

天麻的化学成分和药理作用研究进展



刘桢桢¹, 严静怡¹, 李干鹏², 刘欣³, 任峰¹

1. 华中师范大学生命科学学院 (武汉 430079)
2. 云南民族大学民族医药学院 (昆明 650500)
3. 华中科技大学生命科学与技术学院 (武汉 430074)

【摘要】天麻为兰科多年生草本植物，主要生长于湖北、四川、云南等地。天麻为药食同源的药材，具有重要的药用价值。天麻的化学成分主要包括芳香族化合物、多糖、糖苷、有机酸和甾醇等。在药用上通常采用其干燥块茎作为中药材，该药材具有神经保护、心脏保护、骨骼保护、肝肾保护、血管调节、抗抑郁、抗肿瘤、抗衰老、镇痛、抗炎、抗氧化及抗癫痫等多种药理作用。天麻化学成分和药理活性越来越受到科学界的关注。本文系统综述了国内外天麻化学成分和药理作用研究进展与现状，为天麻的研究提供科学参考，并为天麻的进一步开发利用提供建议和展望。

【关键词】天麻；化学成分；天麻素；多糖；有机酸；甾醇；药理作用；保护作用；研究进展

【中图分类号】 R285；R284

【文献标识码】 A

Research progress of the chemical composition and pharmacological effects of *Gastrodia elata* Bl.

LIU Zhenzhen¹, YAN Jingyi¹, LI Ganpeng², LIU Xin³, REN Feng¹

1. School of Life Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China
 2. School of Ethnic Medicine, Yunnan Minzu University, Kunming 650500, China
 3. College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China
- Corresponding author: REN Feng, Email: renfeng@ccnu.edu.cn

【Abstract】*Gastrodia elata* Bl., a perennial herb from the *Orchidaceae* family, is predominantly cultivated in regions such as Hubei, Sichuan, and Yunnan in China. Recognized for its medicinal properties and edible nature, *G. elata* possesses significant medicinal value. Its chemical composition predominantly consists of aromatic compounds, polysaccharides, glycosides, organic acids, and sterols. In clinical practice, its dried tubers are commonly used as a traditional Chinese medicinal material. This material exhibits a variety of pharmacological effects, including neuroprotection and regeneration, cardioprotection, osteoprotection, hepatorenal protection, vascular regulation, antidepressant, antitumor, anti-aging, analgesic, anti-inflammatory, antioxidant, and antiepileptic properties. Given these attributes, both the chemical constituents and pharmacological activities of *G. elata* have garnered heightened interest within the scientific community. This paper systematically reviews the research progress and current status of the chemical components and pharmacological effects of *G. elata* at home and abroad, providing scientific references for *G. elata*

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202412099

基金项目：湖北省重点研发计划项目（2023BBB127）

通信作者：任峰，博士，教授，博士研究生导师，Email: renfeng@ccnu.edu.cn

research, and offering suggestions and prospects for its further development and utilization.

【Keywords】 *Gastrodia elata* Bl.; Chemical composition; Gastrodin; Polysaccharide; Organic acids; Sterol; Pharmacological effect; Protective effect; Research progress

天麻 (*Gastrodia elata* Bl.), 又称赤箭、明天麻、定风草等, 为兰科 (*Orchidaceae*) 多年生草本植物, 主要生长于湖北、四川、云南、贵州、陕西等地。天麻的根茎作为一种有价值的中草药被广泛应用于临床, 《神农本草经》^[1] 记载其“味辛温, 主杀鬼精物, 蛊毒, 恶气, 久服益气力, 长阴, 肥健, 轻身增年”。天麻在《关于党参等 9 种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告》^[2] 中被列为药食同源物质, 具有药用、食用和保健价值。天麻多采用加热的方法炮制, 如煮制、蒸制、酒制、姜制、蜜制等。不同方法炮制后各种化学成分含量也会相应发生变化^[3-4], 其有效成分的主要提取方式包括超声波提取法、回流提取法和水法提取法。迄今为止, 已从天麻中鉴定出多种化学成分, 其中多数具有镇静催眠、抗惊厥、改善学习记忆、保护神经元、抗抑郁、降血压、促进血管生成、保护心肌细胞等药理作用^[5-7]。中医方剂半夏白术天麻汤将天麻作为重要药材, 具有化痰熄风, 健脾祛湿之功效, 临床常用于治疗耳源性眩晕、高血压病、神经性眩晕、癫痫、面神经瘫痪等疾病^[4]。因此, 天麻普遍用于各种疾病的预防和治疗, 如惊厥、癫痫、破伤风、头痛、头晕、肢体麻木、风湿病和关节痛等。本文系统总结了天麻的化学成分和药理作用研究进展, 为天麻进一步开发应用提供参考。

1 主要化学成分

研究者通过对天麻化学成分的深入探究, 发现其含有多种具有不同药理作用的化学活性成分, 包括芳香族化合物、多糖、糖苷、有机酸和甾醇等。大部分天麻研究多集中于天麻素 (gastrodin)、天麻多糖、4-羟基苯甲醇、巴利森苷 (parishin) 类化合物, 但在多糖结构的表征、活性成分的探索、非药用部位的利用等方面仍存在不足, 有待进一步研究。

1.1 芳香族化合物

天麻作为传统名贵中药材, 蕴含丰富的芳香族化合物, 这类化合物因其独特的苯环结构和生物活性成为药理研究的重点。芳香族化合物是具

有至少 1 个含离域键的苯环结构, 包含单苄基、巴利森苷、芳香族取代糖苷等多种类型。天麻中芳香族化合物主要包括天麻素、香兰醛、香兰醇、4-羟基苯甲醇、4-羟基苯甲醛、4-羟基苄基甲醚、苯甲醇、巴利森苷类化合物、1-*O*-(4-羟基甲基苯氧基)-2-*O*-反式肉桂酰- β -*D*-葡萄糖苷、1-*O*-(4-羟基甲基苯氧基)-3-*O*-反式肉桂酰- β -*D*-葡萄糖苷、gastropolybenzylol H、gastropolybenzylol I、4,4'-亚甲基联苯酚、2-[4-羟基-3-(4-羟基苄基)苄基]-4-甲氧甲基苯酚、4-羟基-3,5-二-(4-羟基苄基)苄基乙基醚、gastropolybenzylol A 等。

单苄基化合物分子中含有 1 个苄基母核, 大多含有酚羟基和甲氧基, 常与单糖或二糖在对位和间位形成糖苷。自从刘星堦等^[8]提取鉴定香兰醇以来, 针对天麻所含的单苄基类化合物的研究得以深入开展, 并陆续取得了系列进展。随着分离纯化技术的不断改进, 研究者陆续从天麻中发现了多种新的单苄基类化合物。但除少数早期发现的单苄基类成分 (如天麻素) 外, 从天麻中提取和鉴定的多数单苄基类化合物, 其具体的生物活性及发挥作用的详细分子机制目前尚未被完全阐明, 这方面的系统药理研究仍有待深入。天麻中常见的单苄基化合物见图 1。

其中天麻素为天麻重要的单苄基化合物, 由对羟基苯甲醇与 β -*D*-吡喃葡萄糖苷通过糖苷键连接而成, 化学式为 $C_{13}H_{18}O_7$, 在天麻中含量较高。《中国药典 (2025 年版)》一部^[9] 中将天麻素作为评价天麻质量标准的指标之一。天麻素凭借其多重药理作用, 已被开发为包括天麻素注射液在内的多种剂型, 在医疗领域展现出巨大的应用潜力。

巴利森苷类化合物为酯类结构, 由 3 个天麻素分子与 1 个柠檬酸分子缩合而成。这类酯类化合物的结构特点在于其取代基具有显著的多样性, 从而衍生出多种多样的巴利森苷类化合物, 具体见图 2。自 Taguchi 等^[10]第一次发现巴利森苷以来, 共分离鉴定了 44 种巴利森苷类化合物。近年来多以高效液相色谱-四极杆/飞行时间质谱

