炎作用。

Xiaofeng Niu 等人[17]通过酶联免疫印迹法检测去氢骆驼蓬碱对小鼠血清和肾脏组织的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,小鼠血清中肿瘤坏死因子- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ )与白细胞介素-6 (IL-6)的分泌水平显著降低。进一步通过蛋白免疫印迹与免疫组织化学方法检测去氢骆驼蓬碱治疗 LPS 诱导急性肾损伤的潜在抗炎机制。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,导致核因子  $\kappa\text{B}$  p65 (NF- $\kappa\text{B}$  p65)和核因子  $\kappa\text{B}$  抑制蛋白  $\alpha$  (I $\kappa\text{B}\alpha$ )的磷酸化,急性肾损伤小鼠体内 I $\kappa\text{B}\alpha$  的表达水平显著下降。去氢骆驼蓬碱可显著抑制 LPS 上调肾脏核苷酸结合寡聚化结构域样受体蛋白 3 (NLRP3)、半胱氨酸天冬氨酸特异性蛋白酶-1 (Caspase-1)及白细胞介素-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ )蛋白表达水平而诱导的 NLRP3 炎性体激活。说明去氢骆驼蓬碱通过抑制 TLR4-NF- $\kappa\text{B}$ /NLRP3 信号通路减轻 LPS 诱导的小鼠急性肾损伤。

Yihui Zhai 等人[18]通过 LPS 诱导的急性肺损伤(ALI)小鼠模型和体外巨噬细胞实验检测去氢骆驼蓬碱的抗炎作用。结果显示,去氢骆驼蓬碱可显著减轻肺组织病理损伤,降低肺泡灌洗液中 IL-6、IL-1 $\beta$  和 TNF- $\alpha$  水平,并抑制炎症细胞浸润。进一步通过 RNA-seq、基因沉默及免疫共沉淀实验探讨其分子机制,

结果显示去氢骆驼蓬碱并非直接干扰 TLR4-MD2 相互作用,而是通过抑制 CSF3 的转录与表达,进而阻断下游 MAPK 和 NF- $\kappa$ B 信号通路的磷酸化激活。CSF3 过表达可逆转去氢骆驼蓬碱对炎症因子及信号通路的抑制作用。说明去氢骆驼蓬碱可通过靶向抑制 CSF3 介导的 MAPK/NF- $\kappa$ B 信号通路,减轻 LPS 诱导的急性肺损伤,进而发挥抗炎作用。

### 3.2. 去氢骆驼蓬碱的抗菌作用

微生物(Microbe)是指难以用肉眼直接看到的微小生物的总称,包括细菌、真菌及病毒等。微生物最主要的特点就是体积小、种类多、繁殖迅速及适应环境能力强等[19]。研究表明,去氢骆驼蓬碱能够凭借破坏细菌、真菌等微生物的结构以及干扰其代谢等方式,进而实现抑菌的效果。

许晏等人[20]通过最小杀菌浓度(MBC)测定法检测去氢骆驼蓬碱对 6 种细菌(金黄色葡萄球菌、乙型溶血性链球菌、大肠杆菌、绿脓杆菌、福氏志贺菌及伤寒沙门菌)和 1 种真菌(白色念珠菌)的影响。结果显示,去氢骆驼蓬碱对 6 种细菌的 MBC 为 125~250  $\mu$ g/mL,对白色念珠菌的 MBC 为 800  $\mu$ g/mL。进一步通过对绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌及白色念珠菌进行体外时间-杀菌曲线的绘制检测去氢骆驼蓬碱在不同时间(0、0.5、1、2、4、6、8、10、24 及 48 h)内的杀菌率。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌及白色念珠菌在 4 h 的杀菌率均可达到 90%以上,金黄色葡萄球菌和绿脓杆菌在 24 h 的杀菌率达到 100%。说明去氢骆驼蓬碱在抗细菌和真菌感染,尤其是浅表组织感染上有广泛的应用前景。

