

中图分类号: R932; R285.5

文献标志码: A

文章编号: 1006-4931(2025)05-0129-05

doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2025.05.028



麝香酮药理学作用研究进展*

杨晓莉¹, 常 艳², 郭东贤¹, 由亚宁¹, 黄芳敏³, 赵 光³, 樊宝娟^{1△}

(1. 陕西省食品药品检验研究院·国家药品监督管理局药品微生物检测技术重点实验室, 陕西 西安 710065;
2. 中国食品药品检定研究院, 北京 102629; 3. 陕西省药品技术审评中心, 陕西 西安 710065)
摘要:目的 为麝香酮相关药物的研发提供参考。方法 采用计算机检索中国知网、万方、维普、PubMed等数据库中2011年1月至2024年7月的相关文献, 总结麝香酮在中枢神经系统、心血管系统、生殖系统等药理学作用及其用于相关疾病治疗的应用现状。
结果与结论 麝香酮是麝香的主要活性物质, 具有抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗惊厥、抗抑郁等多种药理作用, 在中枢神经系统、心血管系统、生殖系统等发挥重要作用, 可作为治疗缺血性脑卒中、阿尔兹海默病、创伤性脑损伤、心肌梗死、癌症等疾病的潜在药物, 其药用价值和市场前景较大。
关键词: 麝香; 麝香酮; 药理学作用; 活性成分

Research Progress on Pharmacological Effects of Muscone

YANG Xiaoli¹, CHANG Yan², GUO Dongxian¹, YOU Yaning¹, HUANG Fangmin³, ZHAO Guang³, FAN Baojuan¹

(1. Shaanxi Institute for Food and Drug Control · NMPA Key Laboratory for Testing Technology of Pharmaceutical Microbiology, Xi'an, Shaanxi, China 710065; 2. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing, China 102629; 3. Shaanxi Provincial Drug Technical Evaluation Center, Xi'an, Shaanxi, China 710065)

Abstract: **Objective** To provide a reference for the development of muscone-related drugs. **Methods** Relevant literature in databases such as CNKI, WanFang, VIP, and PubMed from January 2011 to July 2024 were searched, and the pharmacological effect of muscone on the central nervous system, cardiovascular system, reproductive system, and other systems were summarized, as well as its current application status in the treatment of related diseases. **Results and Conclusion** Muscone is the main active substance of Moschus, with various pharmacological effects such as anti-inflammatory, anti-tumor, antioxidant, anticonvulsant, and antidepressant. It plays an important role in the central nervous system, cardiovascular system, reproductive system, and other systems. It can be used as a potential drug for the treatment of ischemic stroke, Alzheimer's disease, traumatic brain injury, myocardial infarction, cancer, and other diseases, and it has great medicinal value and market prospects.
Key words: Moschus; muscone; pharmacological effects; active ingredients

麝香首载于《神农本草经》, 为麝科动物林麝 *Moschus berezovskii*、马麝 *Moschus sifanicus*、原麝 *Moschus moschiferus* 成熟雄体香囊的分泌物, 味辛, 性温, 归心、脾经, 具有开窍醒神、活血通经、消肿止痛功效, 用于热病神昏, 中风痰厥, 气郁暴厥, 中恶昏迷, 经闭, 癥瘕, 难产死胎, 胸痹心痛, 跌扑伤痛, 痹痛麻木, 痈肿瘰癧, 咽喉肿痛^[1]。天然麝香稀缺名贵, 国家严格限定其使用范

围, 只能用于特效药、关键药等5种中成药, 临床使用多为人工合成麝香^[2]。人工合成麝香化学成分主要包括甾体类、大环酮类、蛋白质类等化合物, 其中麝香酮是麝香的主要活性物质^[3]。现代药理学研究表明, 麝香酮具有较强的抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗惊厥、抗抑郁作用^[4-5], 能双向调节中枢神经系统, 对心脑血管系统、生殖系统、骨骼系统等产生影响^[6-7], 可用于治疗冠状动