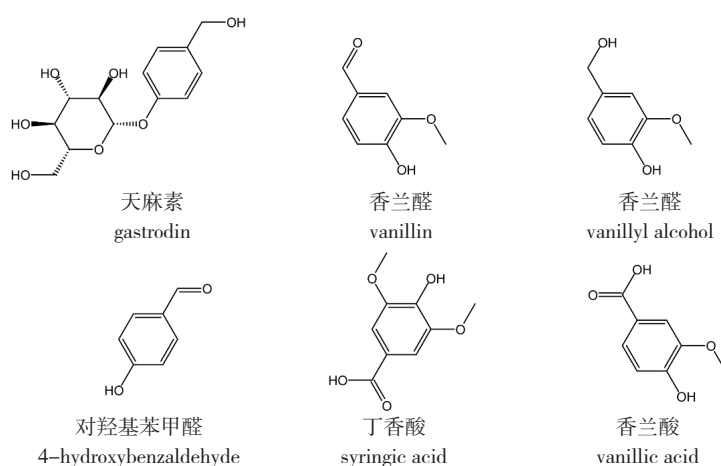


图1 天麻中常见单苄基化合物的化学结构

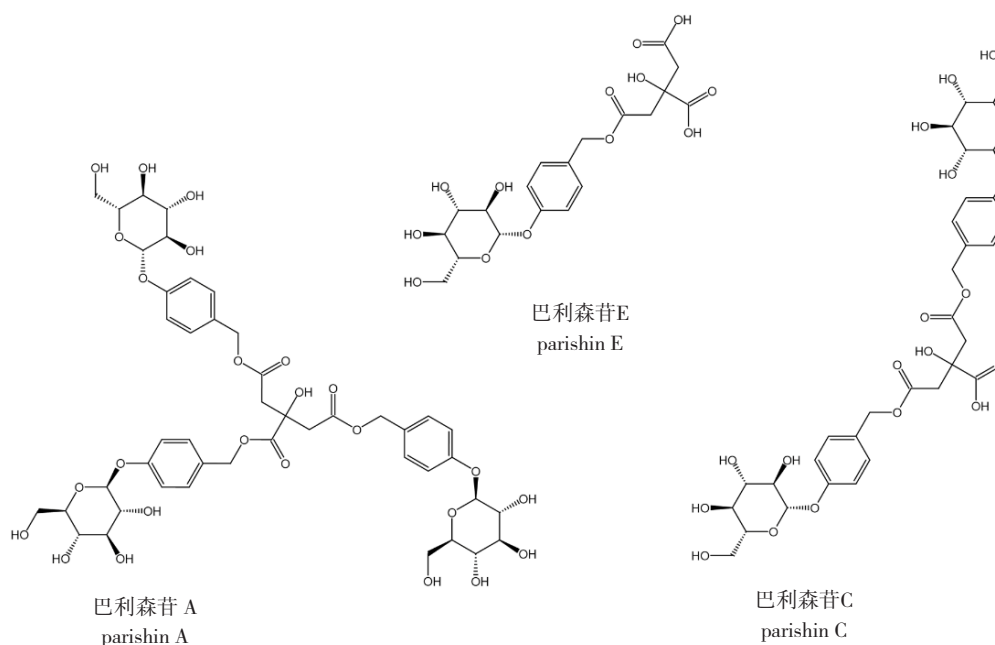
Figure 1. The common chemical structures of monobenzyl compounds in *Gastrodia elata* Bl.

图2 天麻中常见巴利森苷类化合物的化学结构

Figure 2. The common chemical structures of parishins in *Gastrodia elata* Bl.

法、核磁共振光谱等技术分离鉴定新的巴利森苷类化合物^[11-12]。

1.2 多糖

多糖是由 10 个以上单糖分子通过 α 或 β 糖苷键缩合而成的高分子聚合物。天麻多糖是天麻中含量最丰富的成分，主要由葡萄糖构成，并含有鼠李糖、半乳糖等单糖组分，如杂多糖 GE-I、GE-II、GE-III 及水溶性多糖 GBP-I、GBP-II 等。由于天麻多糖成分复杂，目前对其结构的研究较少。为了更好地探究天麻多糖的结构与功能，其提取与纯化技术一直是研究重点。在天麻的提取方法中，除了传统的水提醇沉法、超声提取法、酶法，还可以采用超声波辅助热水浸提法进一步

提高多糖提取率^[13]。但总体来看，天麻多糖的提取率仍未达到预期水平，因此可以参考其他多糖的提取方法进行优化。DEAE-52 阴离子交换柱层析、Sephadex G-100 凝胶柱层析和非对称流场流分离为目前常用的天麻多糖分离纯化方法。Guan 等^[14]通过 DEAE-52 阴离子交换柱层析和 Sephadex G-100 凝胶柱分离纯化，获得一种天麻多糖组分（命名为 GEP-1）。结构分析显示，GEP-1 以葡萄糖为主（92.04%），并含有少量半乳糖（4.79%）和阿拉伯糖（2.19%），其重均分子量测定为 76.444 kDa。GEP-1 具有细胞增殖和增强吞噬活性，有望成为一种价格低廉、无明显毒性的新型免疫刺激剂。因此，继续改良天麻多

糖分离纯化技术,将有利于对更多天麻多糖组分的结构和功能进行深入探究。

1.3 有机酸

有机酸为包含羧基(–COOH)的酸性化合物,天麻中的有机酸包含柠檬酸、草酸、苹果酸、棕榈酸、亚油酸、油酸、6-柠檬酸甲酯和1,5-柠檬酸二甲酯等。目前对天麻有机酸的研究较少,且以定量分析为主,多用气相色谱-质谱联用法^[15]和HPLC法^[16]对有机酸的含量进行测定。在未来的研究中,有必要对天麻有机酸的检测方法展开深度优化,并同步深入开展其提取与分析工作。

1.4 甾醇

甾醇是由3个己烷环和1个环戊烷缩合形成的一类环戊烷多氢菲衍生物,如 β -谷甾醇、3-O-(4'-羟基苄基)- β -谷甾醇、多科斯特罗等。 β -谷甾醇为天麻成分中研究较多的甾醇,毕荣璐等^[17]通过改良其HPLC提取方法,为深入研究该成分奠定了基础。目前,无论从文献数量还是研究深度来看,天麻中甾醇类成分的研究仍较为薄弱,亟待开展更为深入、系统的研究工作。

1.5 其他化学成分

在主要活性成分之外,天麻还含有多种其他化学成分,如4-乙氧基苯甲醇、4-甲氧基苯甲醇、苯甲醇、N6-(4-羟基苄基)腺嘌呤核苷、5-羟甲基糠醛等。这些物质含量虽微,但作为天麻化学组成的必要部分,其具体生物活性与潜在功能仍有待进一步阐明。

2 主要药理作用

天麻具有多种药理作用,如神经系统保护、心脏保护、骨骼保护、肝肾保护、血管调节作用、抗抑郁、抗肿瘤、抗衰老、镇痛、抗炎、抗氧化和抗癫痫等。

2.1 神经系统保护

天麻对神经保护和再生具有重要作用,其提取物和分离成分对神经的保护作用已得到广泛研究。在帕金森病患者中,富含亮氨酸的重复激酶2中过度活跃的G2019S突变蛋白能够刺激氧化应激反应,从而导致神经元变性和丢失^[18]。天麻的水提取物通过神经胶质细胞的核因子- κ B相关因子(nuclear factor-erythroid 2-related factor 2, Nrf2)/Mad信号传导,抑制G2019S蛋白的过度活化,并调节了小鼠大脑中的Smad2/3通路,阻

