

刺芒柄花素的抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗抑郁、抗焦虑药理作用

黄曦醇, 权 泉, 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26日; 录用日期: 2026年5月21日; 发布日期: 2026年5月29日

摘 要

刺芒柄花素是一种广泛存在于黄芪、葛根及鸡血藤等中药材中的异黄酮类植物雌激素。近年来大量研究表明, 该化合物具有显著的抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗抑郁及抗焦虑等多种药理活性。本文系统综述刺芒柄花素的药理作用及相关分子机制, 并结合其药代动力学特征加以阐述, 以期为刺芒柄花素的后续开发与临床合理应用提供理论依据。

关键词

刺芒柄花素, 抗炎, 抗肿瘤, 抗氧化, 抗抑郁, 抗焦虑

Pharmacological Effects of Formononetin: Anti-Inflammatory, Anti-Tumor, Antioxidant, Antidepressant and Anxiolytic Activities

Xichun Huang, Quan Quan, Junhao Li, Zhao Ning, Hongye Li, Wenhui Zhao, 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

Formononetin is an isoflavonoid phytoestrogen widely present in Chinese medicinal herbs such as

*通讯作者。

文章引用: 黄曦醇, 权泉, 李君豪, 宁钊, 李红叶, 赵文慧, 金成浩. 刺芒柄花素的抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗抑郁、抗焦虑药理作用[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 3135-3140. DOI: 10.12677/acm.2026.1652130

Astragalus membranaceus, *Pueraria lobata*, and *Spatholobus suberectus*. Extensive studies in recent years have demonstrated that this compound possesses significant pharmacological activities, including anti-inflammatory, anti-tumor, antioxidant, antidepressant, and anxiolytic effects. This article systematically reviews the pharmacological actions and underlying molecular mechanisms of formononetin, and further discusses its pharmacokinetic characteristics, aiming to provide a theoretical basis for the subsequent development and rational clinical application of this natural active constituent.

Keywords

Formononetin, Anti-Inflammatory, Anti-Tumor, Antioxidant, Antidepressant, Anxiolytic

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

刺芒柄花素(Formononetin)又名芒柄花素、芒柄花黄素及 7-羟基-4'-甲氧基异黄酮等,是一种天然的植物提取物。刺芒柄花素是从黄芪、葛根及鸡血藤等中药材中提取的天然活性成分[1]。刺芒柄花素的分子式为 $C_{16}H_{22}O_4$, 分子量为 268.26, 易溶于甲醇、乙酸乙酯及乙醚等有机溶剂, 难溶于水[2]。大量研究表明, 刺芒柄花素具有抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗抑郁及抗焦虑等多种药理活性。本文对刺芒柄花素的药理作用及其分子机制研究进展进行阐述, 以期对刺芒柄花素的进一步研究与临床应用奠定理论基础。

2. 刺芒柄花素的抗炎作用

炎症(Inflammation)是生物组织受到损伤因子的刺激下所发生的一种以防御反应为主的基本病理过程, 但过度的炎症反应也可能导致疾病的发生与恶化。患者出现炎症反应常伴随着红、肿、热、痛及功能障碍等症状, 常见的治疗方式为药物治疗。有研究报道, 刺芒柄花素具有良好的抗炎作用。

魏东梅等人[3]通过 Wright 染色法检测了刺芒柄花素对脓毒症模型小鼠炎症反应的影响。结果发现, 经刺芒柄花素处理后, 脓毒症小鼠的存活率显著升高, 腹腔灌洗液中白细胞(白细胞总数、巨噬细胞、中性粒细胞及淋巴细胞)的数量显著降低。通过酶联免疫吸附试验(ELISA)检测了刺芒柄花素对小鼠脾脏中炎症因子表达水平的影响。结果发现, 刺芒柄花素可显著降低脓毒症小鼠脾脏中髓过氧化物酶(MPO)、C-反应蛋白(CRP)、单核细胞趋化蛋白-1 (MCP-1)、白细胞介素-1 β (IL-1 β)、白细胞介素-6 (IL-6)及肿瘤坏死因子- α (TNF- α)的表达水平。进一步通过蛋白质免疫印迹(Western Blot)实验检测了刺芒柄花素对脓毒症小鼠脾脏组织中相关通路蛋白与炎症通路表达水平的影响。结果发现, 刺芒柄花素可显著降低磷酸化丝裂原活化蛋白激酶(p-p38)、磷酸化细胞外信号调节激酶(p-ERK)及 p65 的表达水平。以上研究结果表明, 刺芒柄花素通过抑制 MAPK/NF- κ B 通路的激活减轻小鼠脓毒症炎症反应。

