

天麻中巴利森类物质的化学、药理和体内外代谢研究进展

吴克红^{1,2}, 谢颖^{1,2}, 曹皇亮^{1,2}, 瞿领航^{1,2,3*}, 刘艳菊^{1,2,3*}

1. 湖北中医药大学药学院, 湖北 武汉 430065

2. 湖北省中药炮制工程技术研究中心, 湖北 武汉 430065

3. 湖北时珍实验室, 湖北 武汉 430065

摘要: 巴利森类物质是天麻 *Gastrodiae Rhizoma* 的主要有效成分, 属于多酚类或多酚苷类的柠檬酸酯化合物, 具有保护神经、改善记忆、保护心肌、抗衰老、抗炎、抗肿瘤等药理作用。随着化学分离、分析手段的不断创新, 现代科学技术与药理学方法应用于天麻中巴利森类物质的研究, 目前已有 39 种巴利森类化学成分被相继发现并深入研究。巴利森类化合物的化学结构中含有酯键和糖苷键, 化学性质不稳定, 容易受温度、pH 值、酶和辅料等因素影响, 在体内、外均可被分解为天麻素和对羟基苯甲醇等小分子成分。巴利森类物质和天麻素均是天麻的活性成分, 具有密切的内在联系。基于巴利森类化合物的化学特殊性、药效的独特性, 通过查阅国内外文献, 对天麻中巴利森类物质的化学结构、药理作用、体内外代谢相关研究进行总结, 为巴利森类物质开发应用研究及挖掘天麻药用和食用价值提供较为全面的文献支撑。

关键词: 天麻; 巴利森; 柠檬酸酯; 代谢; 神经保护; 天麻素

中图分类号: R285 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2025)13-4841-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.13.027

Research progress on chemical, pharmacological and *in vivo* or *vitro* metabolism of parishins from *Gastrodiae Rhizoma*

WU Kehong^{1,2}, XIE Ying^{1,2}, CAO Huangliang^{1,2}, QU Linghang^{1,2,3}, LIU Yanju^{1,2,3}

1. School of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China

2. Hubei Processing Engineering and Technology Center of Traditional Chinese Medicine, Wuhan 430065, China

3. Hubei Shizhen Laboratory, Wuhan 430065, China

Abstract: Parishins compounds are the primary active constituents in Tianma (*Gastrodiae Rhizoma*), belonging to citric acid ester compounds of polyphenols or polyphenol glycosides. They exhibit a wide range of pharmacological effects, including neuroprotection, memory enhancement, myocardial protection, anti-aging, anti-inflammatory, and antitumor activities. The continuous innovation of separation and analytical techniques, as well as the application of modern scientific technologies and pharmacological methods are used for the chemical and pharmacological research of parishins in *Gastrodiae Rhizoma*. 39 kinds of parishins chemical compounds have been discovered and deeply studied to date. Due to their inherent chemical structural characteristics (containing ester and glycosidic bonds), parishins substances are chemically unstable and susceptible to degradation influenced by factors such as temperature, pH, enzymes, and excipients. They can be decomposed into smaller molecules such as gastrodin and *p*-hydroxybenzyl alcohol both *in vivo* and *in vitro*. Both parishins and gastrodin are the primary active components of *Gastrodiae Rhizoma*, sharing a close intrinsic relationship. This article reviews domestic and international literature on parishins substances in *Gastrodiae Rhizoma*, summarizing their chemical structures, pharmacological effects, and research progress on their metabolism *in vivo* and *in vitro*. The aim is to provide comprehensive literature support for the study of parishin-like substances and to explore the medicinal and edible value of *Gastrodiae Rhizoma*.

Key words: *Gastrodiae Rhizoma*; parishins; citric acid ester; metabolism; neuroprotection effect; gastrodin

收稿日期: 2025-03-10

基金项目: 湖北省中央引导地方科技发展专项 (2020ZYD030)

作者简介: 吴克红, 博士研究生, 研究方向为中药炮制工艺、质量控制及原理。E-mail: wukehong2014@163.com

*通信作者: 刘艳菊, 教授, 博士生导师, 从事中药饮片炮制工艺、质量控制及原理研究。E-mail: lyj1965954@sohu.com

瞿领航, 副教授, 硕士生导师, 从事中药饮片炮制工艺、质量控制及原理研究。E-mail: linghu06@hbucom.edu.cn

天麻是一味药食同源的传统名贵中药,始载于《神农本草经》,具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络的作用,临床上常用于治疗肝风内动、惊痫抽搐、头痛眩晕、肢体麻木等^[1]。天麻的化学成分主要包括多酚类、有机酸类、多糖类及核苷酸类^[2-3],其中巴利森类物质和天麻素是其主要的活性成分^[4]。天麻一般需要蒸制加工,在蒸制、干燥过程中其化学成分发生明显变化^[5-7],加工后的天麻饮片中巴利森类(parishins)成分总量远高于天麻素和对羟基苯甲醇的含量之和^[8-9]。巴利森苷类化合物作为天麻中的主要活性成分,近年来受到学者广泛关注,在天麻中含量较高,且具有多种药理活性,如改善记忆、抗衰老、抗肿瘤等,显示出广泛的药理作用和应用前景。

巴利森类成分具有复杂的化学结构,包括苷类和非苷类成分,通常由一分子柠檬酸与多分子天麻素基团缩合而成,属于多酚或多酚苷类化合物。由于其化学结构多样性和复杂性,巴利森类化合物的分离、纯化和鉴定具有较高的化学研究价值。通过对其化学结构的深入研究,可以为天然产物的化学修饰和新药开发提供理论依据。巴利森类物质的化学结构含有糖苷键和/或酯键,具有化学性质不稳定的特点。在加工炮制过程中,巴利森类物质与天麻素之间相互转化^[6-7]。因此,研究巴利森类化合物的稳定性及其在不同条件下的变化规律,对于优化天麻的炮制工艺、提高药材质量具有重要意义。巴利森苷在体内也可以转化为天麻素,且其药动学特性与直接服用天麻素有所不同^[10]。由于体内转化关系,天麻素在体内的有效浓度可维持更长时间,作用时间延长,从而增强其药效^[11]。因此,为了深入了解巴利森类物质的化学特性和开发价值,助力天麻药食两用潜值的挖掘,本文通过查阅国内外文献,对天麻中巴利森类物质的化学结构、药理作用、体内外代谢相关研究进行总结,为巴利森类化合物和天麻的深度研究提供全面的文献支持。

1 化学成分与结构

巴利森类化合物是由天麻素及其衍生物与柠檬酸在不同羧基位点酯合形成的多酚类成分,与天麻素在结构上关系紧密。多数巴利森类化合物以柠檬酸为基本骨架,由于取代基和取代位置不同,衍生出多种巴利森类成分和同分异构体^[12];此外,天麻中还存在含有异柠檬酸骨架的巴利森类成分和柠檬酸衍生物二聚体^[13]。随着分离手段的不断提