止G2019S突变引起的运动缺陷和神经元丢失,这为帕金森病治疗提供了思路^[19]。

除天麻提取物的神经保护特性外,天麻的化学成分天麻素、天麻多糖、3,4-二羟基苯甲醛等通过不同机制实现对神经系统的保护与功能再生,包括抗氧化、抗炎、抗细胞凋亡、调节肠道微生物群等。天麻素对于蛛网膜下腔出血^[20]、糖尿病^[21]、周围神经损伤^[22]、缺血性中风^[23]、阿尔兹海默症^[24]等各类疾病导致的神经系统损伤具有保护作用。蛛网膜下腔出血是一种脑出血性疾病,可严重损害大脑并导致认知障碍。天麻素可以通过调节microRNA-378e和肌细胞增强因子2D轴改善蛛网膜下腔出血导致的认知功能障碍和脑损伤,发挥脑保护作用^[20]。Wnt/ β -连环蛋白信号通路是天麻素起到神经保护作用的重要通路。天麻素通过调节Wnt/ β -连环蛋白信号通路改善小鼠的神经炎症,诱导小胶质细胞从M1向M2转化,并抑制细胞迁移和吞噬,从而发挥抗炎和抗增殖作用,有助于缓解小胶质细胞活化引发的神经炎症^[25]。此外,天麻素还可以通过该通路缓解小鼠铅诱导导致的神经退行性变、氧化应激、炎症和凋亡现象,缓解铅引起的行为缺陷^[26]。

多项研究证实了天麻多糖、3,4-二羟基苯甲醛和巴利森苷同样具有神经保护功能。天麻多糖通过抑制细胞凋亡和炎症信号通路,调节肠道微生物群,也具有一定的神经保护作用,能够减轻帕金森病症状^[27]。此外,其可以通过某些依赖于抑制内质网应激介导的途径抑制皮质酮诱导的PC12细胞凋亡,有助于治疗神经系统疾病^[28]。有研究发现,3,4-二羟基苯甲醛展现出的神经保护及抗炎作用机制在于其对小胶质细胞极化的选择性调控和对丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)、核因子 κ B(nuclear factor kappa-B, NF- κ B)激活的抑制,进而减少炎症介质与细胞因子生成。因此3,4-二羟基苯甲醛有望开发为缺血性中风及其他神经炎症性疾病的新药物^[29]。巴利森苷能够降低MAPK10的磷酸化水平来抑制神经细胞凋亡,并促进p38蛋白磷酸化以增强细胞增殖,调控磷酸化水平、减少乳酸脱氢酶释放以及细胞内活性氧的产生,从而起到神经保护的作用^[30]。

2.2 心脏保护

天麻对心脏和心肌损伤具有保护作用。天麻

保护心肌细胞的作用主要与天麻素有关。天麻素对心肌梗死、心肌肥大等多种心脏疾病具有重要的预防和治疗价值^[31]。当心肌细胞发生氧化应激损伤时,天麻素可以抑制线粒体通透性过渡孔的张开,减少细胞凋亡,从而防止氧化应激引起的细胞损伤^[32]。天麻素还可以通过调节凋亡相关信号蛋白和炎症细胞因子的表达水平,减少自噬,提高自噬体的清除率,进一步减少细胞凋亡,从而在心肌缺血再灌注损伤中发挥保护作用^[33]。糖尿病心肌病是糖尿病的主要并发症之一,天麻素可以通过激活糖原合成酶激酶-3 β 信号通路促进Nrf2的核易位,从而抵抗高糖诱导的心肌细胞毒性,减轻糖尿病心肌病^[34]。天麻素可以通过控制线粒体动力学、保持线粒体的结构和功能,增加三磷酸腺苷产量和正常线粒体的细胞百分比,保护H9c2心肌细胞免受氧化损伤^[35]。

天麻中巴利森苷类化合物对心脏保护也有保护作用。通过巴利森苷治疗可以延缓自然衰老小鼠的心脏衰老,改善心脏功能,缓解衰老诱导的心脏损伤、肥大和纤维化,降低心脏衰老生物标志物p16Ink4a、p21Cip1和白细胞介素(interleukin, IL)-6的含量,并增加了心脏组织中“长寿因子”sirtuins 1 (SIRT1)的表达^[36]。

2.3 骨骼保护

天麻素可以提高氟中毒大鼠的抗氧化能力,降低组织中氟浓度,调节凋亡调控基因B细胞淋巴瘤/白血病-2基因(B-cell lymphoma-2, Bcl-2)、Bcl-2相关X蛋白(Bcl-2 related X proteins, Bax)、天冬氨酸特异性的半胱氨酸蛋白水解酶(cysteiny aspartate specific proteinase, Caspase)-3和Caspase-9的表达,从而保护骨骼^[37]。此外,有研究表明天麻素可以通过抑制NF- κ B,降低炎症介质IL-6和肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor α , TNF- α)的释放,并降低IL-1 β 处理的软骨细胞中的基质分解代谢,阻止IL-1 β 诱导的软骨细胞凋亡^[38]。

2.4 肝肾保护

天麻对于非酒精性脂肪性肝损伤^[39]和酒精引起的肝损伤^[40]等均具有一定的改善作用。天麻多糖可以通过抑制内质网应激途径(如小鼠葡萄糖调节蛋白78、X-box结合蛋白1、生长停滞和DNA损伤诱导基因153、Caspase-9和Caspase-12)的激活来实现肝脏保护^[28]。此外,

天麻活性成分对羟基苄醇可以激活Nrf2/血红素加氧酶-1(heme oxygenase-1, HO-1)信号通路,并通过上调SIRT1/过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子-1 α 蛋白表达来抑制线粒体损伤,从而应用于非酒精性脂肪性肝病的治疗^[39]。天麻素能够呈剂量依赖性降低血清丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶活性及肝脏丙二醛含量,提升肝脏超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶活性。此外还能减轻酒精所致组织病理学改变,防止酒精诱导的细胞色素P450 2E1(cytochrome P450 2E1, CYP2E1)及多种炎症因子、信号通路相关分子的变化,还增加Nrf2向细胞核移位,增强抗氧化酶活性,从而改善小鼠肝损伤^[40]。

天麻的干燥根茎已被用于治疗临床肾脏疾病,其对肾损伤也有较好的保护作用。天麻素通过SIRT1/叉头框(forkhead box, FOX)O3A/谷胱甘肽过氧化物酶4(glutathione peroxidase 4, GPX4)信号通路抑制脱铁性贫血,从而减轻急性肾损伤,为中药抗急性肾损伤新药的开发提供了新的思路^[41]。天麻素通过AMP依赖的蛋白激酶/Nrf2/高迁移率族蛋白B1途径减轻四氯化碳诱导的肾脏炎症和纤维化,从而改善了小鼠肾脏损伤^[42]。

研究发现,对乙酰氨基酚的过量服用对肝脏和肾脏有损害作用^[43],而天麻对乙酰氨基酚引起的大鼠肝肾损伤具有保护作用。天麻可预防乙酰氨基酚诱导的肝肾损伤^[44]。经天麻处理后,大鼠肝肾组织坏死减少,促炎细胞因子表达减少,氧化应激标记物也减少,体内抗氧化酶增加,CYP2E1和N-乙酰- β -D-氨基葡萄糖苷酶表达下降。天麻素通过改善炎症反应和氧化应激,抑制细胞外调节蛋白激酶(extracellular regulated protein kinases, ERK)/c-Jun氨基末端激酶MAPK信号通路并激活Nrf2表达,从而缓解乙酰氨基酚诱导的肝毒性^[45]。

2.5 血管调节作用

天麻中的天麻素、巴利森苷E、柠檬酸、豆甾醇和对羟基苯甲醇对血管生成均有促进作用^[5]。血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)可促进血管生成和神经再生^[46],而天麻能够使脑缺血大鼠下丘脑室旁核中VEGF表达升高,从而促进血管生成^[47]。此外,天麻素可以通过上调miR-21,激活磷脂酰肌醇