*基金项目: 陕西省药品监管科学研究项目[SXYJ202406]; 陕西省重点研发计划项目[2023-YBSF-463]; 陕西省药品科学监管和监管科学研究项目[SXYJ202305]。

第一作者: 杨晓莉, 女, 硕士, 主任药师, 研究方向为药品、食品、化妆品质量控制, (电子信箱) yangxiaoli0206@163.com。

△通信作者: 樊宝娟, 女, 副主任药师, 研究方向为中药材及中成药质量技术, (电子信箱) 5516281@qq.com。

过敏性休克1例[J]. 中南药学, 2022, 20(8): 1958-1960.
[15] 姚欢, 刘银环, 吴琳. 2016-2021年咸阳市中心医院抗感染药物不良反应报告分析[J]. 现代药物与临床, 2022, 37(5): 1119-1123.
[16] 邓为上, 杨森森, 陈吉生. 基于3938份药品说明书探讨头孢菌素类药品皮肤过敏试验的规范[J]. 医药导报, 2023, 42(1): 97-103.
[17] 俞晓慧, 章新琼, 范敏, 等. 胰岛素治疗糖尿病患者低血糖感知受损现状及心理因素分析[J]. 中华护理杂志, 2023, 58(19): 2380-2386.
[18] 陈锡得, 杨立勇, 林志鸿. 老年2型糖尿病患者发生严重低血糖的相关危险因素[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(2): 377-379.
[19] 秦琼, 盛卫娟, 唐婕, 等. 分级药学服务在糖尿病患者中的实践与临床评价[J]. 医药导报, 2023, 42(2): 248-253.
(收稿日期: 2023-12-27; 修回日期: 2024-09-10)

脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)、缺血性脑卒中、心肌梗死等疾病^[8]。本研究采用计算机检索中国知网、万方、维普、PubMed等数据库中2011年1月至2024年7月的相关文献,从中枢神经系统、心血管系统、生殖系统三方面对麝香酮的药理学作用进行综述,为麝香的进一步研究和开发利用提供参考。现报道如下。

1 中枢神经系统作用

1.1 抗脑缺血损伤

麝香对中枢神经系统有兴奋-镇静双向调节作用,其小剂量可兴奋中枢,大剂量可抑制中枢,能增强中枢神经系统的耐缺氧能力,改善脑循环^[9],通过影响大鼠神经干细胞团的分散和细胞贴壁、变形,促进神经干细胞(NSCs)的增殖和分化^[10]。

乔利军等^[11]通过建立大鼠大脑中动脉缺血再灌注损伤(MCAO/R)模型发现,麝香酮能改善MCAO/R模型大鼠的神经功能缺损,促进急性缺血性卒中(AIS)模型大鼠缺血损伤区内源性NSCs增殖,并促进其向神经元分化,降低星形胶质细胞分化比例,缩小脑梗死体积,从而对脑缺血再灌注损伤起保护作用。

LIU等^[12]对小鼠采用麝香酮干预后,肿瘤坏死因子(TNF)- α 、白细胞介素(IL)-1 β 和IL-6的表达水平显著降低,趋化因子(c-x-c基序)配体1(CXCL1)、转化生长因子- β (TGF- β)和IL-10的表达水平显著升高;此外,麝香酮上调了过氧化物酶体增殖物激活受体- γ (PPAR- γ)的表达,促进小胶质细胞向M2表型转化,即麝香酮可通过激活PPAR- γ 信号通路加强小胶质细胞向M2表型的转化,缩小缺血性脑卒中模型小鼠的梗死体积,从而促进功能恢复。

ZHANG等^[13]通过构建脑缺血再灌注模型大鼠发现,麝香酮干预后,脑梗死率和组织损伤率降低,神经营养因子和血管生成相关因子的表达水平升高;在人单核细胞白血病细胞(THP-1)介导的人脐静脉内皮细胞(HUVECs)血管生成中,麝香酮通过促进THP-1分泌血管生成相关因子,间接促进HUVECs的增殖、迁移和管腔形成,表明麝香酮能保护神经并促进血管生成。