Hongkai Xia 等人[21]通过最小抑菌浓度(MIC)测定法检测去氢骆驼蓬碱对青枯雷尔氏菌的杀菌活性。结果显示,经去氢骆驼蓬碱(60 mg/L)处理 1 h 和 2 h 后,青枯雷尔氏菌死亡率分别为 85%和 90%,经去氢骆驼蓬碱(180 mg/L)处理 1 h 和 2 h 后,青枯雷尔氏菌死亡率分别为 96%和 98%,经去氢骆驼蓬碱(240 mg/L)处理 2 h 后,枯雷尔氏菌死亡率达到 99.3%。进一步通过定量实时聚合酶链式反应(qPCR)检测去氢骆驼蓬碱对青枯雷尔氏菌毒力相关基因表达的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,细菌毒力相关基因(xpsR)的表达水平被显著抑制,细胞外蛋白分泌 E 基因(espE)表达减少。说明去氢骆驼蓬碱可通过抑制青枯雷尔氏菌内 xpsR 与 espE 的表达水平进而发挥抑菌作用。

## 4. 去氢骆驼蓬碱的其他作用

### 4.1. 去氢骆驼蓬碱的抗包虫作用

包虫病又称棘球蚴病(Echinococcosis),是由棘球绦虫(*Echinococcus granulosus*)的幼虫寄生于人体及某些动物体内所致的人畜共患病,同时也是一种免疫失衡性疾病[22]。研究表明,去氢骆驼蓬碱可通过抑制相关细胞因子的表达抑制虫体生长的效果。

陈蓓等人[23]通过流式细胞术检测去氢骆驼蓬碱对细粒棘球蚴感染后小鼠外周血 T 淋巴细胞亚群的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,小鼠外周血 CD4+ T 细胞水平显著降低,CD8+ T 细胞水平显著升高。进一步通过血细胞计数法检测去氢骆驼蓬碱对小鼠血清中 Th1/Th2 相关细胞因子变化水平的影响。结果显示,经去氢骆驼蓬碱处理后,Th1 细胞分泌的白细胞介素-2 (IL-2)与干扰素- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ )表达水平显著升高,Th2 细胞分泌的白细胞介素-4 (IL-4)与白细胞介素-10 (IL-10)表达水平显著降低。说明去氢骆驼蓬碱通过影响 Th1/Th2 相关的细胞因子的表达水平,调节细粒棘球蚴感染后 Th1/Th2 细胞失衡现象的发生,进而抑制虫体生长。

### 4.2. 去氢骆驼蓬碱的神经保护作用

神经系统(Nervous system)是机体器官活动的调节中心。当神经系统发生退行性变化时,会出现炎症

反应, 过度的神经炎症会对周围组织造成更大的损伤, 严重威胁人类健康。研究发现, 去氢骆驼蓬碱在保护神经细胞与改善神经功能障碍等方面具有显著的疗效。

Zhi-Heng Zheng 等人[24]通过全细胞贴片实验来检测去氢骆驼蓬碱对兴奋性突触传递的影响。结果显示, 经去氢骆驼蓬碱处理后, 微型兴奋性突触后电流(mEPSC)频率的累积概率曲线明显右移, 但振幅没有明显右移。抑制 LPS 增加杏仁基底外侧核投射神经元(BLA PNs)中 mEPSC 的频率, 进一步通过记录微型突触后抑制电流(mIPSC)检测去氢骆驼蓬碱对 BLA PNs 突触传递抑制的影响。结果显示, 各组间对 mIPSCs 频率和幅度均无显著影响。说明去氢骆驼蓬碱通过调节基底外侧杏仁核的神经炎症和神经元可塑性发挥抗焦虑作用。

### 4.3. 去氢骆驼蓬碱对成骨分化作用

成骨分化是指间充质干细胞(MSCs)等前体细胞在各种内外因素的刺激下, 逐渐向成骨细胞方向分化的过程, 最终形成具有分泌骨基质和调节骨矿化功能的成骨细胞。研究发现, 去氢骆驼蓬碱可通过调控相关细胞因子的表达水平降低成骨分化能力的损伤。