张慧等人[4]通过 CCK-8 (Cell Counting Kit-8)比色法检测了刺芒柄花素对高糖诱导的大鼠心肌细胞活力的影响。结果发现, 高糖诱导的大鼠心肌 H9C2 细胞经刺芒柄花素处理后细胞活力逐渐恢复。通过实时定量 PCR (RT-qPCR)实验与原位末端标记染色法(TUNEL)检测了刺芒柄花素对 H9C2 细胞焦亡的影响。结果发现, 刺芒柄花素可显著降低 H9C2 细胞焦亡因子白细胞介素-18 (IL-18)、半胱氨酸蛋白酶-1 (Caspase-1)及 NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (NLRP3) mRNA 的表达水平。通过 ELISA 试验检测了刺芒柄花素对 H9C2 细胞培养上清液中炎症因子表达水平的影响。结果发现, 刺芒柄花素可显著降低 H9C2 细

胞培养上清液中 TNF- α 、IL-6 及 IL-1 β 的表达水平。进一步通过 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对 H9C2 细胞中相关信号通路蛋白表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著降低 H9C2 细胞中 P2X7R、IL-18、Caspase-1 及 NLRP3 蛋白的表达水平。以上结果表明,刺芒柄花素通过抑制 P2X7R/NLRP3 通路减轻 H9C2 细胞炎症反应与细胞焦亡。

3. 刺芒柄花素的抗肿瘤作用

癌症(Cancer)是机体细胞失去正常调控后过度增殖而引起的疾病。癌细胞可以侵袭周围组织,并可通过体内循环系统与淋巴系统转移到身体的其他部位。常见治疗癌症的方式包括手术切除、放射治疗、化疗、靶向治疗及免疫治疗等[5]。有研究报道,刺芒柄花素具有良好的抗肿瘤作用。

3.1. 刺芒柄花素的抗肝癌作用

焦文鹏等人[6]通过 RT-qPCR 实验与免疫组织化学染色法检测了刺芒柄花素对肝癌模型小鼠组织中环氧合酶(COX-2)表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著降低小鼠 COX-2 的表达水平。通过 CCK-8 比色法检测了刺芒柄花素对肝癌 HepG2 与 Bel-7402 细胞的抑制增殖作用。结果发现,对肝癌 HepG2 与 Bel-7402 细胞处理刺芒柄花素后,刺芒柄花素以浓度与时间依赖性的方式抑制 HepG2 与 Bel-7402 细胞的增殖。通过流式细胞术、RT-qPCR 及 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对肝癌 HepG2 与 Bel-7402 细胞周期的影响。结果发现,刺芒柄花素可上调 G0/G1 期的细胞比例,下调 S 与 G2 期的细胞比例,并显著抑制 COX-2 与细胞周期蛋白 D1 (CyclinD1) mRNA 的表达水平。以上结果表明,刺芒柄花素可通过抑制肝癌细胞中 COX-2 与 CyclinD1 的表达,将细胞阻滞在 G0/G1 期,进而降低肝癌的发生与发展。