高,结构较复杂的巴利森类化合物相继被分离并通过核磁和质谱等手段进行结构鉴定。

对天麻中巴利森类成分的研究可追溯到 20 世纪 80 年代,最早发现的巴利森类成分为 parishin A,在 1996 年 Lin 等^[14]在天麻的水混悬液中同时分离到 parishin A~C,其中 parishin A 在柠檬酸的 3 个羧基均被天麻素基团取代,parishin B 和 parishin C 均为双取代且相对分子质量相同,并对 3 种成分的氢谱和碳谱信号进行归属^[15]。在巴利森类化合物的研究进程中,众多研究团队取得了显著成果。不同研究者从天麻植物中陆续分离并鉴定出一系列巴利森类化合物,包括 parishin D~G^[16-17]、parishin J~K^[18]、parishin X~Z^[19],其中取代基不仅涵盖天麻素基团,还涉及甲基、对羟基苄醇、双糖苷链等多种基团。这些发现极大地拓展了天麻中巴利森类化合物的种类,为深入解析其化学结构和生物活性奠定了坚实基础,也为进一步探索其药用价值提供了重要的物质基础和研究方向。

Li 等^[18]采用超高效液相色谱联用电喷雾电离四极杆飞行时间质谱对自然干燥天麻提取物中痕量的天然成分进行快速、高效地分离和鉴定,并基于低能量碰撞解离串联质谱法负离子模式下的精确相对分子质量及特征裂解,表征了天麻中的 64 种化合物,其中包括 16 种新的潜在巴利森苷类成分 parishin H、I、L~W;并根据超高效液相色谱的保留时间追踪分离出 parishin J 和 parishin K,质谱结构解析与预测的结构一致,结果证明定向分离潜在微量新化合物的可靠性和准确性。同时,Chen 等^[20]基于液质联用和三重四级杆质谱的方法定量和定性测定鲜天麻冻干品中的酚类化合物,初步鉴定出 5 种巴利森类新化合物,分别命名为 mono-substituted parishin glucoside、methoxy mono-substituted parishin、methyl parishin、*p*-hydroxybenzyl di-substituted parishin 和 *p*-hydroxybenzyl parishin。另有研究者开发了一种基于多维数据收集策略的多成分发现方法,采用离子迁移质谱与离线二维液相色谱对天麻的成分进行深入的分析和鉴定,显著提高了同分异构体的鉴定能力,预测分析出天麻中含有 100 多种巴利森类的新化合物^[12],发现巴利森类成分含有不同取代基,除了对羟基苯甲醇、天麻素、葡萄糖基等 I 相取代基,还含有葡萄糖醛酸甲酯、肉桂酰基、组氨酸和精氨酸等多种取代基;II 相取代包括甲基、甲氧基、乙酰基等;并首次发现含

有以乌头酸为基本核的巴利森类似物,为后续天麻的化学成分鉴定研究提供基础。

Choi 等^[21]对韩国产天麻进行分析,鉴定出 1 种新的柠檬糖苷 trimethylcitryl- β -D-galactopyranoside,其糖苷键连接在 C-3 羟基位。Zhou 等^[22]通过反复柱色谱法发现天麻中 1 个特殊的异柠檬酸骨架的天麻素衍生物,命名为 (1R,2S)-di-[4-O-(β -D-glucopyranosyl)benzyl]-3-methyl isocitrate,是在植物中发现的第 1 个含有异柠檬酸骨架的天麻素异柠檬酸酯类化合物;同时发现其他 6 个不同取代基的巴利森类化合物,在糖链部分被不同的苯环基团取代。Lai 等^[13]采用 UHPLC-PDA-ESI-Q-TOF-MS 从新鲜的乌天麻中鉴定出新型的柠檬酸衍生物二聚体 type 1 和 type 2,由 2 分子的巴利森脱水缩合而成。

2 药理作用

2.1 神经保护

Li 等^[23]通过以 β -淀粉样蛋白 25-35 (β -amyloid peptide 25-35, A β_{25-35}) 诱导大鼠肾上腺嗜铬细胞瘤 PC12 细胞损伤模型建立了天麻神经保护的谱-效关系,发现 parishin B、C 与神经保护作用具有显著相关性,且均能显著提高 PC12 细胞的活性。Ma 等^[24]通过以脂多糖诱导的小鼠小胶质 BV-2 细胞炎症模型建立天麻抗神经炎症的谱-效关系,预测天麻素、对羟基苯甲醇和 parishin A~C 是潜在的活性成分,分子对接和体外细胞实验证明 parishin B 可通过激活腺苷酸活化蛋白激酶/沉默信息调节因子 1 (sirtuin 1, SIRT1) 通路抑制核因子- κ B 通路,从而发挥抗神经炎症作用。王珂等^[25-28]从天麻中提取、精制天麻提取物,主要包含 parishin A~C,结果显示巴利森苷类成分总质量分数在 25% (特别是 50% 以上) 时,具有有防治老年痴呆、血管性痴呆的作用;总质量分数为 50% 以上 (优选 75% 以上,更优选 95% 以上) 时,具有保护脑和神经作用;总质量分数在 35.0%~99.8% 时,有防治帕金森病作用。

Parishin C 可显著减轻苯环利定诱导的小鼠精神分裂症样精神病症状,其效果与 5-羟色胺 1A 受体 (5-hydroxytryptamine 1A receptor, 5-HT1A) 受体激动剂相当,并且这种效果可以通过 5-HT1A 受体拮抗剂 WAY 100635 逆转,受体结合实验表明 parishin C 和 5-HT1A 具有高亲和力,推测其机制可能与激活 5-HT1A 受体有关^[29]。Parishin J 能够有效对抗东莨菪碱、乙醇对小鼠记忆功能的损害,具有防治血管性痴呆和改善脑血管缺血引起的记忆力

减退的作用^[30]。刘智慧等^[31]对比 parishin A、parishin C 和天麻素改善学习记忆的作用,结果发现 parishin A 和 parishin C 可显著改善东莨菪碱损伤的空间学习记忆能力,并且 parishin C 的作用强于 parishin A,天麻素的作用最弱。此外,parishin C 能够显著改善由可溶性 A β_{1-42} 寡聚物诱导的在体长时程增强 (long-term potentiation, LTP) 损伤,其机制可能与保护 N-甲基-D-天冬氨酸 (N-methyl-D-aspartate, NMDA) 受体免受 A β 损伤有关;Parishin C 对正常突触功能和离子通道无显著影响,但能在病理条件下减轻 A β 对 NMDA 受体的毒性作用^[32]。近年来,研究表明 parishin C 在慢性社会失败应激诱导的抑郁小鼠模型中表现出显著的抗抑郁作用,作用机制可能与调节神经递质和皮质酮水平、抑制小胶质细胞的过度激活和抑制 NOD 样受体热蛋白结构域 3 通路有关^[33]。同时,parishin C 可通过抑制氧化应激和炎症反应,对脑梗动脉栓塞诱导的大鼠脑缺血损伤具有显著的神经保护作用^[34]。