激酶 (phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K) / 蛋白激酶 B (Akt) 信号通路, 进而促进人脐静脉内皮细胞血管生成^[48]。在叔丁基过氧化氢诱导的人脐静脉内皮细胞功能障碍模型中, 天麻素通过激活 Nrf2/HO-1 通路从而减弱细胞凋亡和细胞功能障碍促血管生成^[49]。因此, 天麻素可能作为一种潜在的药物加速伤口愈合。天麻对高血压病的治疗也有一定的效果。其能有效降低多种因素引起的高血压病, 包括原发性高血压病、老年顽固性高血压病和自发性高血压病。天麻素可改善肾性高血压模型大鼠血压, 其机制可能与降低组织自噬蛋白微管相关蛋白轻链 (microtubule associated protein light chain 3, LC3) 中 LC3-II/LC3-I 比值有关^[50], 而天麻中的乙酸乙酯可通过调节血管张力改善高血压病^[51]。

2.6 抗抑郁

抑郁症, 也被称为抑郁障碍, 是一种高发精神障碍心理疾病。天麻提取液可通过增加放线菌水平、调节肠道炎症和改变肠道中多种细菌群的相对丰度来改变肠道微生物群, 从而发挥抗抑郁功能^[52]。多项研究发现, 天麻主要通过天麻素^[53]、天麻多糖^[54]和巴利森苷 C^[55]等成分介导抗抑郁作用。例如天麻多糖可降低海马中细胞因子 TNF- α 和 IL-1 β 表达, 改善海马神经元功能, 从而改善脂多糖诱导的小鼠抑郁行为^[54]。这些发现表明, 天麻具有抗抑郁作用的潜质, 或可作为潜在的自然预防药物用于抑郁症的防治。

2.7 抗肿瘤

一系列研究证实, 天麻中多种活性成分, 如天麻多糖、天麻素和巴利森苷等, 对脑肿瘤^[56-58]、黑色素瘤^[59]、肝细胞癌^[60]、肺癌^[61]、结肠癌^[62-64]、乳腺癌^[65]、口腔鳞状细胞癌^[66]等均有一定的抑制作用。天麻多糖呈球形, 且结构较为致密, 该结构有利于诱导人乳腺癌 MCF-7 细胞晚期凋亡。此外, 天麻多糖在 S 期损伤 DNA, 使 MCF-7 保持在 G2/M 期, 从而抑制人乳腺癌 MCF-7 细胞的增殖, 延缓人乳腺癌的恶化^[65]。天麻素也具有一定的抗肿瘤作用, 其通过 Homeobox D10 (HOXD10) / 酰基辅酶 A 合酶 4 (acetyl-coa synthetase 4, ACSL4) 依赖性途径诱导铁死亡和抑制细胞增殖而发挥抗肿瘤剂的作用^[58]。天麻素可增加活性氧和过氧化脂质的水平, 并降低谷胱甘肽的水平, 从而诱导神经胶质

瘤细胞脱铁。Cao 等^[58]成功鉴定了 HOXD10 为天麻素的主要靶标, 发现天麻素给药后能显著增强胶质瘤细胞中 HOXD10 的表达, 促进 ACSL4 的合成, 对神经胶质瘤细胞的增殖表现出较强的抑制作用。Ma 等^[66]研究发现, 巴利森苷 A 通过 Akt/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mammalian target of rapamycin, mTOR) 信号通路, 一方面抑制 PI3K、Akt 和 mTOR 的磷酸化, 从而阻碍细胞增殖。另一方面, 其增加了 E-钙黏蛋白的表达, 降低了 N-钙黏蛋白和波形蛋白的表达, 从而抑制上皮-间质转化过程。在巴利森苷 A 的作用下, 肿瘤生长受到抑制且转移受限。因此, 巴利森苷 A 在治疗口腔鳞状细胞癌方面展现出潜在的药物价值。

2.8 抗衰老

以 5、20、50 mg/kg 的剂量持续 8 周给与小鼠口服天麻根瘤纯化组分 TM-2。结果显示, TM-2 能显著诱导海马神经突起生成, 促进神经元分化和成熟, 并通过调节 SH2B adaptor protein 1 (SH2B1) /Akt 通路, 有效延缓 D-半乳糖诱导小鼠的衰老进程。TM-2 中的抗衰活性物质主要为 N6-(4-羟基苄基)腺苷、巴利森苷 A 和巴利森苷 B^[67]。巴利森苷化合物可以使 Klotho/FOXO1 信号通路上的 Klotho 和 FOXO1 表达增加, 同时伴有磷酸化 FOXO1 下调, 以减轻血管内皮细胞的衰老和血管老化。此外, 巴利森苷能够改善衰老诱导的心脏损伤、肥大和纤维化, 降低心脏衰老生物标志物 p16Ink4a、p21Cip1 和 IL-6, 并增加心脏组织中 SIRT1 的表达^[68]。巴利森苷治疗减轻了心脏组织中与心脏衰老相关的 Gja1 下调以及 Cyp2e1、Ccna2、Cdca3、Fgf12 上调。巴利森苷的抗衰老作用与其对肠道微生物群和老年人肠道代谢的调节密切相关^[36]。

2.9 镇痛

天麻对神经性疼痛、糖尿病性神经痛等具有治疗作用。长春新碱作为一种广为人知的抗肿瘤药物, 经常引起神经性疼痛^[69], 而天麻多糖治疗恢复了长春新碱诱导的大鼠坐骨神经损伤, 减弱长春新碱引起的促炎性细胞因子 IL-6、IL-8、TNF- α 、IL-1 β 和 NF- κ B 水平的升高。在分子水平上, 天麻多糖能下调坐骨神经、脊髓和背根神经节中 IL-6、IL-8、TNF- α 和 IL-1 β 的 mRNA 水平, 增加沉寂信息调节因子 SIRT1 活性及 mRNA 表达水平^[70]。此外, 天麻素也可显著抑制长春新碱处

理后大鼠背根神经节神经元上 Nav1.7 和 Nav1.8 的过度表达,有助于减轻长春新碱诱导的外周神经性疼痛^[65]。天麻素对糖尿病小背根节神经元瞬时钠电流和钾电流均有影响,其能够通过降低伤害性初级感觉神经元的兴奋性,抑制疼痛糖尿病神经病变大鼠的异常性疼痛和痛觉过敏,从而缓解糖尿病性神经痛^[71]。

2.10 抗炎和抗氧化

天麻能够显著减弱类风湿性关节炎成纤维细胞样滑膜细胞中由促炎性细胞因子 TNF- α 诱导的 IL-6 和 IL-8 的产生,抑制基质金属蛋白酶 3 和基质金属蛋白酶 13 的表达,通过 NF- κ B 通路信号传导减弱炎症反应^[72]。此外,天麻正丁醇提取物可减轻炎症细胞浸润和滑膜增生,阻碍弗氏完全佐剂诱导大的大鼠血清中炎性细胞因子的产生,并抑制 p38 蛋白和 ERK 磷酸化的激活^[73]。天麻素也具有抗炎作用,可通过部分靶向微生物群-肠-脑轴和减轻神经元炎症来改善阿尔茨海默病造成的记忆障碍^[74]。天麻具有抑制白色念珠菌增殖和炎症反应,通过破坏细菌的细胞壁和细胞膜,引起细菌遗传物质泄漏,扰乱细菌代谢而发挥其抗菌活性,对念珠菌性外阴阴道炎的治疗具有潜在的应用价值^[75-76]。天麻素可减少过氧化氢诱导的乳酸脱氢酶释放和细胞死亡,降低细胞内丙二醛水平,减弱过氧化氢(H_2O_2)诱导的大鼠神经胶质瘤细胞系 C6 细胞铁浓缩,降低脂质活性氧类产生。天麻素增加了用 H_2O_2 处理的 C6 细胞中 Nrf2、GPX4、铁转运蛋白 1 和 HO-1 的蛋白质表达^[77]。铁死亡是一种由铁诱导脂质过氧化物积累所引起细胞程序性死亡的病症,其主要特征与临床上帕金森病人脑变化的分子生物学特征高度吻合。天麻素可通过抗氧化作用抑制 H_2O_2 诱导的 C6 细胞铁死亡,因此在帕金森病治疗中具有药用潜力。