3.2. 刺芒柄花素的抗宫颈癌作用

Wang JY 等人[7]通过免疫荧光技术与 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对人宫颈癌 HeLa 细胞中程序性死亡受体-配体 1(PD-L1)及相关蛋白表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素以浓度依赖性的方式显著降低 PD-L1 阳性细胞的比例与 STAT3 的磷酸化,并抑制 MYC、RAF、RAS、p-RAF、p-MEK 及 p-ERK 蛋白的表达与 PD-L1 的合成。通过免疫共沉淀实验检测发现,刺芒柄花素可通过干扰 MYC 与 STAT3 之间的相互作用抑制 PD-L1 蛋白的表达。进一步通过乳酸脱氢酶(LDH)释放实验检测了 T 细胞对 HeLa 细胞杀伤活性的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著增强 T 细胞的细胞毒作用,有效促进 T 细胞对 HeLa 细胞的特异性裂解。以上结果表明,刺芒柄花素可通过干扰 STAT3 与 MYC 的协同作用抑制 PD-L1 的表达水平,从而抑制癌细胞增殖与血管重新生成,进而发挥抗宫颈癌作用。

3.3. 刺芒柄花素的抗结肠直肠癌作用

Wang AL 等人[8]通过 MTT 实验与 Transwell 实验检测了刺芒柄花素对结肠直肠癌 SW1116 与 HCT116 细胞的抑制增殖与侵袭作用。结果发现,刺芒柄花素以浓度依赖性的方式(0、20、50、100 及 200 μ M)抑制 SW1116 与 HCT116 细胞的增殖与侵袭。通过流式细胞术与 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对 SW1116 与 HCT116 细胞周期相关蛋白表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素处理后的 SW1116 与 HCT116 细胞 G0/G1 期比例增加,并以剂量依赖的方式(20、50 及 100 μ M)抑制 CyclinD1、基质金属蛋白酶 2 (MMP2)及基质金属蛋白酶 9 (MMP9)蛋白的表达水平。进一步通过 Western Blot 实验与 RT-qPCR 实验检测了 miR-149 与 EphB3 在抑制 SW1116 与 HCT116 细胞生长与侵袭中的作用。结果发现,刺芒柄花素可显著降低 SW1116 与 HCT116 细胞的存活率与 EphB3 蛋白表达水平。以上结果表明,刺芒柄花素可通过下调 CyclinD1 的表达水平将细胞周期阻滞在 G0/G1 期,并通过下调 miR-149 诱导的 EphB3 蛋白表达水平,抑制结肠直肠癌细胞增殖与侵袭。

4. 刺芒柄花素的抗氧化作用

人体在代谢过程中不断地产生大量的自由基,过量的自由基会导致疾病的发生。常见的抗氧化方法主要有用抗氧化物质清除自由基以及间接清除易产生自由基的物质。有研究报道,刺芒柄花素具有良好的抗氧化作用。

谢娜等人[9]通过 CCK-8 比色法检测了刺芒柄花素对大鼠肝星状细胞 HST-T6 细胞的抑制增殖作用。结果发现,刺芒柄花素以浓度依赖性的方式(5、10、20、40、80、160 及 320 $\mu\text{mol/L}$)显著抑制 HST-T6 细胞增殖。利用 DCFA-DA 荧光探针检测了刺芒柄花素对 HST-T6 细胞内活性氧(ROS)表达水平的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,HST-T6 细胞中超氧化物歧化酶(SOD)的活力显著增加,同时丙二醛(MDA)与 ROS 的表达水平显著降低。通过 ELISA 法检测了刺芒柄花素对 HST-T6 细胞炎症相关因子表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著降低 HST-T6 细胞中 IL-1 β 与 TNF- α 的表达水平。进一步通过免疫荧光技术与 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对 HST-T6 细胞促纤维化因子 I 型胶原、NADPH 氧化酶 4 (NOX4) 蛋白及重组与合成蛋白(Nrf2)表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著下调 HST-T6 细胞中 I 型胶原与 NOX4 蛋白表达水平,同时上调 Nrf2 蛋白表达水平。以上结果表明,刺芒柄花素可通过抑制 Nrf2/NOX4 通路降低活性氧与炎症因子的表达水平,从而发挥抗氧化作用。