徐文[25]通过蛋白免疫印记法检测去氢骆驼蓬碱对低氧环境人脱落乳牙干细胞(SHEDs)成骨基因以及蛋白表达水平的影响。结果显示, 在低氧环境下, 经去氢骆驼蓬碱处理后, SHEDs 细胞中碳酸酐酶 9 (CA-9)的表达水平显著上调。利用 CA-9 抑制剂检测抑制 CA-9 的活性后对细胞的成骨能力的影响。结果显示, 成骨蛋白 Runt 相关转录因子 2 (RUNX2)、I型胶原蛋白(COL-1)以及骨桥蛋白(OPN)表达水平均明显下调, 去氢骆驼蓬碱对 SHEDs 的成骨保护作用消失。进一步通过荧光显微镜观察实验检测去氢骆驼蓬碱对 SHEDs 细胞内活性氧(ROS)水平和丙二醛(MDA)水平的影响。结果显示, 经去氢骆驼蓬碱处理后, 细胞内 ROS 和 MDA 的产生明显受到抑制。说明去氢骆驼蓬碱可通过介导 CA-9 的抗氧化作用减轻低氧环境对 SHEDs 的损伤。

## 5. 展望

去氢骆驼蓬碱作为一种具有多靶点作用特征天然小分子, 在抗肿瘤、抗炎抑菌及骨代谢调控等方面已表现出一定的生物学活性。但从整体来看, 相关研究仍以体外实验为主, 对其直接作用靶点及分子机制的认识尚不充分, 体内药效及安全性评价亦相对缺乏。

今后的研究可在现有基础上进一步深化。一方面, 可结合蛋白质组学等手段, 对其潜在作用靶点进行筛选和验证, 并逐步明确其相关信号通路, 以加深对其作用机制的理解。另一方面, 应加强与具体疾病相关的体内研究, 尤其是在胃癌、肺癌等常见肿瘤模型中系统评价其抗肿瘤作用, 同时结合药代动力学及生物利用度研究, 对其体内过程进行初步分析, 为其进一步应用提供参考。此外, 鉴于其可能具有多通路调控特点, 其在联合用药中的作用亦值得关注。后续可围绕其与常用化疗药物或靶向药物的联用效果开展研究, 探索其在提高治疗效果或改善耐药方面的潜在价值。

综上所述, 去氢骆驼蓬碱相关研究仍处于探索阶段, 有待在作用机制、体内评价及应用模式等方面进一步完善, 以为其后续研究及潜在临床应用提供依据。

## 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), 黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(202510223075)。

## 参考文献

[1] Herraiz, T., González, D., Ancín-Azpilicueta, C., Arán, V.J. and Guillén, H. (2010)  $\beta$ -Carboline Alkaloids in *Peganum*