2.11 抗癫痫和抗惊厥

天麻对多种癫痫模型如戊四氮致癫痫模型、氯化锂-匹罗卡品致癫痫模型诱发的惊厥性癫痫有显著抑制作用。天麻及其化合物可能通过调节 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)系统缓解惊厥性癫痫,例如通过抑制 GABA A 型受体的降解,以及 GABA 氨基转移酶和琥珀酸半醛脱氢酶的表达从而起到抗惊厥性癫痫的作用^[78]。在毛果芸香碱诱导的颞叶癫痫大鼠模型中,采用

天麻素处理能逆转癫痫状态大鼠的内嗅皮层神经元中 Nav1.6 蛋白的表达,揭示了天麻素抑制 Nav1.6 表达可能是抗惊厥作用的潜在机制^[79]。

2.12 其他药理作用

除上述功能外,天麻还具有抑制黑色素合成和控制肠道菌群的药理作用^[3]。其通过抑制小鼠黑色素瘤中酪氨酸酶活性以及小眼畸形相关转录因子、酪氨酸酶、Trp1 和 Trp2 的分子水平,从而抑制黑色素合成^[80]。GEP-1 是从天麻中分离纯化出的一种均一多糖。生物活性测试结果表明,GEP-1 能通过调节肠道微生物群,显著促进黏液阿克曼氏菌和副干酪乳杆菌的生长,从而对人体产生正向健康作用^[81]。此外,天麻可通过增加巨噬细胞中 I 型干扰素的产生,从而降低小鼠感染水疱性口炎病毒或单纯疱疹病毒 1 型的几率,这表明其具有抗病毒作用^[82]。

3 结语

天麻作为常用且名贵的中药材,拥有良好的药用价值,也具有广阔的开发利用前景。目前,天麻的药理作用已得到广泛研究,但要实现其更精准、高效的应用,仍面临巨大挑战。天麻的研究领域大多集中在地下块茎,而天麻地上部分资源丰富,却鲜有研究和开发利用。未来天麻地上部分药用开发利用可能会成为新的研究方向。目前,天麻化学成分的研究主要集中在天麻素、天麻多糖和巴利森苷类化合物,其他成分的研究较少。其中,天麻多糖分离难度大、化学结构鉴定复杂,故此类化合物的分离鉴定研究进展较为缓慢。因此,针对天麻中新化学成分的发现、结构鉴定及其药理活性,仍有待系统深入的研究。

未来需进一步加强对天麻各类活性成分的分离与鉴定工作,并深入阐释其药理作用机制,推进相关临床试验。目前,天麻多种化学成分的作用靶点和信号通路尚未完全明确,利用基因编辑技术、类脑器官模型等现代研究手段,在细胞、分子水平开展更精细的机制探索,将是未来的研究重点。总体而言,天麻未来的研究趋势将从宏观走向微观,从粗放走向精准,通过多学科交叉融合,深度解析其药效物质基础与作用机制,建立现代化的质量评价体系,并最终推动天麻的临床转化和产业升级。

参考文献

- 1 清·孙星衍,曹瑛,孙冯翼,辑.神农本草经[M].北京:中国医药科技出版社,2020:27.
- 2 食品安全标准与监测评估司.关于党参等9种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告(2023年第9号)[EB/OL].(2023-11-17)[2024-03-15].<https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202311/5b062dd13fe646198b56c7d76a99aab4.shtml>.
- 3 董欣,隋欣彤,胡力铭,等.米汤炮制天麻工艺的优化及抗炎作用[J].食品工业科技,2024,45(16):358-367.[Dong X, Sui XT, Hu LM, et al. Optimization of the processing with decoction of millet technology of *Gastrodia elata* and its anti-inflammatory efficacy[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 358-367.] DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090066.
- 4 吕伟.半夏白术天麻汤加减联合针灸治疗循环缺血性眩晕风痰上扰证的临床效果[J].临床合理用药,2024,17(16):54-57.[Lyu W. Clinical effect of modified Banxia Baishu Tianma decoction combined with acupuncture and moxibustion on the syndrome of wind and phlegm upward disturbance of ischemic vertigo in back circulation[J]. Chinese Journal of Clinical Rational Drug Use, 2024, 17(16): 54-57.] DOI: 10.15887/j.cnki.13-1389/r.2024.16.015.
- 5 Gong MQ, Lai FF, Chen JZ, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, applications, and quality control of *Gastrodia elata* Blume: a comprehensive review[J]. J Ethnopharmacol, 2024, 319(Pt 1): 117128. DOI: 10.1016/j.jep.2023.117128.
- 6 Zhou HB, Lu SZ, Yu ZS, et al. Mechanisms for the biological activity of *Gastrodia elata* Blume and its constituents: a comprehensive review on sedative-hypnotic, and antidepressant properties[J]. Phytomedicine, 2024, 123: 155251. DOI: 10.1016/j.phymed.2023.155251.
- 7 Heese K. *Gastrodia elata* Blume (Tianma): hope for brain aging and dementia[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2020, 2020: 8870148. DOI: 10.1155/2020/8870148.
- 8 刘星塔,杨毅.中药天麻成分的研究I.香荚兰醇的提取与鉴定[J].上海第一医学院学报,1958,(S1):67-68.[Liu XX, Yang Y. Studies on the components of Chinese materia medica, *Gastrodia elata* Blume.I. Isolation and identification of vanillyl alcohol[J]. Acta Academiae Medicinae Primae Shanghai, 1958, (S1): 67-68.] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotals-HYK1958S1017.htm>.
- 9 中国药典2025年版.一部[S].2025:61-62.
- 10 Taguchi H, Yosioka I, Yamasaki K, et al. Studies on the constituents of *Gastrodia elata* Blume[J]. Chem Pharm Bull, 1981, 29(1): 55-62. DOI: 10.1248/cpb.29.55.
- 11 Kim DW, Kim JK, Gebu YA, et al. Identification of novel parishin compounds from the twig of *Maclura tricuspidata* and comparative analysis of parishin derivatives in different parts[J]. Molecules, 2023, 28(1): 7. DOI: 10.3390/molecules28010007.
- 12 Zhou J, Chen JQ, Gong SL, et al. Isolation, bioactivity, and molecular docking of a rare gastrodin isocitrate and diverse parishin derivatives from *Gastrodia elata* Blume[J]. ACS Omega, 2024, 9(12): 14520-14529. DOI: 10.1021/acsomega.4c00436.
- 13 张双奇,刘琳,何念武,等.超声辅助提取陕产天麻多糖的工艺优化及抗氧化活性研究[J].中国农学通报,2021,37(9):131-136.[Zhang SQ, Liu L, He NW, et al. *Gastrodia elata* polysaccharide from Shaanxi by ultrasound-assisted hot water extraction: process optimization and antioxidant activity[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(9): 131-136.] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotals-ZNTB202109019.htm>.
- 14 Guan H, Ling X, Xu J, et al. Structural characterization of polysaccharide derived from *Gastrodia elata* and its immunostimulatory effect on RAW264.7 cells[J]. Molecules, 2022, 27(22): 8059. DOI: 10.3390/molecules27228059.
- 15 杨式华,刘祥义,徐济仓,等.GC-MS法同时测定天麻6种非挥发性有机酸[J].贵州农业科学,2019,47(11):125-128.[Yang SH, Liu XY, Xu JC, et al. Simultaneous determination of six non-volatile organic acids in *Gastrodia elata* by GC-MS[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(11): 125-128.] DOI: 10.3969/j.issn.1001-3601.2019.11.026.
- 16 李永莲,刘文锋,阳元娥,等.西藏栽培天麻和野生天麻中天麻素和柠檬酸的含量测定[J].顺德职业技术学院学报,2016,14(3):23-27.[Li YL, Liu WF, Yang YE, et al. Determination of gastrodin and citric acid derived from different cultivation of *Gastrodia elata* in Tibet[J]. Journal of Shunde Polytechnic, 2016, 14(3): 23-27.] DOI: 10.3969/j.issn.1672-6138.2016.03.005.
- 17 毕荣璐,孙荣飞,李德勋,等.HPLC法测定不同产地天麻中的 β -谷甾醇含量[J].西部林业科学,2014,43(6):116-119.[Bi RL, Sun RF, Li DX, et al. Determination of β -sitosterol in *Gastrodia elata* by HPLC from different origin[J]. Journal of West China Forestry Science, 2014, 43(6): 116-119.] DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2014.06.030.
- 18 Angeles DC, Gan BH, Onstead L, et al. Mutations in LRRK2 increase phosphorylation of peroxiredoxin 3 exacerbating oxidative stress-induced neuronal death[J]. Hum Mutat, 2011, 32(12): 1390-1397. DOI: 10.1002/humu.21582.
- 19 Lin YE, Lin CH, Ho EP, et al. Glial Nrf2 signaling mediates the neuroprotection exerted by *Gastrodia elata* Blume in Lrrk2-G2019S Parkinson's disease[J]. Elife, 2021, 10: e73753. DOI: 10.7554/eLife.73753.
- 20 Hao YG, Chen C, Ding H. Modulation of the microRNA-378e/myocyte enhancer factor 2D axis by gastrodin in preventing cognitive dysfunction post-subarachnoid haemorrhage[J]. J Physiol Pharmacol, 2024, 75(6): 619-635. DOI: 10.26402/jpp.2024.6.04.
- 21 Ye T, Meng X, Zhai Y, et al. Gastrodin ameliorates cognitive dysfunction in diabetes rat model via the suppression of endoplasmic reticulum stress and NLRP3 inflammasome activation[J]. Front Pharmacol, 2018, 9: 1346. DOI: 10.3389/fphar.2018.01346.
- 22 Li YG, Wang XW, Yan HC, et al. Gastrodin promotes the regeneration of peripheral nerves by regulating miR-497/BDNF axis[J]. BMC Complement Med Ther, 2022, 22(1): 45. DOI: 10.1186/s12906-021-03483-z.
- 23 Gong C, Fu X, Ma Q, et al. Gastrodin: modulating the xCT/GPX4 and ACSL4/LPCAT3 pathways to inhibit ferroptosis after ischemic