张馨允等人[10]利用血糖仪、肌酐(Scr)试剂盒及尿素氮(BUN)试剂盒检测了刺芒柄花素对糖尿病肾病模型大鼠的肾功能、血糖及血脂的影响。结果发现,经浓度为 40 mg/kg 的刺芒柄花素处理后,模型大鼠的尿液中 MAER、血清 Scr 与 BUN、大鼠空腹血糖及血清 TG、TC、LDL 及 HDL 表达水平显著降低。利用 MDA、SOD 及谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)试剂盒检测了刺芒柄花素对糖尿病模型大鼠的肾组织氧化指标的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,模型大鼠的肾组织中 MDA 与 ROS 表达水平显著降低,同时 GSH-Px 与 SOD 活性显著升高。进一步通过 RT-qPCR 法与 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对模型大鼠的肾组织中相关蛋白表达水平的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,Nrf2/血红素加氧酶 1 (HO-1)信号通路被激活,肾组织中 Nrf2、HO-1 mRNA 与蛋白表达水平升高。以上结果表明,刺芒柄花素通过激活 Nrf2/HO-1 信号通路抑制肾组织氧化应激,进而发挥抗氧化作用,从而减轻糖尿病肾病模型大鼠的肾损伤。

5. 刺芒柄花素的抗抑郁作用

抑郁症是躁狂抑郁症的发作形式之一,是一种常见的心理疾病,具有思维迟缓、认知功能损害及心境低落等症状。药物治疗是抑郁症的主要治疗措施之一。有研究报道,刺芒柄花素具有良好的抗抑郁作用。

程瑶等人[11]通过糖水偏好实验(SPT)与强迫游泳实验(FST)检测了刺芒柄花素对抑郁症模型大鼠行为的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,大鼠 SPT 中糖水偏好系数显著降低,FST 中的不动时间显著增加。利用 ELISA 法、MDA 检测试剂盒、SOD 检测试剂盒及 CAT 检测试剂盒检测了刺芒柄花素对抑郁症模型大鼠血清中 ACTH 与 CORT 及氧化应激相关指标表达水平的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,抑郁症模型大鼠血清中 ACTH、CORT 的表达水平以及 MDA 含量显著升高,同时 SOD 与 CAT 活性显著降低。进一步通过 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对海马组织 Nrf2/ARE 信号通路相关蛋白表达水平的影响。结果发现,刺芒柄花素可显著降低大鼠海马组织的 Nrf2、醌氧化还原酶 1 (NQO-1)及 HO-1 蛋白的表达水平。以上结果表明,刺芒柄花素可通过激活 Nrf2/ARE 信号通路抑制氧化应激,进而发挥抗抑郁作用。

6. 刺芒柄花素的抗焦虑作用

焦虑症是以焦虑情绪为主要特征的一种情感障碍。患者常伴随着耳鸣、视力模糊、全身不适等躯体

症状。治疗方法包括药物治疗、心理治疗及认知行为疗法等[12]。有研究报道,刺芒柄花素具有良好的抗焦虑作用。

Wang XS 等人[13]通过开场(OF)与高架迷宫(EPM)测试检测了刺芒柄花素对慢性炎症性痛模型小鼠焦虑样行为的影响。结果发现,经浓度为 25 mg/kg 的刺芒柄花素连续给药 8 h 后可显著延长小鼠的移动距离、在中心区域移动的时间及张开双臂的时间,并减少闭合双臂的时间。进一步通过 Western Blot 实验检测了刺芒柄花素对 N-甲基-D-天冬氨酸受体(NMDAR)、AMPA 受体亚单位 GluA1 及 NF- κ B 信号通路相关蛋白表达水平的影响。结果发现,经刺芒柄花素处理后,CAMP 反应元件结合蛋白(CREB)被激活,磷酸化 CREB 与总 CREB 蛋白的表达水平显著增加,同时 p-GluA1-S831、p-GluA1-S845、GluA1 及离子钙结合衔接分子 1 (Iba-1)蛋白的表达水平显著降低。以上结果表明,刺芒柄花素通过抑制 CREB 信号通路抑制炎症与神经细胞的过度兴奋,从而发挥抗焦虑作用。