2.2 抗衰老

天麻性温味甘平、无毒,作为药食同源的中药,具有良好的营养保健价值^[35-36],其中天麻中的巴利森类物质具有显著的抗衰老作用。Lin 等^[37]从天麻中分离 parishin A 作用于酵母菌株,结果表明 parishin A 可通过抗氧化应激、增加沉默信息调节因子 2 基因表达和抑制 UTH1/雷帕霉素靶蛋白信号通路显著延长了酵母的寿命。Hsu 等^[38]制备天麻提取物 (主要包含腺苷、天麻素、对羟基苯甲醇、parishin A、parishin B),其能够通过抑制氧化应激、增加海马神经分化和调节 SH2B1/蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt) 信号通路,改善 D-半乳糖诱导的小鼠学习和记忆障碍;对分离的单体进行活性筛选,parishin A、B 具有抗衰老活性,并且 parishin A 能够诱导神经分化。多项研究证明 parishin A 可通过多种途径对自然衰老小鼠和 D-半乳糖诱导衰老模型均具有延缓衰老的作用:调节肠道菌群多样性、优化肠道代谢产物^[39],进而改善肠道屏障功能并减轻系统性炎症^[40]。此外,parishin A 还能通过上调 Klotho/叉头框蛋白 O1 (forkhead box O1, FoxO1) 信号通路^[41],调节心脏基因的表达^[42],从而增强衰老心脏的功能。Zhao 等^[43]发现 parishin A 可减少博来霉素诱导的小鼠肺上皮 MLE-12 细胞衰老标志物 FoxO1 的表达,并可通过 CD38/烟酰胺腺嘌呤二核苷酸/SIRT1 轴显著改善自然衰老小鼠的肺纤维化,

增强肺细胞的修复能力以延缓衰老。

2.3 保护心血管

Liu 等^[44]利用斑马鱼模型结合代谢组学技术,系统性地鉴定并分析了天麻中具有促血管生成活性的化学标志物,筛选出包括 parishin E 在内的 10 个潜在活性成分。Wang 等^[45]对比了多个巴利森苷单体化合物对大鼠心肌 H9c2 细胞缺氧/复氧损伤的潜在保护作用,结果显示 parishin J 和 parishin B 比天麻素的心肌保护作用更为显著,其中 parishin J 可以抑制 c-Jun 氨基末端激酶 1(c-Jun N-terminal kinase 1, JNK1) 的磷酸化水平、下调激活转录因子-2(activating transcription factor-2, ATF-2) 的磷酸化水平,减少 14-3-3 蛋白的磷酸化,增加 14-3-3 蛋白与 B 淋巴细胞瘤-2(B-cell lymphoma-2, Bcl-2) 相关 X 蛋白(Bcl-2 associated X protein, Bax) 的结合,从而抑制 Bax 向线粒体的转位和减少细胞凋亡。因此,parishin J 在开发心肌保护新药方面具有良好的应用前景。parishin A 可以改善和增强衰老小鼠的心脏功能^[38],通过上调 Klotho/FoxO1 信号通路减轻血管衰老^[36]。

2.4 抗肿瘤

干扰素诱导的跨膜蛋白 3(interferon induced transmembrane protein 3, IFITM3) 能够限制多种病毒的入侵,通过 IFITM3 结构建模、配体结合位点预测和分子动力学模拟等计算机辅助药物设计发现 parishin A 和 IFITM3 具有较高的亲和力^[46],parishin A 可能是潜在的抗肿瘤候选化合物之一。体外细胞实验证明 parishin A、C 可显著增强抗体依赖性细胞毒性和抑制多药耐药介导的外排泵活性,parishin A、C 可作为免疫调节剂和耐药性逆转剂用于肿瘤治疗^[47]。其中,parishin A 通过抑制磷脂酰肌醇 3-激酶/Akt/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白信号通路和上皮-间质转化过程,显著抑制口腔鳞状细胞癌 OSCC 细胞的生长、迁移和侵袭能力;同时对正常细胞的毒性较低,显示出其作为口腔鳞状细胞癌治疗药物的潜力^[48]。体外活性筛选实验发现 parishin A 与乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH) 具有生物亲和力,对 LDH 有一定的抑制作用,具有潜在的抗肿瘤活性^[49]。Cheng 等^[50]通过体内、外实验发现 parishin B 可通过阻断 Tribbles 同源蛋白 3/Akt1 相互作用抑制乳腺癌肺转移。孟姣等^[51]发明了 1 种用于治疗非小细胞肺癌的药物组合物,处方包括免疫检查点抑制剂和 parishin B: 治疗非小细胞肺癌

时,parishin B 会产生明显的协同作用,并且大幅提高治疗效果。

2.5 其他药理作用

除上述药理作用外,巴利森类物质还具有镇痛、抗氧化、抗病毒、平喘、肌腱修复等其他药理作用。徐帮会等^[52]建立天麻指纹图谱,分析图谱与天麻镇痛之间的关系,结果显示热板法实验中 parishin C 色谱峰对镇痛作用贡献最大,醋酸扭体法实验中 parishin B 对镇痛作用贡献最大,推测天麻提取物中含有多种不同的镇痛活性成分,且其发挥镇痛作用的机制也不同。另有谱-效关系实验证明 parishin A~C、E 等成分具有抗氧化作用^[53]。并有学者通过逐步回归模型和皮尔逊相关性分析,筛选出对羟基苯甲醇、parishin E 与抗氧化活性呈正相关,可作为天麻抗氧化活性的标记物^[54]。Jang 等^[55]对天麻中分离得到的 9 个酚类化合物进行平喘活性筛选,发现 parishin B 对气道阻力的抑制作用最显著,具有抗哮喘作用。由郑先医药科技有限公司研制的含有 parishin B 的复方制剂具有治疗上呼吸道感染的临床疗效,该化学药组合具有起效快、作用稳定、长期服用无不良反应的特点^[56]。包膜蛋白是抑制病毒进入的主要靶点,parishin A 对包膜蛋白的亲和力较高,通过结合寨卡病毒包膜蛋白来抑制病毒进入,并可能产生潜在的抗寨卡病毒药物分子^[57]。另有研究关于 parishin A 及其负载在介孔二氧化硅纳米颗粒中的应用,通过体外实验和体内模型,揭示了 parishin A 调节巨噬细胞极化及其在肌腱修复中的潜在治疗作用^[58]。

3 体外降解

由于化学结构中含有酯键和/或糖苷键,巴利森类成分化学性质不稳定,其降解过程主要受 pH 值、酶、温度、加热时间和辅料等因素的影响。田紫平等^[59]通过考察溶液的 pH 值和温度对 parishin A 的降解影响,发现 parishin A 的降解过程符合一级动力学特征,降解过程受 H^+ 、 OH^- 的催化,在 $3.0 < pH < 6.0$ 的绝对降解速率常数基本保持不变,此结论和另一研究结果一致^[60],即巴利森类化合物在弱酸性环境(pH 3~6)中相对稳定,而在碱性条件下(pH>7)易水解;同时,其降解速率随着温度升高而增大,通过 Arrhenius 公式计算出 parishin A 的降解活化能为 94.56 kJ/mol,处在化学活化能的低能量段(40~400 kJ/mol),说明巴利森苷化学性质很不稳定。李佳阳等^[61]发现鲜天麻中存在可以降解巴