- stroke[J]. *Phytomedicine*, 2025, 136: 156331. DOI: [10.1016/j.phymed.2024.156331](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.156331).
- 24 Wang W, Wang Y, Wang F, et al. Gastrodin regulates the TLR4/ TRAF6/NF- κ B pathway to reduce neuroinflammation and microglial activation in an AD model[J]. *Phytomedicine*, 2024, 128: 155518. DOI: [10.1016/j.phymed.2024.155518](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155518).
 - 25 Yao YY, Bian LG, Yang P, et al. Gastrodin attenuates proliferation and inflammatory responses in activated microglia through Wnt/ β -catenin signaling pathway[J]. *Brain Res*. 2019, 1717: 190–203. DOI: [10.1016/j.brainres.2019.04.025](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.04.025).
 - 26 Liu CM, Tian ZK, Zhang YJ, et al. Effects of gastrodin against lead-induced brain injury in mice associated with the Wnt/ Nrf2 pathway[J]. *Nutrients*, 2020, 12(6): 1805. DOI: [10.3390/nu12061805](https://doi.org/10.3390/nu12061805).
 - 27 Gan QX, Peng MY, Wei HB, et al. *Gastrodia elata* polysaccharide alleviates Parkinson's disease via inhibiting apoptotic and inflammatory signaling pathways and modulating the gut microbiota[J]. *Food Funct*, 2024, 15(6): 2920–2938. DOI: [10.1039/d3fo5169b](https://doi.org/10.1039/d3fo5169b).
 - 28 Zhou B, Tan J, Zhang C, et al. Neuroprotective effect of polysaccharides from *Gastrodia elata* Blume against corticosterone-induced apoptosis in PC12 cells via inhibition of the endoplasmic reticulum stress-mediated pathway[J]. *Mol Med Rep*, 2018, 17(1): 1182–1190. DOI: [10.3892/mmr.2017.7948](https://doi.org/10.3892/mmr.2017.7948).
 - 29 Li X, Xiang B, Shen T, et al. Anti-neuroinflammatory effect of 3,4-dihydroxybenzaldehyde in ischemic stroke[J]. *Int Immunopharmacol*, 2020, 82: 106353. DOI: [10.1016/j.intimp.2020.106353](https://doi.org/10.1016/j.intimp.2020.106353).
 - 30 陈卫. 天麻提取物在 PC12 细胞缺氧缺糖损伤中的作用及其机制研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2022. <https://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10532-1023656454.htm>.
 - 31 Wang Y, Bai M, Wang X, et al. Gastrodin: a comprehensive pharmacological review[J]. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*, 2024, 397(6): 3781–3802. DOI: [10.1007/s00210-023-02920-9](https://doi.org/10.1007/s00210-023-02920-9).
 - 32 韩学超, 徐菁蔓, 徐森, 等. 线粒体通透性转换孔在天麻素抗心肌细胞氧化应激损伤中的作用 [J]. *南方医科大学学报*, 2018, 38(11): 1306–1311. [Han XC, Xu JM, Xu S, et al. Role of mitochondrial permeability transition pore in mediating the inhibitory effect of gastrodin on oxidative stress in cardiac myocytes *in vitro* [J]. *Journal of Southern Medical University*, 2018, 38(11): 1306–1311.] DOI: [10.12122/j.jissn.1673-4254.2018.11.05](https://doi.org/10.12122/j.jissn.1673-4254.2018.11.05).
 - 33 Han X, Shi H, Liu K, et al. Protective effect of gastrodin on myocardial ischemia-reperfusion injury and the expression of Bax and Bcl-2[J]. *Exp Ther Med*, 2019, 17(6): 4389–4394. DOI: [10.3892/etm.2019.7512](https://doi.org/10.3892/etm.2019.7512).
 - 34 Dong Z, Bian L, Wang YL, et al. Gastrodin protects against high glucose-induced cardiomyocyte toxicity via GSK-3 β -mediated nuclear translocation of Nrf2[J]. *Hum Exp Toxicol*, 2021, 40(9): 1584–1597. DOI: [10.1177/09603271211002885](https://doi.org/10.1177/09603271211002885).
 - 35 Cheng QQ, Wan YW, Yang WM, et al. Gastrodin protects H9c2 cardiomyocytes against oxidative injury by ameliorating imbalanced mitochondrial dynamics and mitochondrial dysfunction[J]. *Acta Pharmacol Sin*, 2020, 41(10): 1314–1327. DOI: [10.1038/s41401-020-0382-x](https://doi.org/10.1038/s41401-020-0382-x).
 - 36 Zhou S, Zhao X, Wu L, et al. Parishin treatment alleviates cardiac aging in naturally aged mice[J]. *Heliyon*, 2023, 9(12): e22970. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e22970](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22970).
 - 37 Zheng BW, Shi CL, Muhammed FK, et al. Gastrodin alleviates bone damage by modulating protein expression and tissue redox state[J]. *FEBS Open Bio*, 2020, 10(11): 2404–2416. DOI: [10.1002/2211-5463.12991](https://doi.org/10.1002/2211-5463.12991).
 - 38 Chen J, Gu YT, Xie JJ, et al. Gastrodin reduces IL-1 β -induced apoptosis, inflammation, and matrix catabolism in osteoarthritis chondrocytes and attenuates rat cartilage degeneration *in vivo* [J]. *Biomed Pharmacother*, 2018, 97: 642–651. DOI: [10.1016/j.biopha.2017.10.067](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.067).
 - 39 An J, Cheng LJ, Yang LP, et al. P-hydroxybenzyl alcohol alleviates oxidative stress in a nonalcoholic fatty liver disease larval zebrafish model and a BRL-3A hepatocyte via the Nrf2 pathway[J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 646239. DOI: [10.3389/fphar.2021.646239](https://doi.org/10.3389/fphar.2021.646239).
 - 40 Li XX, Jiang ZH, Zhou B, et al. Hepatoprotective effect of gastrodin against alcohol-induced liver injury in mice[J]. *J Physiol Biochem*, 2019, 75(1): 29–37. DOI: [10.1007/s13105-018-0647-8](https://doi.org/10.1007/s13105-018-0647-8).
 - 41 Qiu CW, Chen B, Zhu HF, et al. Gastrodin alleviates cisplatin nephrotoxicity by inhibiting ferroptosis via the SIRT1/FOXO3A/ GPX4 signaling pathway[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 319(Pt 3): 117282. DOI: [10.1016/j.jep.2023.117282](https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117282).
 - 42 Ma JQ, Sun YZ, Ming QL, et al. Effects of gastrodin against carbon tetrachloride induced kidney inflammation and fibrosis in mice associated with the AMPK/Nrf2/HMGB1 pathway[J]. *Food Funct*, 2020, 11(5): 4615–4624. DOI: [10.1039/d0fo00711k](https://doi.org/10.1039/d0fo00711k).
 - 43 Mazer M, Perrone J. Acetaminophen-induced nephrotoxicity: pathophysiology, clinical manifestations, and management[J]. *J Med Toxicol*, 2008, 4(1): 2–6. DOI: [10.1007/bf03160941](https://doi.org/10.1007/bf03160941).
 - 44 Seok PR, Kim JH, Kwon HR, et al. Protective effects of *Gastrodia elata* Blume on acetaminophen-induced liver and kidney toxicity in rats[J]. *Food Sci Biotechnol*, 2018, 27(5): 1445–1454. DOI: [10.1007/s10068-018-0374-5](https://doi.org/10.1007/s10068-018-0374-5).
 - 45 Liao CC, Yu HP, Chou AH, et al. Gastrodin alleviates acetaminophen-induced liver injury in a mouse model through inhibiting MAPK and enhancing Nrf2 pathways[J]. *Inflammation*, 2022, 45(4): 1450–1462. DOI: [10.1007/s10753-021-01557-1](https://doi.org/10.1007/s10753-021-01557-1).
 - 46 Shimotake J, Derugin N, Wendland M, et al. Vascular endothelial growth factor receptor-2 inhibition promotes cell death and limits endothelial cell proliferation in a neonatal rodent model of stroke[J]. *Stroke*, 2010, 41(2): 343–349. DOI: [10.1161/strokeaha.109.564229](https://doi.org/10.1161/strokeaha.109.564229).
 - 47 刘敏, 缪化春, 李怀斌, 等. 针药结合对脑缺血大鼠下丘脑旁核脑源性神经营养因子和血管内皮生长因子表达的影响 [J]. *针刺研究*, 2016, 41(2): 119–123. [Liu M, Miao HC, Li HB, et al. Effect of electroacupuncture combined with polysaccharide of *Gastrodia elata* Blume on expression of brain derived neurotrophic factor and vascular endothelial growth factor in the paraventricular nucleus of