- harmala* and Inhibition of Human Monoamine Oxidase (MAO). *Food and Chemical Toxicology*, **48**, 839-845. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.12.019>
- [2] 刘永建, 刘浩, 李华爽, 等. 骆驼蓬子生物碱化学成分研究[J]. 中草药, 2024, 55(3): 705-710.
- [3] 尹琪楠, 陈晓玲, 肖洪涛. 去氢骆驼蓬碱药理作用研究现状[J]. 中国临床药理学杂志, 2019, 35(6): 594-596, 600.
- [4] 左衍海, 施鑫. 恶性肿瘤转移机制研究新进展[J]. 医学研究生学报, 2008(3): 293-297.
- [5] 陶婷婷, 蒋世焯, 孙梦雪, 等. 去氢骆驼蓬碱通过 PTEN/Akt/MDM2 信号通路抑制胃癌细胞 COX-2 表达[J]. 中国药理学通报, 2019, 35(5): 695-700.
- [6] 饶明君. 去氢骆驼蓬碱(Harmine)增敏 Bcl-2 抑制剂抗非小细胞肺癌的作用及机制研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江中医药大学, 2019.
- [7] He, J., Xiong, Q., Qi, Y., Peng, C., Hu, L., Xia, M., *et al.* (2026) Harmine Inhibits Non-Small Cell Lung Cancer Growth by Targeting Phosphodiesterase4D and Inducing Ferroptosis. *Phytomedicine*, **150**, Article ID: 157640. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2025.157640>
- [8] 孙坤. 去氢骆驼蓬碱对胃癌 COX-2 表达的影响及其生物学效应[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京医科大学, 2014.
- [9] 刘俊玲, 乌庆超, 王朝晖, 等. 去氢骆驼蓬碱诱导急性白血病 Jurkat 细胞凋亡及其机制[J]. 光明中医, 2012, 27(2): 242-244.
- [10] 刘济仁. 去氢骆驼蓬碱诱导人胃腺癌 SGC-7901 细胞凋亡[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [11] Liu, J., Li, Q., Liu, Z., Lin, L., Zhang, X., Cao, M., *et al.* (2016) Harmine Induces Cell Cycle Arrest and Mitochondrial Pathway-Mediated Cellular Apoptosis in SW620 Cells via Inhibition of the Akt and ERK Signaling Pathways. *Oncology Reports*, **35**, 3363-3370. <https://doi.org/10.3892/or.2016.4695>
- [12] 王梅林, 牛精铃, 高杨, 等. 去氢骆驼蓬碱对 MCF7 细胞增殖与迁移侵袭的影响[J]. 中药材, 2018, 41(7): 1702-1706.
- [13] 孙洪雨, 乔洪旺, 周永焄, 等. 去氢骆驼蓬碱抗骨肉瘤作用机制研究[J]. 智慧健康, 2024, 10(20): 21-24.
- [14] Bao, Y., Zhu, J., Mao, X., Zhang, M., Ao, Q., Zhu, H., *et al.* (2025) Harmine Inhibits Ovarian Cancer Migration and Invasion and Epithelial-Mesenchymal Transition (EMT) by Inhibiting HDAC7 to Restore RECK Expression. *Biochemical Pharmacology*, **242**, Article ID: 117391. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2025.117391>
- [15] 刘俊田. 动脉粥样硬化发病的炎症机制的研究进展[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2015, 36(2): 141-152.
- [16] 谭燕杰, 石郎天, 姚勇刚. 去氢骆驼蓬碱对炎症性肠病模型小鼠的防护作用[J]. 中国药业, 2024, 33(8): 32-35.
- [17] Niu, X., Yao, Q., Li, W., Zang, L., Li, W., Zhao, J., *et al.* (2019) Harmine Mitigates LPS-Induced Acute Kidney Injury through Inhibition of the TLR4-NF- $\kappa$ B/NLRP3 Inflammasome Signalling Pathway in Mice. *European Journal of Pharmacology*, **849**, 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2019.01.062>
- [18] Zhai, Y., Chen, K., Xu, Z., Chen, X., Tong, J., He, Y., *et al.* (2025) Harmine Alleviates LPS-Induced Acute Lung Injury by Inhibiting CSF3-Mediated MAPK/NF- $\kappa$ B Signaling Pathway. *Respiratory Research*, **26**, Article No. 119. <https://doi.org/10.1186/s12931-025-03196-8>
- [19] 许文涛, 郭星, 罗云波, 等. 微生物菌群多样性分析方法的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(7): 258-265.
- [20] 许晏, 王松, 朱明, 等. 去氢骆驼蓬碱体外杀菌作用的研究[J]. 新疆医科大学学报, 2003(3): 252-253.
- [21] Xia, H., Huang, Y., Wu, R., Tang, X., Cai, J., Li, S., *et al.* (2023) A Screening Identifies Harmine as a Novel Antibacterial Compound against *Ralstonia solanacearum*. *Frontiers in Microbiology*, **14**, Article 1269567. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1269567>
- [22] 姚菊霞. 包虫病的流行病学及公共卫生意义概述[J]. 畜牧兽医杂志, 2025, 44(1): 96-102.
- [23] 陈蓓, 高惠静, 巩月红, 等. 去氢骆驼蓬碱对细粒棘球蚴感染小鼠外周血 Th1/Th2 细胞因子的影响[J]. 中国病原生物学杂志, 2019, 14(9): 1038-1043, 1049.
- [24] Zheng, Z., Lin, X., Lu, Y., Cao, S., Liu, X., Lin, D., *et al.* (2023) Harmine Exerts Anxiolytic Effects by Regulating Neuroinflammation and Neuronal Plasticity in the Basolateral Amygdala. *International Immunopharmacology*, **119**, Article ID: 110208. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110208>
- [25] 徐文. 低氧环境下去氢骆驼蓬碱对人脱落乳牙髓干细胞成骨分化的作用及其机制研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州医科大学, 2024.