利森苷的酶，这种酶在 45 ℃ 时活性最强，parishin A 可被降解为天麻素和 parishin B，最终可以被降解为对羟基苯甲醇。同时，天麻中巴利森苷的降解与水解酶羧酸酯酶（carboxylesterase, CarE）和 β -葡萄糖苷酶（ β -D-glucosidase, β -GC）有关，并且随着蒸制时间的延长，CarE 和 β -GC 的活性逐渐降低，天麻蒸制至“透心”时 2 种水解酶失活^[62]。另有研究发现，天麻中羧酸酯酶抑制 GeCXE9 酶可通过 2 条途径催化 parishin A 的水解，分别生成 parishin B、C；在缺乏 GeCXE9 的情况下，parishin A 被水解为 parishin B^[63]。

在加工炮制过程中，熟化时间与干燥温度对天麻中巴利森类成分的含量影响显著^[3,64]。如天麻素、parishin A~C、E 含量随着煮制时间的延长均会增加，而对羟基苯甲醇降低；干燥温度适当升高，parishin C 含量会相应提高^[65]。研究发现，parishin

C 随着蒸制时间延长含量变化不明显，parishin A、E 随着蒸制时间延长发生明显的降低，可能因为 parishin C 化学性质相对稳定^[66]。鲜天麻经酒蒸煮后，parishin A、E 的相对含量降低，而天麻素、对羟基苯基醇、parishin B、C 的相对含量升高^[67]。康传志^[68]发现硫熏后天麻中的天麻素和巴利森苷成分显著降低，推测原因是 SO₂ 和水形成的酸性环境下，促进巴利森成分发生降解。

多个酸水解、酶水解模拟实验证明^[59,69-71]巴利森苷大分子可降解为小分子的巴利森类成分，进而再降解多酚小分子。如 parishin A 的降解产物有 parishin B 和 parishin C、parishin H 和 parishin E，最终再降解为天麻素和对羟基苯甲醇。降解方式主要在天麻素基团的糖苷键、天麻素基团与柠檬酸链接的酯键处断裂，分别生成不同的降解产物，主要降解规律以 parishin A 为例，见图 1。

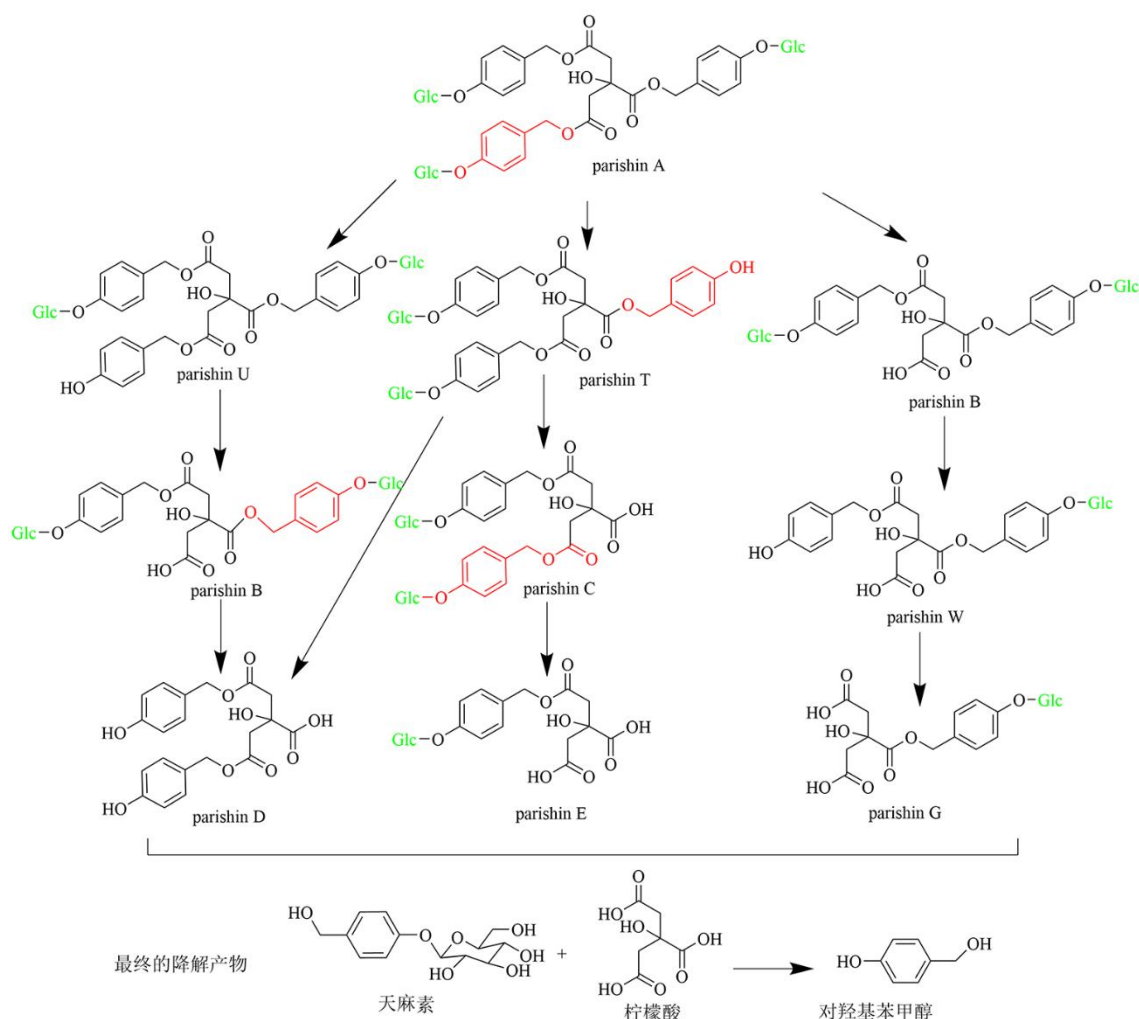


图 1 Parishin A 的体外降解路径
Fig. 1 Degradation pathway of parishin A *in vitro*

4 体内代谢

4.1 吸收

在大鼠在体循环灌流实验中, 巴利森苷类化合物的累积吸收转化率和吸收速率常数在高浓度条件下存在饱和现象, 提示巴利森苷类化合物体内过程可能为主动转运^[72]。parishin A~C 主要经小肠吸收, 胆汁促进巴利森苷类成分的吸收^[73]。Tang 等^[74]通过 ig parishin A 于正常大鼠, 收集不同时间点的血样进行检测分析, 结果显示 parishin A 在体内迅速代谢为天麻素、对羟基苯甲醇、parishin B 和 parishin C; 天麻素、对羟基苯甲醇、parishin B 和 parishin C 分别在 45、60、60、30 min 达到峰值, 峰值浓度分别为 6 300、28、955、592 ng/mL。另有研究证明, parishin A 及其衍生物在血浆中的曲线下面积和最大血药浓度也与剂量呈正相关, 但总体浓度低于天麻素^[75-76]; parishin A 的生物利用度约为 14%, 远低于天麻素, 表明 parishin A 在体内的吸收效率较低^[77]。