- hypothalamus in cerebral ischemia rat[J]. *Acupuncture Research*, 2016, 41(2): 119–123. DOI: [10.13702/j.1000-0607.2016.02.005](https://doi.org/10.13702/j.1000-0607.2016.02.005).
- 48 Wang JL, Wu MH. The up-regulation of miR-21 by gastrodin to promote the angiogenesis ability of human umbilical vein endothelial cells by activating the signaling pathway of PI3K/Akt[J]. *Bioengineered*, 2021, 12(1): 5402–5410. DOI: [10.1080/21655979.2021.1964895](https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1964895).
- 49 Lin JL, Shi YF, Miao JS, et al. Gastrodin alleviates oxidative stress-induced apoptosis and cellular dysfunction in human umbilical vein endothelial cells via the nuclear factor-erythroid 2-related factor 2/heme oxygenase-1 pathway and accelerates wound healing *in vivo*[J]. *Front Pharmacol*, 2019, 10: 1273. DOI: [10.3389/fphar.2019.01273](https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01273).
- 50 司丽芳, 赵天智, 宋毓民, 等. 天麻素可能通过抑制自噬信号改善大鼠肾性高血压 [J]. *中国药理学与毒理学杂志*, 2024, 38(5): 369–374. [Si LF, Zhao TZ, Song YM, et al. Gastrodin improves renal hypertension in rats possibly by inhibiting autophagy signals[J]. *Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2024, 38(5): 369–374.] DOI: [10.3867/j.issn.1000-3002.2024.05.006](https://doi.org/10.3867/j.issn.1000-3002.2024.05.006).
- 51 Dai R, Wang T, Si XQ, et al. Vasodilatory effects and underlying mechanisms of the ethyl acetate extracts from *Gastrodia elata*[J]. *Can J Physiol Pharmacol*, 2017, 95(5): 564–571. DOI: [10.1139/cjpp-2016-0407](https://doi.org/10.1139/cjpp-2016-0407).
- 52 Huang YJ, Choong LXC, Panyod S, et al. *Gastrodia elata* Blume water extract modulates neurotransmitters and alters the gut microbiota in a mild social defeat stress-induced depression mouse model[J]. *Phytother Res*, 2021, 35(9): 5133–5142. DOI: [10.1002/ptr.7091](https://doi.org/10.1002/ptr.7091).
- 53 Ye T, Meng X, Wang R, et al. Gastrodin alleviates cognitive dysfunction and depressive-like behaviors by inhibiting ER stress and NLRP3 inflammasome activation in db/db mice[J]. *Int J Mol Sci*, 2018, 19(12): 3977. DOI: [10.3390/ijms19123977](https://doi.org/10.3390/ijms19123977).
- 54 刘萌萌, 张伊, 张耀元, 等. 天麻多糖对脂多糖诱导抑郁小鼠的作用及机制研究 [J]. *中国药师*, 2021, 24(11): 2018–2023. [Liu M, Zhang Y, Zhang Y, et al. Effects and potential mechanisms of *Gastrodia elata* polysaccharides in LPS-induced depression model mice[J]. *China Pharmacist*, 2021, 24(11): 2018–2023.] DOI: [10.19962/j.cnki.issn1008-049X.2021.11.011](https://doi.org/10.19962/j.cnki.issn1008-049X.2021.11.011).
- 55 Jiang N, Yao C, Zhang Y, et al. Antidepressant effects of parishin C in chronic social defeat stress-induced depressive mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 325: 117891. DOI: [10.1016/j.jep.2024.117891](https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117891).
- 56 Lee YS, Ha JH, Yong CS, et al. Inhibitory effects of constituents of *Gastrodia elata* Bl. on glutamate-induced apoptosis in IMR-32 human neuroblastoma cells[J]. *Arch Pharm Res*, 1999, 22(4): 404–409. DOI: [10.1007/BF02979066](https://doi.org/10.1007/BF02979066).
- 57 Liang WZ, Jan CR, Hsu SS. Cytotoxic effects of gastrodin extracted from the rhizome of *Gastrodia elata* Blume in glioblastoma cells, but not in normal astrocytes, via the induction of oxidative stress-associated apoptosis that involved cell cycle arrest and p53 activation[J]. *Food Chem Toxicol*, 2017, 107: 280–292. DOI: [10.1016/j.fct.2017.07.013](https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.07.013).
- 58 Cao W, Lan J, Zeng Z, et al. Gastrodin induces ferroptosis of glioma cells via upregulation of homeobox D10[J]. *Molecules*, 2023, 28(24): 8062. DOI: [10.3390/molecules28248062](https://doi.org/10.3390/molecules28248062).
- 59 Kim HJ, Lee JH, Shin MK, et al. Inhibitory effect of *Gastrodia elata* extract on melanogenesis in HM3KO melanoma cells[J]. *J Cosmet Sci*, 2013, 64(2): 89–98. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23578832/>.
- 60 Shu G, Yang T, Wang C, et al. Gastrodin stimulates anticancer immune response and represses transplanted H22 hepatic ascitic tumor cell growth: involvement of NF- κ B signaling activation in CD4⁺ T cells[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2013, 269(3): 270–279. DOI: [10.1016/j.taap.2013.02.019](https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.02.019).
- 61 Yoon T, Kang GY, Han AR, et al. 2,4-Bis (4-hydroxybenzyl) phenol inhibits heat shock transcription factor 1 and sensitizes lung cancer cells to conventional anticancer modalities[J]. *J Nat Prod*, 2014, 77(5): 1123–1129. DOI: [10.1021/np4009333](https://doi.org/10.1021/np4009333).
- 62 Kim NH, Xin MJ, Cha JY, et al. Antitumor and immunomodulatory effect of *Gastrodia elata* on colon cancer *in vitro* and *in vivo*[J]. *Am J Chin Med*, 2017, 45(2): 319–335. DOI: [10.1142/S0192415X17500203](https://doi.org/10.1142/S0192415X17500203).
- 63 Yu Z, Yue B, Gao R, et al. Gastrodin attenuates colitis and prevents tumorigenesis in mice by interrupting TLR4/MD2/NF- κ B signaling transduction[J]. *Anticancer Agents Med Chem*, 2024, 24(11): 853–866. DOI: [10.2174/0118715206286233240328045215](https://doi.org/10.2174/0118715206286233240328045215).
- 64 Li J, Jia J, Teng Y, et al. Gastrodin alleviates DSS-induced colitis in mice through strengthening intestinal barrier and modulating gut microbiota[J]. *Foods*, 2024, 13(15): 2460. DOI: [10.3390/foods13152460](https://doi.org/10.3390/foods13152460).
- 65 Dai SS, Zhang WH, Dou YW, et al. Towards a better understanding of the relationships between the structure and antitumor activity of *Gastrodia elata* polysaccharides by asymmetrical flow field-flow fractionation[J]. *Food Res Int*, 2021, 149: 110673. DOI: [10.1016/j.foodres.2021.110673](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110673).
- 66 Ma L, Liu Z, Kim E, et al. Parishin A inhibits oral squamous cell carcinoma via the AKT/mTOR signaling pathway[J]. *Pharmaceuticals*, 2024, 17(10): 1277. DOI: [10.3390/ph17101277](https://doi.org/10.3390/ph17101277).
- 67 Hsu WH, Huang NK, Shiao YJ, et al. *Gastrodia* rhizoma attenuates brain aging via promoting neuritogenesis and neurodifferentiation[J]. *Phytomedicine*, 2021, 87: 153576. DOI: [10.1016/j.phymed.2021.153576](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153576).
- 68 Zhao XX, Zhou SX, Liu Y, et al. Parishin alleviates vascular ageing in mice by upregulation of Klotho[J]. *J Cell Mol Med*, 2023, 27(10): 1398–1409. DOI: [10.1111/jcmm.17740](https://doi.org/10.1111/jcmm.17740).
- 69 Nascimento OJM, Pessoa BL, Orsini M, et al. Neuropathic pain treatment: still a challenge[J]. *Neurol Int*, 2016, 8(2): 6322. DOI: [10.4081/ni.2016.6322](https://doi.org/10.4081/ni.2016.6322).
- 70 Xie HT, Chen YY, Wu W, et al. *Gastrodia elata* Blume polysaccharides attenuate vincristine-evoked neuropathic pain through the inhibition of neuroinflammation[J]. *Mediators Inflamm*, 2021, 2021: 9965081. DOI: [10.1155/2021/9965081](https://doi.org/10.1155/2021/9965081).
- 71 Sun W, Miao B, Wang XC, et al. Gastrodin inhibits allodynia and hyperalgesia in painful diabetic neuropathy rats by decreasing