肖珍科等^[14]对脑缺血再灌注损伤(CIRI)模型老年SD大鼠腹腔灌注麝香酮发现,中枢神经特异蛋白S100 β 及核因子- κ B p65(NF- κ B p65)蛋白相对灰度显著降低,表明麝香酮抗CIRI作用与减少S100 β 、NF- κ B p65蛋白表达及减轻兴奋性氨基酸毒性相关,推测麝香酮对术后认知功能障碍有一定预防效果。

WANG等^[15]的研究结果显示,麝香可显著上调大鼠海马中丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶1(Akt1)、PI3KA的相对表达,改善MCAO后缺血大鼠的运动功能;并通过气相色谱-嗅闻-质谱(GC-O-MS)法鉴定出89个关键靶点,包括低氧诱导因子1 α (HIF-1 α)、磷脂酰肌醇-

3-激酶 α (PIK3CA)、TNF信号通路,表明麝香挥发性化合物可减轻神经损伤,并可作为一种潜在的抗急性缺血性卒中的药物。

1.2 抗氧化作用

麝香酮能跨越血脑屏障(BBB),具有抗氧化、抗炎、促进血管扩张和生成等作用。XIE等^[16]通过建立PC12细胞模型对阿尔茨海默病进行研究发现,麝香对H₂O₂诱导的PC12细胞具有潜在抗凋亡和氧化应激的神经保护作用,其作用机制可能是通过调控核红细胞2相关因子2/抗氧化反应元件(Nrf-2/ARE)信号通路来抑制H₂O₂诱导的氧化损伤和细胞凋亡。

黄平等^[17]建立了缺氧-缺糖再灌注(OGD/R)损伤的小鼠海马神经元HT22细胞的体外细胞模型,结果显示,麝香酮能显著提高甲硫氨酸脑啡肽(MEK)和磷酸化胞外信号调节激酶(pERK)的表达水平,降低亲环素D(CypD)的表达水平,通过抑制线粒体通透性转换孔的开放,抑制细胞凋亡,对OGD/R损伤的HT22细胞发挥保护作用,其作用机制可能与激活MEK/ERK/CypD信号通路相关。

蒋光元等^[18]通过对SD大鼠造模和分组发现,创伤性脑损伤(TBI)组大鼠的学习记忆力下降,脑组织形态改变,线粒体膜电位9(MMP9)蛋白表达水平升高,并在3 d左右达到高峰,7 d后逐渐减轻;麝香酮组在各个时间点MMP9蛋白的表达水平均比创伤组低,且大鼠神经功能显著改善,推测麝香酮可通过抑制MMP9蛋白表达而改善大鼠血脑屏障的破坏程度,减轻细胞水肿,改善细胞内环境。

LIU等^[19]通过建立慢性束缚应激模型(CRS)发现,与CRS组相比,麝香酮组的丙二醛(MDA)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)水平显著降低,超氧化物歧化酶(SOD)水平升高,炎症因子水平降低,表明麝香酮能显著改善CRS小鼠海马的神经系统,减轻中枢和周围神经系统的氧化应激反应;同时,麝香酮组NOD样受体热蛋白结构域相关蛋白3(NLRP3)、半胱氨酸蛋白酶-1(caspase-1)和IL-1 β 蛋白表达水平均有不同程度下降,表明麝香酮的抗抑郁作用是通过下调NLRP3,caspase-1,IL-1 β 蛋白的表达来激活NLRP3炎症信号通路。

LI等^[20]采用原代培养的大鼠脊髓星形胶质细胞建立机械-化学损伤(MCD)模型,给予不同质量浓度麝香酮干预,结果显示,麝香酮可降低损伤后乳酸脱氢酶(LDH),TNF- α ,MDA的表达水平,升高SOD的表达水平。麝香酮通过降低细胞外谷氨酸的密度,抑制细胞内钙的水平,降低了谷氨酸转运体(EAATs)和神经胶质纤维酸性蛋白(GFAPs)的表达水平,表明麝香酮对MCD大鼠星形胶质细胞有保护作用,可抑制星形胶质细胞增殖。