4.2 分布

Jiang 等^[78]分析了天麻粉末、天麻提取物 parishin A 和天麻素的代谢参数, parishin A 在肺、肝和肾中

的浓度较高, 与天麻素在各组织中的分布趋势相似, 可能与 parishin A 可代谢为天麻素有关。Wang 等^[79]采用高效液相色谱对天麻药动力学和组织学进行研究, 发现天麻进入体内 0.5~10 h 能检测到 parishin C, 在心脏组织含量最高, 其次是肝脏、脾脏, 肺和脑组织中分布较低。另有研究发现单次 ig 天麻提取物 10.50 g/kg 于正常大鼠后, parishin A 能快速分布到心、肝、脾、肺、肾中, 且在肾和肺中含量最高; 在脑组织中能检测到 parishin A, 质量浓度为 1 289.78 ng/g、整个脑组织中含量为 1 540.90 ng^[80]。

4.3 代谢

代谢相关性分析研究发现, parishin A 及其衍生物之间存在较强的相关性 (平均相关系数为 0.76 和 0.95), 表明这些化合物在体内可能存在相互转化的代谢途径^[75]。Tang 等^[81]通过 ig parishin A 于大鼠, 在血浆和尿液中共检测到 14 种代谢产物, 包括 7 种水解产物 (柠檬酸、对羟基苯甲醇、天麻素、parishin G、E、B、C) 和 7 种天麻素衍生物 (图 2)。在血浆中, parishin 主要代谢为天麻素 (50%)、柠檬酸 (33%)、parishin B (1.6%) 和 parishin C (1.5%); 在尿液中, 代谢产物主要以磺化产物 (85%) 形式存在,

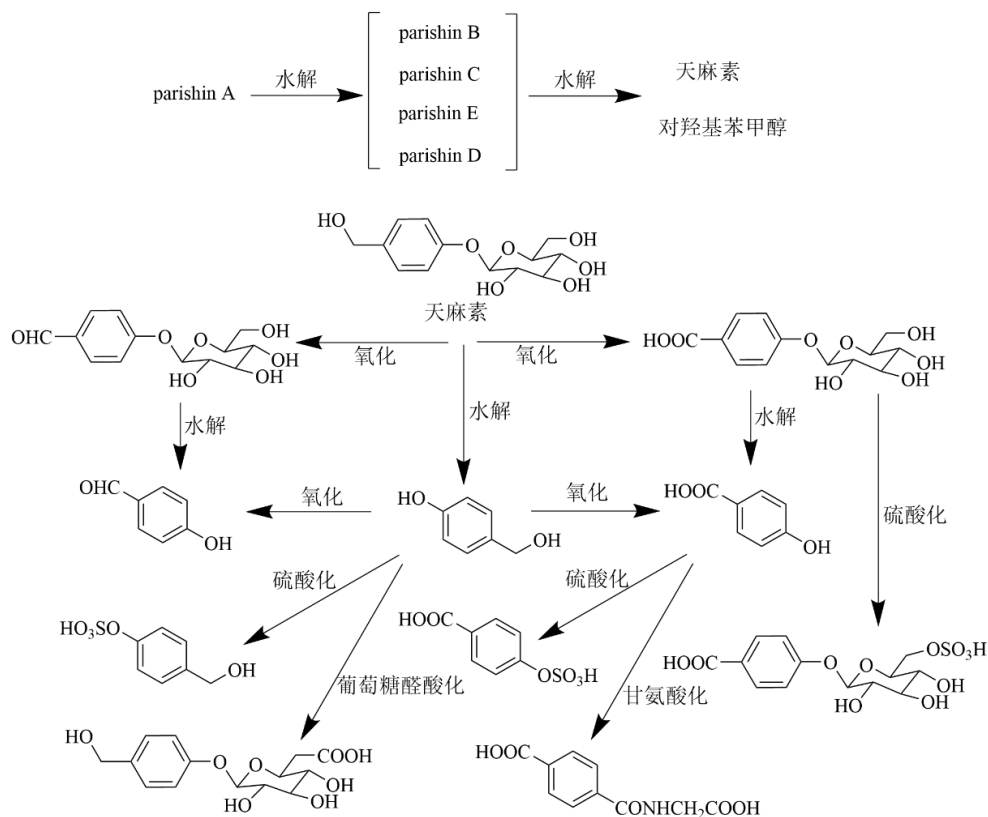


图 2 parishins 的体内代谢路径

Fig. 2 Metabolic pathway of parishins *in vivo*

表明这些代谢产物通过尿液排出体外。同时,作为巴利森类似物, *militarine* 具有类似的代谢途径^[82]。*parishin A* 先经过水解生成天麻素等活性代谢产物,这些代谢产物进一步参与氧化、磺化和葡萄糖醛酸化等代谢过程;表现为代谢产生的天麻素可氧化成相应的醛和酸,或脱去葡萄糖形成苷元,苷元可继续氧化成醛和酸。因此, *parishin A* 可被视为一种天麻素的前药,其在胃肠道和/或肝脏中代谢产生活性代谢物或中间体,从而发挥药理作用。

4.4 排泄

parishin A 在尿液中的累积排泄率在给药后 8 h 达到最高;相对于天麻素, *parishin A* 的排泄率较低,表明 *parishin A* 在体内可能被广泛代谢为天麻素或其他形式;在粪便中未检测到显著的 *parihin A*, 尿液排泄是主要的排泄途径;并且天麻粉末的 *parishin A* 生物利用度大于提取物^[78]。同时, *parishin A* 和天麻提取物给药后,结合型天麻素的药动学参数与游离天麻素显著不同,特别是消除半衰期显著延长,约是游离天麻素的 2.7 倍,表明其在体内的作用时间更长^[10]。可能的原因是 *parishin A* 和天麻提取物可能通过在体内逐步释放天麻素,延长其作用时间,减少多次给药。这一发现为 *parishin A* 和天麻提取物的临床应用提供了科学依据。

5 结语与展望

天麻中的巴利森类化合物结构复杂,丰富了天然化合物库的多样性。随着分离、鉴定技术的提高,不同的巴利森类成分相继被发现,进一步揭示了中药天麻的物质基础。巴利森类化合物主要以柠檬酸或异柠檬酸为骨架,在羧基位点连接不同的天麻素基团和其衍生物。巴利森类物质有明显的药理活性,但对于不同的取代基团或相同基团的不同取代位置是否影响其药理活性,关于此方面的研究较少,构效关系尚不明确。因此,深入发掘巴利森类物质的构效关系,可为发掘其新药理作用和活性更强的成分奠定基础。

根据文献研究发现,天麻具有多种药理活性和保健功能,其现代研究主要集中在天麻素和对羟基苯甲醇等小分子酚类成分^[4,11,83-84],关于巴利森类物质等多酚苷大分子成分的研究较少,尤其是在药理和作用机制方面。总结发现,巴利森类物质的药理活性很广泛,具有神经保护、抗肿瘤、保护心肌等作用,但其作用机制研究有限,部分药理研究仅在体外细胞筛选活性层面,需要进一步动物实验进行验