7. 刺芒柄花素的药代动力学、安全性及横向比较

药代动力学是评价一种天然活性物质是否能进一步转化为临床药物的重要因素。Luo LY 等人[14]在对大鼠进行口服刺芒柄花素后,其口服生物利用度约为 21.8%,具有较强的肠道透过能力,其跨上皮转运以被动扩散为主,吸收效率显著优于其糖苷形式。在体内迅速发生葡萄糖醛酸化和硫酸化结合反应,生成芒柄花素葡萄糖醛酸苷和硫酸酯等主要代谢产物,导致原形药物在血浆中的浓度极低。Kim JH 等人[15]明确了刺芒柄花素口服生物利用度低、首过效应显著及全身清除较快等关键药代动力学短板,也通过定量模型校正了以往对其代谢速率与暴露水平的粗略认知,更为客观地揭示了原型药与活性代谢物之间的动态转化关系,为后续通过制剂优化或结构修饰改善刺芒柄花素药代动力学缺陷、突破其成药性瓶颈提供了更为可靠的动力学依据。何日静等人[16]在小鼠体内开展的药代动力学及脑组织分布研究进一步证实,提示刺芒柄花素具有良好的血脑屏障通透性。但该研究同时发现,给药 8 h 后血清及脑组织中药物已几乎无法检出,表明刺芒柄花素在脑内消除较快,中枢暴露时间较短,这也在一定程度上提示其在脑部的滞留能力有限,可能成为影响其中枢药效充分发挥的潜在制约因素。

刺芒柄花素作为天然异黄酮类成分,整体安全性良好且毒性较低,在常规治疗剂量下具有较宽的安全范围。刺芒柄花素经口给药对小鼠的急性和亚急性毒性影响较低,无可见有害作用水平值大于 4000 mg/kg,具有非常高的安全性,但提示长期高剂量刺芒柄花素对雌性小鼠卵巢和肾脏可能有潜在影响[17]。王汝涛等人[18]探究了同为天然异黄酮成分的染料木黄酮王汝涛等人研究发现,同为天然异黄酮的染料木黄酮在雌雄 SD 大鼠体内存在显著性别药动力学差异,雌性大鼠血药暴露量、达峰浓度及药物滞留时间均高于雄性,雌激素水平是主要影响因素。刺芒柄花素则无明显雌雄药动力学差异,口服吸收快且可透过血脑屏障,但存在口服生物利用度低、首过代谢强、系统清除快等短板。二者药动力学特征各有优劣,其差异为各自的制剂优化与药用开发提供了重要参考。

8. 展望

基于本文所综述的研究进展,未来对刺芒柄花素的研究不应再局限于表观药效学的重复验证,而应聚焦于更具针对性和转化潜力的方向:靶点蛋白的结构优化与作用机制深度解析、针对生物利用度瓶颈的制剂改良与药代动力学系统研究、基于特定适应症及联合用药策略的临床前精准评价,以及以辅助治疗和慢病管理为定位的早期临床探索。唯有如此,方能推动刺芒柄花素从实验室基础研究向临床实际应用实现实质性跨越。在分子水平层面,后续研究应充分利用共结晶、分子对接及分子动力学模拟等技术手段,精确阐明刺芒柄花素与关键靶蛋白的结合模式与构效关系,并以此为指导开展合理的结构修饰与优化,以期获得活性更强、选择性更高且药代动力学特性更优的新型刺芒柄花素衍生物。

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), 黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(YJSCX2025-XCZX84)。