麝香酮通过调控神经元突触连接的分子机制,减

少神经元坏死,保护血脑屏障,改善脑缺血引起的神经损伤,控制脑缺血病程发展,从而发挥对神经系统的保护作用^[21]。此外,麝香可显著降低抑郁模型小鼠的体内皮质酮水平、静止时间、炎症因子和氧化应激标志物含量,可减轻慢性应激相关的神经元改变,并显著减少细胞凋亡和增强神经细胞增殖^[22],表明麝香酮的抗抑郁特性与其减少炎症及氧化应激和支持神经再生信号系统的能力相关。麝香酮的抗氧化活性和抗炎功能可保护神经系统,能在阿尔茨海默病、创伤性脑损伤等疾病的治疗中发挥作用。

2 心血管系统作用

心肌梗死的致残率、致死率较高,发病率呈逐年上升趋势^[23],麝香酮对缺血引起的心肌损伤具有抗氧化和抗凋亡作用。ZHANG等^[24]通过建立大鼠心肌缺血模型发现,麝香酮可降低心肌组织中TNF- α 、IL-6、IL-1 β 的表达水平及血清中天冬氨酸氨基转移酶(AST)、肌酸激酶(CK)、LDH的表达水平,推测麝香酮通过抑制心肌梗死后髓细胞触发受体1(TREM-1)的表达,升高B淋巴细胞瘤2(Bcl-2)的表达水平,降低Bcl2相关X蛋白(Bax)的表达水平,抑制炎症反应,实现对心肌细胞的保护作用。

叶健等^[25]的研究结果显示,麝香保心丸可降低外周血肌酸激酶同工酶MB(CK-MB)、LDH和血清心脏蛋白T(TnT)的表达水平,下调心肌miR-144-3P,提高SLC7A11蛋白及谷胱甘肽(GSH)、氧化型谷胱甘肽(GSSG)的表达水平,GSH和GSSG能减轻缺血再灌注损伤中的氧化应激;麝香保心丸干预后,心肌细胞排列混乱程度减轻,细胞组织间隙缩小,表明麝香保心丸能减轻心肌细胞的铁死亡,进而减轻心肌缺血再灌注损伤,其作用机制可能与miR-144-3P/SLC7A11信号通路有关。

姚玉斯等^[26]采用介入球囊阻断猪心脏左前降支中部血流再灌注建立冠状动脉微循环功能障碍(CMD)模型,给予麝香通心滴丸(含人工麝香,STDP)干预,8周后实验组心脏血流速度明显加快,心肌组织中沉默信息调节因子1(Sirt1)、辅激活因子1 α (PGC-1 α)和过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α)表达水平均升高,而Toll样受体4(TLR4)、细胞外调节蛋白激酶(ERK1/2)和解偶联蛋白2(UCP2)表达水平均降低,表明麝香通心滴丸可显著减轻心肌微血管充血,抑制炎症细胞浸润。

ZHU等^[27]通过建立急性心肌梗死(AMI)模型大鼠探索麝香酮的抗氧化功能及对心脏的保护作用。结果显示,麝香酮干预后,大鼠MDA、B型钠尿肽(BNP)和心肌肌钙蛋白(cTnI)活性降低,SOD、GSH-Px、过氧化氢酶(CAT)活性及Bax表达水平均升高。此外,麝香酮能明显促进PI3K和Akt的磷酸化,通过抑制氧化应激和细胞凋亡发挥保护心脏的作用。

YANG等^[28]对大鼠灌胃麝香酮[2 mg/(kg·d)]14 d后发现,麝香酮通过抑制NLRP3/IL-1 β /p38促分裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路,减轻心室炎症和纤维化来降低大鼠心肌梗死后室性心律失常(VA)的易感性,并通过抑制NLRP3炎性小体的活性来减轻Cx43的异常表达。

WANG等^[29]研究发现,麝香酮激活了心肌梗死模型小鼠的PI3K/Akt信号通路,显著提高了心肌梗死模型小鼠Bcl-2的表达水平,降低了Bax的表达水平,进一步改善了心肌重构,发挥了心肌保护作用。