证,因此作用机制研究尚需深入。

巴利森类化合物和天麻素、对羟基苯甲醇成分密切相关,在植物生长^[85]、加工过程^[86]相互影响、相互转化,在药理作用方面均具有明显的抗神经炎症、抗氧化。但是关于 2 类成分之间的药理差异研究较少。明确巴利森类化合物与天麻素之间的药理联系,可更好地研究天麻的物质基础和药理机制,为开发新的作用靶点提供新思路。

在加工炮制过程中,天麻中的成分发生了明显的变化。巴利森类成分和天麻素是其主要的组成部分,其化学性质不稳定,加热易使其降解。天麻的加工炮制过程中较多地关注“杀酶保苷”^[62],忽略了巴利森类成分的含量积累和相互转化。对天麻蒸制过程的成分分析,巴利森苷类成分是先增加后降低^[6],炮制后天麻中巴利森苷类成分种类减少、总量增加,推测加工过程中天麻素和对羟基苯甲醇通过一定方式可以转化生成巴利森苷。因此,确定巴利森类成分和天麻素的转化因子,明确影响天麻加工工艺的关键因素,进一步优化和统一天麻的炮制加工工艺,揭示天麻的加工炮制机制,提高和控制天麻饮片质量提供理论基础,进而为临床使用提供质量稳定且优质的天麻饮片。

根据巴利森类成分的化学结构分析其理化性质和稳定性,帮助理解其在动物体内可能的裂解方式和降解路径,用于分析巴利森类化合物的吸收、分布、代谢和排泄行为,为了更好地揭示天麻作用于机体的有效成分及巴利森类成分发挥药理活性的作用形式。巴利森类成分在体内、外可发生降解或被代谢,并且主要的降解过程为水解。关于巴利森类成分在体内代谢、组织分布的文献研究主要集中在以天麻提取物或天麻粉为给药原料,鲜有研究以巴利森类单体成分给药,由于中药的成分比较复杂,并且给药后个体差异、疾病模型等影响因素较多,不容易判断是天麻素本身的吸收分布还是巴利森类物质的降解产物。

现代研究发现,巴利森类物质可以通过调节肠道菌群、增强心脏功能、减轻肺纤维化等途径发挥明显的抗衰老作用。2019 年 11 月,国家卫生健康委员会、国家市场监督管理总局联合发布对天麻可按照传统既是食品又是中药材的物质(简称食药物质)进行研究。巴利森类成分的抗衰老作用和天麻“久服益气力,长阴肥健”的功效一致,由此说明巴利森物质是天麻抗衰老的物质基础之一。近年来,

营养保健深入大众视野,成为大健康产业的热门话题。发掘巴利森类物质的保健作用和抗衰老机制深入研究,开发更具潜力的保健成分和天麻保健食品或将成为天麻产业发展的新方向。