- excitability of nociceptive primary sensory neurons[J]. PLoS One. 2012, 7(6): e39647. DOI: [10.1371/journal.pone.0039647](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039647).
- 72 Li Y, Wang LM, Xu JZ, et al. *Gastrodia elata* attenuates inflammatory response by inhibiting the NF- κ B pathway in rheumatoid arthritis fibroblast-like synoviocytes[J]. Biomed Pharmacother, 2017, 85: 177–181. DOI: [10.1016/j.biopha.2016.11.136](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.11.136).
 - 73 He P, Hu YW, Huang CZ, et al. *N*-butanol extract of *Gastrodia elata* suppresses inflammatory responses in lipopolysaccharide-stimulated macrophages and complete freund's adjuvant- (CFA-) induced arthritis rats via inhibition of MAPK signaling pathway[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2020, 2020: 1658618. DOI: [10.1155/2020/1658618](https://doi.org/10.1155/2020/1658618).
 - 74 Fasina OB, Wang JY, Mo JX, et al. Gastrodin from *Gastrodia elata* enhances cognitive function and neuroprotection of AD mice via the regulation of gut microbiota composition and inhibition of neuron inflammation[J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 814271. DOI: [10.3389/fphar.2022.814271](https://doi.org/10.3389/fphar.2022.814271).
 - 75 Cai XY, Kong FG, Wang RC, et al. *Candida albicans* vaginitis in a murine model is reduced by polypeptide-enriched *Gastrodia elata* extracts[J]. Future Microbiol, 2019, 14(10): 839–846. DOI: [10.2217/fmb-2018-0299](https://doi.org/10.2217/fmb-2018-0299).
 - 76 Kong F, Cai XY, Zhai SY, et al. Possible mechanisms of the antimicrobial effects of polypeptide-enriched *Gastrodia elata* Blume extracts[J]. Mol Med Rep, 2019, 20(5): 4723–4730. DOI: [10.3892/mmr.2019.10706](https://doi.org/10.3892/mmr.2019.10706).
 - 77 Jiang T, Chu J, Chen HJT, et al. Gastrodin inhibits H₂O₂-induced ferroptosis through its antioxidative effect in rat glioma cell line C6[J]. Biol Pharm Bull, 2020, 43(3): 480–487. DOI: [10.1248/bpb.b19-00824](https://doi.org/10.1248/bpb.b19-00824).
 - 78 Su Z, Yang Y, Chen S, et al. The processing methods, phytochemistry and pharmacology of *Gastrodia elata* Bl.: a comprehensive review[J]. J Ethnopharmacol, 2023, 314: 116467. DOI: [10.1016/j.jep.2023.116467](https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116467).
 - 79 Shao H, Yang Y, Qi AP, et al. Gastrodin reduces the severity of status epilepticus in the rat pilocarpine model of temporal lobe epilepsy by inhibiting Nav1.6 sodium currents[J]. Neurochem Res, 2017, 42(2): 360–374. DOI: [10.1007/s11064-016-2079-6](https://doi.org/10.1007/s11064-016-2079-6).
 - 80 Shim E, Song E, Choi KS, et al. Inhibitory effect of *Gastrodia elata* Blume extract on alpha-melanocyte stimulating hormone-induced melanogenesis in murine B16F10 melanoma[J]. Nutr Res Pract, 2017, 11(3): 173–179. DOI: [10.4162/nrp.2017.11.3.173](https://doi.org/10.4162/nrp.2017.11.3.173).
 - 81 Huo JY, Lei M, Li FF, et al. Structural characterization of a polysaccharide from *Gastrodia elata* and its bioactivity on gut microbiota[J]. Molecules, 2021, 26(15): 4443. DOI: [10.3390/molecules26154443](https://doi.org/10.3390/molecules26154443).
 - 82 Zhou YL, Li MY, Lyu TY, et al. Gastrodin inhibits virus infection by promoting the production of type I interferon[J]. Front Pharmacol, 2021, 11: 608707. DOI: [10.3389/fphar.2020.608707](https://doi.org/10.3389/fphar.2020.608707).

收稿日期: 2024 年 12 月 26 日 修回日期: 2025 年 12 月 16 日
 本文编辑: 钟巧妮 李 阳