可见,麝香酮可影响miR-144-3P/SLC7A11信号通路,抑制NLRP3/IL-1 β /p38 MAPK通路,促进PI3K和Akt的磷酸化,激活PI3K/Akt信号通路,从而减轻心肌细胞损伤,抑制心肌细胞凋亡,缩小心肌梗死面积,进而保护心脏。随着对麝香酮药理学作用的深入研究及制备工艺的提升,麝香酮有望成为心肌梗死患者抗心肌损伤的有效药物^[30]。

3 生殖系统作用

麝香酮具有雄激素样作用,可抑制排卵,有抗早孕和抗着床作用。王哲等^[31]将载有麝香酮的输卵管节育器置大鼠输卵管内发现,其对大鼠有避孕作用。

ZHANG等^[32]采用麝香酮(30 μ mol/L)处理原代小鼠前列腺细胞后发现,实验组的细胞增殖率高于对照组,细胞凋亡率低于对照组;实验组Bcl-2/Bax mRNA转录水平比值增加了2.85倍,其对应的蛋白表达比值增加了2.37倍;Bcl-2的免疫荧光信号强度在繁殖季节高于非繁殖季节,而Bax的荧光信号强度则相反。故推测麝香酮可能通过抑制细胞凋亡来调节前列腺的发育。

孙蓉等^[2]对去势大鼠注射麝香醚提取物,增加前列腺和储精囊的质量,麝香对离体和在大体子宫均有兴奋作用,对后者更敏感。麝香对妊娠子宫的兴奋性强于未妊娠,对晚期妊娠子宫强于早期。

此外,麝香酮会抑制*Seprn1*基因的表达,干扰腹中胎儿肌肉的正常发育分化,减少慢肌纤维的生成,导致肌肉组织和心脏组织发育异常,影响胚胎发育,严重情况下高质量浓度麝香酮还会导致幼体死亡^[33],故中医一直将麝香作为妊娠期禁忌药。

4 对其他疾病的作用

麝香能抑制肿瘤细胞的增殖,具有明显抗肿瘤作用^[34]。NING等^[35]研究发现,牛黄联用麝香能抑制人肝癌细胞SMMC-7721的增殖及迁移,并有效抑制肝癌裸鼠皮下移植瘤的生长,其作用机制可能与下调PI3K/Akt/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(mTOR)信号通路,调控凋亡相关蛋白caspase-3、caspase-9、Bcl-2、Bax的表达及促进细胞凋亡有关。

卢鹏等^[36]通过体内实验发现,麝香酮能降低皮下荷瘤小鼠肿瘤体积及质量,而不同剂量麝香酮组中肺

癌 A549 / DDP 耐药细胞 p50, p52, p65 等相关通路蛋白呈剂量依赖性降低,表明麝香酮在体内外均能表现出较好的抗 A549 / DDP 耐药细胞增殖活性,推测麝香酮可能通过抑制 NF - κ B 信号通路抑制肺癌 A549 / DDP 耐药细胞增殖。

曹昌霞等^[37]通过建立异位移植瘤模型发现,麝香能影响人表皮生长因子受体 2(HER2)、血管内皮生长因子(VEGF)及肿瘤标志物的表达,阻止 HER2 基因扩增、蛋白过度表达和新血管生成,一定程度上能抑制肿瘤生长,推测麝香抑制肿瘤的作用机制可能与其通过下调肿瘤组织 VEGF 及 HER2 表达活性相关。

XU 等^[38]研究发现,与天然麝香相似,合成麝香酮可诱导肿瘤细胞的生长抑制和凋亡,通过上调 IL - 24 和 DNA 损伤诱导转录因子 3(DDIT3)的 MAPK 信号通路的表达诱导肺癌细胞的生长抑制和凋亡,能替代天然麝香治疗癌症。