巴利森类成分作为天麻中的重要活性物质,具有广泛的药理作用和潜在的应用价值。研究巴利森类成分不仅有助于阐明天麻的药效物质基础,还能为天麻的质量控制和新药开发提供科学依据。随着现代分析技术和药理学研究的不断进步,巴利森类成分的研究将为天麻的进一步开发和利用开辟新的方向。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 59.
- [2] Gong M Q, Lai F F, Chen J Z, *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.
- [3] Su Z H, Yang Y G, Chen S Z, *et al.* The processing methods, phytochemistry and pharmacology of *Gastrodia elata* Bl.: A comprehensive review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 314: 116467.
- [4] Zhou H B, Lu S Z, Yu Z S, *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.
- [5] Wu Z, Gao R P, Li H, *et al.* How steaming and drying processes affect the active compounds and antioxidant types of *Gastrodia elata* Bl. f. *glauca* S. Chow [J]. *Food Res Int*, 2022, 157: 111277.
- [6] 王彬, 董佳佳, 申柯, 等. 基于近红外光谱分析技术对不同蒸制程度天麻的质量评价研究 [J]. *中草药*, 2025, 56(3): 975-986.
- [7] Fu Y, Xu Q Q, Zhang J Q, *et al.* Identifying the quality markers and optimizing the processing of *Gastrodiae Rhizoma* to treat brain diseases [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1396825.
- [8] Li Y H, Zhang Y M, Zhang Z J, *et al.* Quality evaluation of *Gastrodia elata* tubers based on HPLC fingerprint analyses and quantitative analysis of multi-components by single marker [J]. *Molecules*, 2019, 24(8): 1521.
- [9] 王庆, 李丹丹, 潘芸芸, 等. 西南地区三种天麻变型巴利森苷类成分含量比较 [J]. *天然产物研究与开发*, 2018, 30(9): 1575-1580.
- [10] Tang C L, Wang L, Liu X X, *et al.* Comparative pharmacokinetics of gastrodin in rats after intragastric administration of free gastrodin, parishin and *Gastrodia elata* extract [J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 176: 49-54.
- [11] Wang Y L, Bai M T, Wang X, *et al.* Gastrodin: A comprehensive pharmacological review [J]. *Naunyn Schmiedeberg's Arch Pharmacol*, 2024, 397(6): 3781-3802.
- [12] Zhu H D, Wu X D, Huo J Y, *et al.* A five-dimensional data collection strategy for multicomponent discovery and characterization in traditional Chinese medicine: *Gastrodia Rhizoma* as a case study [J]. *J Chromatogr A*, 2021, 1653: 462405.
- [13] Lai C J S, Yuan Y, Liu D H, *et al.* Untargeted metabolite analysis-based UHPLC-Q-TOF-MS reveals significant enrichment of p-hydroxybenzyl dimers of citric acids in fresh beige-scape *Gastrodia elata* (Wutianma) [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2017, 140: 287-294.
- [14] Lin J H, Liu Y C, Hau J P, *et al.* Parishins B and C from rhizomes of *Gastrodia elata* [J]. *Phytochemistry*, 1996, 42(2): 549-551.
- [15] 王亚男, 林生, 陈明华, 等. 天麻水提取物的化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2012, 37(12): 1775-1781.
- [16] Yang X D, Zhu J, Yang R, *et al.* Phenolic constituents from the rhizomes of *Gastrodia elata* [J]. *Nat Prod Res*, 2007, 21(2): 180-186.
- [17] Wang L, Xiao H B, Yang L, *et al.* Two new phenolic glycosides from the rhizome of *Gastrodia elata* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(5): 457-462.
- [18] Li Z F, Wang Y W, Ouyang H, *et al.* A novel dereplication strategy for the identification of two new trace compounds in the extract of *Gastrodia elata* using UHPLC/Q-TOF-MS/MS [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2015, 988: 45-52.
- [19] Wang Z W, Li Y, Liu D H, *et al.* Chemical constituents from the rhizomes of *Gastrodia elata* f. *glauca* and their potential neuroprotective effects [J]. *Phytochem Lett*, 2018, 24: 167-171.
- [20] Chen S, Liu J Q, Xiao H, *et al.* Simultaneous qualitative assessment and quantitative analysis of metabolites (phenolics, nucleosides and amino acids) from the roots of fresh *Gastrodia elata* using UPLC-ESI-triple quadrupole ion MS and ESI- linear ion trap high-resolution MS [J]. *PLoS One*, 2016, 11(3): e0150647.
- [21] Choi J H, Lee D U. A new citryl glycoside from *Gastrodia elata* and its inhibitory activity on GABA transaminase [J]. *Chem Pharm Bull*, 2006, 54(12): 1720-1721.
- [22] Zhou J, Chen J Q, Gong S L, *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.
- [23] Li M F, Du Y, Wang L, *et al.* Efficient discovery of quality control markers for *Gastrodia elata* Tuber by fingerprint-efficacy relationship modelling [J]. *Phytochem Anal*, 2017, 28(4): 351-359.
- [24] Ma T Y, Chen P P, Dong H J, *et al.* Identification of key anti-neuroinflammatory components in *Gastrodiae Rhizoma* based on spectrum-effect relationships and its mechanism exploration [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2024, 248: 116266.
- [25] 王珂, 石建功, 赵立敏, 等. 天麻派立辛提取物在制备脑保护药物中的应用: 中国, CN102727506A [P]. 2012-10-17.
- [26] 王珂, 赵大龙, 石建功, 等. 一种用于防治帕金森氏病的天麻植物提取物及其制备方法: 中国, CN102335348A [P]. 2012-02-01.
- [27] 王珂, 石建功, 刘晔, 等. 用于防治老年性痴呆的天麻植物提取物及其制备方法: 中国, CN1977951B [P]. 2011-01-19.
- [28] 王珂, 石建功, 刘晔, 等. 用于防治血管性痴呆的天麻植物提取物及其制备方法: 中国, CN101628086B [P]. 2012-08-15.
- [29] Shin E J, Whang W K, Kim S, *et al.* Parishin C attenuates phencyclidine-induced schizophrenia-like psychosis in mice: Involvements of 5-HT_{1A} receptor [J]. *J Pharmacol Sci*, 2010, 113(4): 404-408.
- [30] 冯育林, 李志峰, 杨世林, 等. 天麻中一种新的巴利森苷类化合物及其用途: 中国, CN103626812B [P]. 2016-03-30.
- [31] 刘智慧, 马浩, 王伟平, 等. 天麻素及派立辛改善东莨菪碱致学习记忆障碍的构效关系 [J]. *药学报*, 2016, 51(5): 743-748.
- [32] Liu Z H, Wang W P, Feng N, *et al.* Parishin C's prevention of A β ₁₋₄₂-induced inhibition of long-term potentiation is related to NMDA receptors [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2016, 6(3): 189-197.
- [33] Jiang N, Yao C H, Zhang Y W, *et al.* Antidepressant effects of parishin C in chronic social defeat stress-induced depressive mice [J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 325: 117891.
- [34] Wang T, Chen H B, Xia S Y, *et al.* Ameliorative effect of parishin C against cerebral ischemia-induced brain tissue injury by reducing oxidative stress and inflammatory responses in rat model [J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2021, 17: 1811-1823.
- [35] 郭佳欣, 谢佳, 蒋丽施, 等. 天麻保健食品开发现状分析 [J]. *中草药*, 2022, 53(7): 2247-2254.
- [36] Heese K. *Gastrodia elata* Blume (Tianma): Hope for brain aging and dementia [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020: 8870148.
- [37] Lin Y F, Sun Y J, Weng Y F, *et al.* Parishin from *Gastrodia elata* extends the lifespan of yeast via regulation of Sir2/Uth1/TOR signaling pathway [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2016, 2016: 4074690.
- [38] Hsu W H, Huang N K, Shiao Y J, *et al.* *Gastrodiae Rhizoma* attenuates brain aging via promoting neurogenesis and neurodifferentiation [J]. *Phytomedicine*, 2021, 87: 153576.
- [39] Zhao X X, Zhou S X, Yan R, *et al.* Parishin from *Gastrodia elata* ameliorates aging phenotype in mice in a gut microbiota-related manner [J]. *Front Microbiol*, 2022, 13: 877099.
- [40] Gong C X, Ma C, Irge D D, *et al.* *Gastrodia elata* and parishin ameliorate aging induced 'leaky gut' in mice: Correlation with gut microbiota [J]. *Biomed J*, 2023, 46(4): 100547.
- [41] Zhao X X, Zhou S X, Liu Y, *et al.* Parishin alleviates vascular ageing in mice by upregulation of Klotho [J]. *J Cell Mol Med*, 2023, 27(10): 1398-1409.
- [42] Zhou S X, Zhao X X, Wu L, *et al.* Parishin treatment alleviates cardiac aging in naturally aged mice [J]. *Heliyon*, 2023, 9(12): e22970.
- [43] Zhao X X, Zhou S X, Sheng Z Y, *et al.* Parishin alleviates pulmonary fibrosis by reducing CD38 levels in naturally aging mice [J]. *Rejuvenation Res*, 2025, 28(1): 25-32.
- [44] Liu M, Zhao L, Han L W, *et al.* Discovery and identification of proangiogenic chemical markers from *Gastrodiae Rhizoma* based on zebrafish model and metabolomics approach [J]. *Phytochem Anal*, 2020, 31(6): 835-845.
- [45] Wang Q, Li Z F, Wang D X, *et al.* Myocardial protection properties of parishins from the roots of *Gastrodia elata* Bl [J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 121: 109645.
- [46] Tiwari V, Viswanath S. Identification of potential modulators of IFITM3 by *in-silico* modeling and virtual screening [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 15952.
- [47] Berek L, Szabó D, Petri I B, *et al.* Effects of naturally occurring glucosides, solasodine glucosides, ginsenosides and parishin derivatives on multidrug resistance of lymphoma cells and leukocyte functions [J]. *In Vivo*, 2001, 15(2): 151-156.
- [48] Ma L, Liu Z B, Kim E, *et al.* Parishin A inhibits oral squamous cell carcinoma via the Akt/mTOR signaling pathway [J]. *Pharmaceuticals*, 2024, 17(10): 1277.
- [49] 李彦杰, 周旭, 庄思远, 等. 天麻中乳酸脱氢酶抑制剂