参考文献

- [1] 李姗姗, 伍桂贤, 刘玉玲, 等. 芒柄花素药理作用及机制的研究进展[J]. 中国现代中药, 2024, 26(9): 1608-1617.
- [2] 王健, 孙瑜, 陈磊, 等. 芒柄花素的现代研究进展[J]. 山西中医学院学报, 2017, 18(5): 74-76+79.
- [3] 魏东梅, 邵龙刚. 芒柄花黄素对脓毒症小鼠炎症反应及 MAPK/NF- κ B 通路影响的实验研究[J]. 陕西医学杂志, 2023, 52(5): 503-507.
- [4] 张慧, 张瑞霞, 刘瑾春等. 芒柄花黄素调控 P2X7R/NLRP3 通路对高糖诱导的心肌细胞炎症反应与焦亡的影响[J]. 免疫学杂志, 2023, 39(7): 594-600.
- [5] 张安勇, 熊秋萍, 刘新平等. 虫草素的抗癌作用及其机制研究进展[J]. 中国药学杂志, 2021, 56(20): 1664-1670.
- [6] 焦文鹏, 焦文静, 张金艳. 刺芒柄花素通过 COX-2/cyclin D1 轴调控肝癌的发生和发展[J]. 中国肿瘤生物治疗杂志, 2021, 28(9): 877-884.
- [7] Wang, J.Y., Jiang, M.W., Li, M.Y., Zhang, Z.H., Xing, Y., Ri, M., *et al.* (2022) Formononetin Represses Cervical Tumorigenesis by Interfering with the Activation of PD-L1 through MYC and STAT3 Downregulation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, **100**, Article ID: 108899. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108899>
- [8] Wang, A., Li, Y., Zhao, Q. and Fan, L. (2018) Formononetin Inhibits Colon Carcinoma Cell Growth and Invasion by microRNA-Mediated EphB3 Downregulation and Inhibition of PI3K/AKT and STAT3 Signaling Pathways. *Molecular Medicine Reports*, **17**, 7721-7729. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.8857>
- [9] 谢娜, 马润, 王联, 等. 芒柄花素对葡萄糖氧化酶诱导大鼠肝星状细胞氧化应激的影响[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(33): 5309-5313.
- [10] 张馨允, 郭启仓, 张景义, 等. 刺芒柄花素对糖尿病肾病大鼠肾脏氧化应激损伤的作用及机制[J]. 中成药, 2021, 43(12): 3326-3332.
- [11] 程瑶, 翟冠楠, 王春霞, 等. 芒柄花素激活 Nrf2/ARE 信号通路对抑郁症大鼠的改善作用及机制[J]. 热带医学杂志, 2022, 22(11): 1467-1472+1486+1611.
- [12] 卢彦宇, 方梓庄, 范洋溢, 等. 阿尔茨海默病发病机制与药物治疗研究进展[J]. 生理科学进展, 2023, 54(2): 81-89.
- [13] Wang, X., Guan, S., Liu, A., Yue, J., Hu, L., Zhang, K., *et al.* (2019) Anxiolytic Effects of Formononetin in an Inflammatory Pain Mouse Model. *Molecular Brain*, **12**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s13041-019-0453-4>
- [14] Luo, L.Y., Fan, M.X., Zhao, H.Y., Li, M., Wu, X. and Gao, W. (2018) Pharmacokinetics and Bioavailability of the Isoflavones Formononetin and Ononin and Their *in Vitro* Absorption in Ussing Chamber and Caco-2 Cell Models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **66**, 2917-2924. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00035>
- [15] Kim, J.H., Kang, D.W., Cho, S. and Cho, H. (2022) Parent-Metabolite Pharmacokinetic Modeling of Formononetin and Its Active Metabolites in Rats after Oral Administration of Formononetin Formulations. *Pharmaceutics*, **15**, Article No. 45. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15010045>
- [16] 何日晶, 李轩, 刘浩然, 等. 灌胃给予芒柄花素在小鼠体内的药动学及脑组织分布研究[J]. 湖南师范大学学报(医学版), 2024, 21(6): 1-4.
- [17] 李梦园, 彭帅军, 刘辉, 等. 芒柄花黄素的急性和亚急性毒性评价[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(12): 6441-6445.
- [18] 王汝涛, 周四元, 梅其炳, 等. 染料木黄酮在雌雄大鼠体内的药动学[J]. 中国药学杂志, 2005(20): 59-62.