张惠娜等^[39]用高糖诱导人肾小管上皮(HK - 2)细胞,建立了细胞炎性损伤模型,随着麝香酮浓度的升高,HK - 2 细胞凋亡率和 cleaved - caspase3、cleaved - caspase9 蛋白表达水平、miR - 191 表达水平均逐渐降低,表明麝香酮通过抑制 miR - 191 表达而抑制高糖诱导肾小管上皮细胞的炎性损伤及细胞凋亡,从而减轻细胞炎性损伤。麝香酮可抑制炎性反应,其主要抗炎成分为水溶性多肽蛋白质,能降低体内抗炎细胞因子水平,具有较强的抗炎活性^[40]。

葛洪等^[41]采用前瞻性队列研究,将患者分为治疗组(麝香乌龙丸治疗)和对照组(抗骨增生片治疗)。结果显示,治疗组患者血清中 IL - 1 和 MMP3 水平均低于对照组,TGF - β_1 、TIMP - 1、TIMP - 1 / MMP3 水平均高于对照组,表明麝香乌龙丸可保护关节软骨、改善膝关节功能。

侯费祎等^[42]采用贴壁筛选法提取骨髓间充质干细胞,制备麝香含药血清和空白对照组血清,在低氧环境下对细胞进行干预。结果显示,麝香含药血清组的碱性磷酸酶、骨钙素、钙盐沉积量、VEGF、血管生成素、TGF - β 表达水平均显著优于空白对照组,表明麝香在低氧环境下可促进骨髓间充质干细胞增殖、成骨分化及血管生长因子分泌,有望用于高原低氧环境中细胞损伤修复。

5 结语

麝香是芳香开窍药的代表中药,具有多种药理学活性,在中医药领域应用广泛。麝香酮是麝香的主要活性物质,归纳总结其相关药理学作用发现,在中枢神经系统方面,麝香酮能双向调节中枢神经系统,治疗脑卒中、术后认知功能障碍、痴呆、卒中后抑郁、创伤后脑损伤等疾病,主要通过调控血脑屏障通透性、抑制炎症反应、抗氧化应激损伤、抗细胞凋亡、减少神经细胞坏死等发挥保护中枢神经系统的作用^[43];在心血管系统方

面,麝香酮对缺血缺氧引起的心肌损伤、心肌梗死、冠心病、心肌缺血再灌注损伤等能起到预防和治疗作用,主要通过抗纤维化、抗凋亡、抑制氧化应激和炎症细胞因子释放、阻断炎症反应等达到改善心肌重构及保护心肌功能的作用;在生殖系统方面,麝香酮对子宫有明显兴奋作用,能促进子宫收缩,抑制排卵,有抗早孕和抗着床作用,对妊娠子宫的作用更显著;麝香酮还能通过调控凋亡相关蛋白的表达,抑制肿瘤细胞的增殖。随着对麝香酮药理学作用及其作用机制研究的不断深入,可促进相关创新药物的不断研发,提升其药用价值,扩大其市场前景。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 412 - 413.
- [2] 孙 蓉, 杨 倩, 尹建伟, 等. 麝香及替代品药理作用和含量测定方法研究进展[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(3): 709 - 710.
- [3] 周文杰, 李 宁, 谢兴文, 等. 天然麝香的化学成分及药理研究进展[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(1): 185 - 188.
- [4] LIU K, XIE L, DENG M, et al. Zoology, chemical composition, pharmacology, quality control and future perspective of Musk (Moschus): a review[J]. Chin Med, 2021, 16: 46.
- [5] HAILAH MA, ASHWAQ HB, ZUHAIR MM, et al. Musk (Moschus moschiferus) Attenuates Changes in Main Olfactory Bulb of Depressed Mice: Behavioral, Biochemical, and Histopathological Evidence[J]. Front Behav Neurosci, 2021, 15: 704180.
- [6] LEE DH, KIM YS, SONG JB, et al. Neuroprotective Effects of Musk of Muskrat on Transient Focal Cerebral Ischemia in Rats[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2019, 2019: 9817949.
- [7] ZHANG CL, LIAO YD, LIU LL, et al. A Network Pharmacology Approach to Investigate the Active Compounds and Mechanisms of Musk for Ischemic Stroke[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2020, 2020: 4063180.
- [8] 齐 娜, 段文娟, 李雅婧, 等. 麝香酮药理作用的研究进展[J]. 世界科学技术 - 中医药现代化, 2020, 22(8): 3042 - 3047.
- [9] 黄 丽, 朱彩霞, 林柳青, 等. 不同开窍药对神经中枢系统兴奋 - 镇静作用的影响[J]. 中医学报, 2020, 35(7): 1501 - 1504.
- [10] SI YC, LI Q, XIE C E, et al. Chinese herbs and their active ingredients for activating xue (blood) promote the proliferation and differentiation of neural stem cells and mesenchymal stem cells[J]. Chin Med, 2014, 9: 13.
- [11] 乔利军, 向娇娇, 崔志忠, 等. 麝香酮对脑缺血再灌注损伤大鼠神经再生作用的研究[J]. 中医药学报, 2022, 50(11): 18 - 24.
- [12] LIU F, CAO LW, HU SJ, et al. Muscone promotes functional recovery by facilitating microglia polarization into M2 phenotype through PPAR - γ pathway after ischemic stroke[J]. Cell Immunol, 2023, 386: 104704.
- [13] ZHANG P, YOU SX, DING XY, et al. Protective effect and underlying mechanism of muscone on acute cerebral ischemia -