- 的筛选分离及质谱分析 [J]. 时珍国医国药, 2021, 32(10): 2336-2340.
- [50] Cheng X, Sun J, Chen S, *et al.* Parishin B blocking TRIB3-Akt1 interaction inhibits breast cancer lung metastasis [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1517708.
- [51] 孟姣, 陈玉华, 柳蔚. 用于治疗非小细胞肺癌的药物组合物及其制剂: 中国, CN108498802B [P]. 2019-02-26.
- [52] 徐帮会, 徐剑, 张永萍, 等. 天麻 HPLC 指纹图谱及镇痛活性的谱效关系研究 [J]. 中药材, 2019, 42(11): 2588-2592.
- [53] Kim D W, Lee W J, Asmelash Gebru Y, *et al.* Comparison of bioactive compounds and antioxidant activities of *Maclura tricuspidata* fruit extracts at different maturity stages [J]. *Molecules*, 2019, 24(3): 567.
- [54] Yu B C, Li Z, Wu J Y, *et al.* Quality control of *Gastrodia elata* by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection (HPLC-FLD) and principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) [J]. *Anal Lett*, 2020, 53(5): 746-759.
- [55] Jang Y W, Lee J Y, Kim C J. Anti-asthmatic activity of phenolic compounds from the roots of *Gastrodia elata* Bl [J]. *Int Immunopharmacol*, 2010, 10(2): 147-154.
- [56] 郑先医药科技有限公司. 一种治疗上呼吸道感染的西药组合物: 中国, CN106727615A [P]. 2017-05-31.
- [57] Sharma N, Kumar P, Giri R. Polysaccharides like pentagalloylglucose, parishin a and stevioside inhibits the viral entry by binding the Zika virus envelope protein [J]. *J Biomol Struct Dyn*, 2021, 39(16): 6008-6020.
- [58] Zhu L S, Wang Y, Jin S S, *et al.* Parishin A-loaded mesoporous silica nanoparticles modulate macrophage polarization to attenuate tendinopathy [J]. *NPJ Regen Med*, 2023, 8(1): 14.
- [59] 田紫平, 肖慧, 冯舒涵, 等. 天麻有效成分巴利森苷的降解规律分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(23): 18-21.
- [60] Xie S T, Min K, Li H, *et al.* pH as a key factor for the quality assurance of the preparation of *Gastrodiae Rhizoma* Formula Granules [J]. *Molecules*, 2022, 27(22): 8091.
- [61] 李佳阳, 吴国真, 王新茗, 等. 鲜天麻中酶对巴利森苷 A 的降解作用研究 [J]. 中国现代中药, 2022, 24(3): 459-465.
- [62] 马天宇. 产地加工对天麻巴利森苷类成分的转化与药材品质形成的影响研究 [D]. 济南: 山东中医药大学, 2023.
- [63] Yan Y X, Jiang M, Wang X. Genome-wide identification of carboxyesterase family members reveals the function of GeCXE9 in the catabolism of parishin A in *Gastrodia elata* [J]. *Plant Cell Rep*, 2025, 44(2): 45.
- [64] 陈岗, 李红, 王勇德, 等. 炮制加工对天麻化学成分影响的研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(3): 539-549.
- [65] 邵玉钢, 吕涛, 臧埔, 等. 产地加工工艺对天麻 6 种药效成分含量的影响 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(2): 6-10.
- [66] 王信, 王徽, 曹广尚, 等. 天麻清蒸过程中 7 种化学成分变化规律研究及分析 [J]. 中国医院药学杂志, 2018, 38(6): 595-598.
- [67] Cheng L J, Wang H, Ma K J, *et al.* A novel alcohol steamed preparation from *Gastrodia elata* Blume: Pharmacological assessment of a functional food [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 14: 1092693.
- [68] 康传志. 硫磺熏蒸对天麻和牛膝药材质量的影响 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2018.
- [69] Li Y, Liu X Q, Liu S S, *et al.* Transformation mechanisms of chemical ingredients in steaming process of *Gastrodia elata* Blume [J]. *Molecules*, 2019, 24(17): 3159.
- [70] Ma T Y, Sun C L, Han Y H, *et al.* Matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry imaging reveals “Spatial-Temporal-Content” changes of parishins in *Gastrodiae Rhizoma* during the steaming process [J]. *Food Res Int*, 2022, 162(Pt B): 112092.
- [71] Wang N, Wu T X, Zhang Y, *et al.* Experimental analysis on the main contents of *Rhizoma Gastrodiae* extract and inter-transformation throughout the fermentation process of *Grifola frondosa* [J]. *Arch Pharm Res*, 2013, 36(3): 314-321.
- [72] 李梅, 刘帆, 陈艳, 等. 基于大鼠在体循环肠灌注模型研究不同粒径天麻粉的肠吸收动力学 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(1): 179-187.
- [73] 陈艳, 刘帆, 巩仔鹏, 等. 基于大鼠离体外翻肠囊模型研究不同粒径天麻粉的吸收特性 [J]. 中国药房, 2020, 31(4): 413-422.
- [74] Tang C L, Wang L, Cheng M C, *et al.* Rapid and sensitive analysis of parishin and its metabolites in rat plasma using ultra high performance liquid chromatography-fluorescence detection [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2014, 973C: 104-109.
- [75] Liu J Q, Chen S, Cheng J T, *et al.* An optimized and sensitive pharmacokinetic quantitative method of investigating gastrodin, parishin, and parishin B, C and E in beagle dog plasma using LC-MS/MS after intragastric administration of tall *Gastrodia* Capsules [J]. *Molecules*, 2017, 22(11): 1938.
- [76] Zhao Y, Gong X J, Zhou X, *et al.* Relative bioavailability of gastrodin and parishin from extract and powder of

- Gastrodiae Rhizoma* in rat [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2014, 100: 309-315.
- [77] Tang C L, Wang L, Liu X X, *et al*. Pharmacokinetic study of *Gastrodia elata* in rats [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407(29): 8903-8910.
- [78] Jiang Z M, Zheng X Y, Gong X J, *et al*. Relative tissue distribution and excretion studies of gastrodin and parishin from powder and extract of *Gastrodiae Rhizoma* in rat by UHPLC-ESI-MS/MS [J]. *Biomed Chromatogr*, 2017, 31(7): e3909.
- [79] Wang B, Sun Y T, Pei Z D, *et al*. Pharmacokinetic and tissue distributions study of adenosine, 4-hydroxybenzyl alcohol and parishin C from *Gastrodia elata* extract in rats [J]. *Pak J Pharm Sci*, 2018, 31(5(Supplementary)): 2053-2060.
- [80] 郑秀艳. 天麻质量控制及体内代谢动力学研究 [D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2015.
- [81] Tang C L, Wang L, Li J J, *et al*. Analysis of the metabolic profile of parishin by ultra-performance liquid chromatography/quadrupole-time of flight mass spectrometry [J]. *Biomed Chromatogr*, 2015, 29(12): 1913-1920.
- [82] Li L M, Hao B, Zhang Y L, *et al*. Metabolite profiling and distribution of militarine in rats using UPLC-Q-TOF-MS/MS [J]. *Molecules*, 2020, 25(5): 1082.
- [83] 严国, 蔡亚, 杨易, 等. 新鲜天麻中天麻素与对羟基苯甲醇含量及影响因素分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 233-240.
- [84] 杨艺娜, 王蓓蓓, 金徽, 等. 天麻素的结构修饰及生物活性研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(23): 8245-8255.
- [85] 朱锦峰, 刘博, 徐倩, 等. 天麻不同发育阶段 7 种有效成分的动态变化规律及质量差异标志物确认 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(2): 197-203.
- [86] Su Z H, Yang Y G, Xu H B, *et al*. Study on the chemical composition and *in vitro* enzyme inhibition of different processed products of *Gastrodia elata* [J]. *J Food Compos Anal*, 2024, 130: 106148.

[责任编辑 赵慧亮]