- reperfusion injury in rats [J]. J Ethnopharmacol, 2023, 308: 116287.
- [14] 肖珍科,黎贤泰,王保,等. 麝香酮处理后 CIRI 模型大鼠海马组织中 S100 β 、NF- κ B 表达变化研究[J]. 陕西中医, 2019, 40(10): 1327-1329.
- [15] WANG D, ZHANG MM, WU CJ, et al. Effects of musk volatile compounds on attenuated nerve injury and improving post-cerebral ischemic exercise functions [J]. Curr Pharm Des, 2022, 28(23): 1932-1948.
- [16] XIE DN, DENG T, ZHAI ZW, et al. Moschus exerted protective activity against H₂O₂-induced cell injury in PC12 cells through regulating Nrf-2 / ARE signaling pathways [J]. Bio-medicine & Pharmacotherapy, 2023, 159: 114290.
- [17] 黄平,袁美玲,王磊,等. 麝香酮抑制 mPTP 开放减轻 OGD/R 所致 HT22 细胞损伤的作用机制[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(23): 6154-6163.
- [18] 蒋光元,罗超,彭形,等. 麝香酮对大鼠创伤性脑损伤后早期 MMP9 蛋白表达的影响[J]. 中国中医急症, 2018, 27(1): 90-93.
- [19] LIU H, LIU LL, CHEN J, et al. Muscone with Attenuation of Neuroinflammation and Oxidative Stress Exerts Antidepressant-Like Effect in Mouse Model of Chronic Restraint Stress [J]. Oxid Med Cell Longev, 2022, 2022: 3322535.
- [20] LI RF, GUI F, YU C, et al. Protective role of muscones on astrocytes under a mechanical-chemical damage model [J]. Ann Transl Med, 2022, 10(17): 927.
- [21] HAN BB, ZHAO YG, YAO J, et al. Proteomics on the role of muscone in the "consciousness-restoring resuscitation" effect of musk on ischemic stroke [J]. J Ethnopharmacol, 2022, 296: 115475.
- [22] HAILAH MA, ASHWAQ HB, ZUHAIR MM, et al. Musk (*Moschus moschiferus*) Attenuates Changes in Main Olfactory Bulb of Depressed Mice: Behavioral, Biochemical, and Histo-pathological Evidence [J]. Front Behav Neurosci, 2021, 15: 704180.
- [23] 《中国心血管健康与疾病报告》编写组. 《中国心血管健康与疾病报告 2020》概述[J]. 中国心血管病研究, 2021, 19(7): 582-590.
- [24] ZHANG H, YE J, WANG X, et al. Muscone Inhibits the Excessive Inflammatory Response in Myocardial Infarction by Targeting TREM-1 [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2022, 2022: 9112479.
- [25] 叶健,汪谔,席鑫,等. 麝香保心丸通过调控 miR-144-3P/SLC7A11 减轻心肌缺血再灌注损伤的实验研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2023, 21(13): 2396-2399.
- [26] 姚玉斯,曾智桓,赵艳群,等. 麝香通心滴丸改善猪心肌缺血再灌注后冠脉微循环和心功能[J]. 南方医科大学学报, 2020, 40(6): 899-906.
- [27] ZHU LL, CAO GY, JIA LY, et al. Muscone suppresses myocardial ischemia damage by regulating PI3K / Akt signaling pathway [J]. BBA - Molecular Basis of Disease, 2022, 1868(12): 166539.
- [28] YANG S, Bi YY, WEI YZ, et al. Muscone attenuates susceptibility to ventricular arrhythmia by inhibiting NLRP3 inflammasome activation in rats after myocardial infarction [J]. J Biochem Mol Toxicol, 2023, 37(11): 23458.
- [29] WANG XY, MENG HY, CHEN PS, et al. Beneficial effects of muscone on cardiac remodeling in a mouse model of myocardial infarction [J]. Int J Mol Med, 2014, 34(1): 103-111.
- [30] 林周,施晶晶,朱栋晓,等. 麝香酮对急性心肌梗死小鼠心脏结构和功能的影响[J]. 山东医药, 2017, 57(1): 32-34.
- [31] 王哲,苏笑,韩荣,等. 麝香酮节育器对大鼠受孕的影响[J]. 实用妇科内分泌杂志, 2018, 5(8): 20-21.
- [32] ZHANG Y, ZHAO XF, MAN X, et al. Effect of Muscone on Anti-apoptotic Ability of Muskrat Prostate Primary Cells [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2022, 323(4): 571-580.
- [33] 陈怡君,钟玉续,董武,等. 麝香酮对斑马鱼胚胎的发育毒性[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2014, 28(2): 267-273.
- [34] 杨孟妮,李睿,李莉,等. 麝香化学成分及抗肿瘤研究进展[J]. 中药药理与临床, 2024, 40(6): 116-122.
- [35] NING DM, DENG Z, WU YR, et al. Niu Huang (Bovis Calculus) - Shexiang (Moschus) combination induces apoptosis and inhibits proliferation in hepatocellular carcinoma via PI3K / AKT / mTOR pathway [J]. Digital Chinese Medicine, 2022, 5(1): 83-92.
- [36] 卢鹏,樊晶晶,罗旭,等. 麝香酮对肺癌细胞的顺铂耐药和小鼠体内的肿瘤生长的作用[J]. 广西医科大学学报, 2020, 37(11): 1948-1953.
- [37] 曹昌霞,王宏斌,杨如意,等. 麝香对人胃癌细胞株移植瘤 HER2, VEGF 和肿瘤标志物的影响[J]. 河南医学研究, 2018, 27(23): 4225-4228.
- [38] XU L, CAO Y. Native musk and synthetic musk ketone strongly induced the growth repression and the apoptosis of cancer cells [J]. BMC Complement Altern Med, 2016, 16(1): 511.
- [39] 张惠娜,谷巍,王菲. 麝香酮减轻高糖诱导的肾小管上皮细胞炎症损伤的机制研究[J]. 解放军医药杂志, 2021, 33(9): 1-5.
- [40] 弋静,杨钰莹,全云云,等. 麝香及其活性成分的抗炎作用机制与临床应用现状[J]. 中医药导报, 2023, 29(7): 74-80.
- [41] 葛洪,袁强,王秋云,等. 膝关节骨关节炎患者应用麝香乌龙丸对其血清白细胞介素 1、转化生长因子 β_1 、基质金属蛋白酶 3 以及基质金属蛋白酶抑制剂 1 表达的影响[J]. 中国综合临床, 2020, 36(4): 328.
- [42] 侯费祎,李慎松,张莲,等. 低氧环境下麝香含药血清对大鼠骨髓间充质干细胞成骨分化及血管生长因子表达的影响[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2022, 30(12): 1-6.
- [43] 刘伟,李娜,姚晶,等. 麝香对中枢神经系统疾病药理作用的实验研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(7): 214-218.

(收稿日期: 2024-08-01; 修回日期: 2024-10-20)