

姜黄属中药多糖的药理活性及其作用机制研究进展

赵芃钰, 任 虹[#], 徐李缘, 姜鸣凤, 卿 莹, 林丽婷, 朱宗萍, 廖 婉^{*}

成都中医药大学, 四川 成都 611137

摘 要: 姜黄属 *Curcuma* 隶属于姜科, 常用中药姜黄、莪术、郁金及片姜黄均来源于该属植物。姜黄属中药的主要药效成分为姜黄素类和挥发油类, 近年来姜黄属中药的多糖成分因具有多种药效活性而备受关注。现代药理研究表明, 多糖作为姜黄属中药的主要活性成分之一, 具有抗氧化、抗肝纤维化、抗肿瘤、抗溃疡、降血糖、增强免疫、抗炎、抗凝血等药理活性, 已成为姜黄属中药开发应用研究的热点之一。基于国内外对姜黄属中药多糖的研究报道, 系统地总结了姜黄属中药多糖的植物来源、提取、分离和纯化方法、结构特征、药理活性及其潜在机制, 为姜黄属中药多糖的进一步研究和开发提供一定的科学依据。

关键词: 姜黄属; 多糖; 分离纯化; 结构特征; 药理活性; 抗肝纤维化; 抗肿瘤; 抗溃疡; 降血糖

中图分类号: R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)14-5276-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.14.030

Research progress on pharmacological activity and mechanism of traditional Chinese medicine polysaccharides of *Curcuma*

ZHAO Pengyu, REN Hong, XU Liyuan, LOU Mingfeng, QING Ying, LIN Liting, ZHU Zongping, LIAO Wan
Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

Abstract: *Curcuma* belongs to the Zingiberaceae family, the common traditional Chinese medicine Jianghuang (*Curcuma Longae Rhizoma*), Ezhu (*Curcuma Rhizoma*), Yujin (*Curcuma Radix*) and Pianjianghuang (*Wenyujin Rhizoma Concisum*) all derived from this genus. The main active components of *Curcuma* are curcumin and volatile oils. In recent years, the polysaccharide components of *Curcuma* have attracted much attention due to their various medicinal activities. Modern pharmacological studies have shown that polysaccharide, as one of the main active components of *Curcuma*, has many pharmacological activities such as anti-oxidation, anti-liver fibrosis, antitumor, anti-ulcer, hypoglycemia, immune-enhancing, anti-inflammatory, and anti-coagulation. It has become one of the hotspots in the development and application of *Curcuma*. Based on the research reports on polysaccharides of *Curcuma* at home and abroad, this paper systematically summarized the plant sources, extraction, isolation and purification methods, structural characteristics, pharmacological activities and potential mechanisms of polysaccharides of *Curcuma* to provide a certain scientific basis for the further research and development of polysaccharides of *Curcuma*.

Key words: *Curcuma* L.; polysaccharides; isolation and purification; structural features; pharmacological activity; anti-liver fibrosis; antitumor; anti-ulcer; hypoglycemia

姜黄属 *Curcuma* L. 是姜科 (Zingiberaceae) 植物的 1 个属, 在我国有着丰富的种质资源, 多达 10 余种, 约占全球姜黄属的 1/5。种类主要包括温郁金、姜黄、莪术、川郁金、广西莪术和毛莪术等^[1]。该属植物主要分布于四川、广西、浙江等东南部地区, 其在中医药领域的应用可追溯至唐代, 相关记

载首见于《新修本草》。该属植物的不同部位分别具有重要的药用价值, 其中根茎部位主要作为“姜黄”和“莪术”的原料, 而块根则被用作“郁金”的药材来源。这一属植物的药用历史源远流长, 在传统中医药体系中占据重要地位^[2]。在传统医学中, 以活血破血、通经止痛、行气解郁的功效而著称, 在

收稿日期: 2025-02-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82274099); 四川省科技厅面上项目 (24NSFSC11101)

作者简介: 赵芃钰, 女, 本科生。研究方向为临床药学。E-mail: zpy1159@126.com

[#]共同第一作者: 任 虹, 女, 博士研究生, 研究方向为中药新制剂和新剂型。E-mail: rhrenhong@qq.com

^{*}通信作者: 廖 婉, 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 从事中药炮制工艺与机制、中药药剂研究。E-mail: liaowan@cduetcm.edu.cn

中医临床实践中, 这些药物常用于治疗血瘀证^[3], 彰显了其独特的药用价值和临床疗效。近年来的药理学研究揭示, 姜黄属植物含有多种生物活性物质, 其中以倍半萜类和姜黄素类成分为主要有效成分。值得关注的是, 该属植物中提取的多糖类物质展现出显著的生物活性, 包括抑制纤维化、抗肿瘤、调节血糖及影响凝血功能等。这些药理特性与中医血瘀证的治疗密切相关, 因此该属植物的多糖成分已成为当前天然药物研究领域的热点之一^[4]。

多糖是由多个单糖分子通过糖苷键连接而成的高分子化合物, 其基本结构单元可表示为 $C_6H_{10}O_5$ 。这类物质广泛分布于自然界中, 对生物体的生理功能调节具有不可替代的作用。大量研究表明, 多糖类成分具有广泛的生物活性, 其作用机制涉及增强机体免疫应答、抗肿瘤、抑制病毒复制、调节血脂代谢、清除自由基及影响凝血功能等^[5]。作为姜黄属植物的主要天然活性物质之一, 姜黄属植物多糖还被证实能抑制炎症反应、降低血糖水平、预防肝纤维化、修复胃黏膜损伤。凭借其多样的药理活性、较低的不良反应及广阔的应用前景, 多糖已成为天然药物开发及应用研究的热点^[6]。其中, 姜黄属植物多糖因其显著的生物活性近年来备受学术界关注。基于其重要的研究价值, 本文综述了姜黄属中药多糖的植物来源、提取、分离纯化方法、结构特征、药理活性及其潜在机制, 为姜黄属多糖的进一步研究和其相关产品的多元化开发提供科学依据。

1 常用姜黄属中药的植物来源

《中国药典》2020 年版收录了姜黄属植物中 4 种常用中药, 包括姜黄、莪术、郁金及片姜黄。姜黄为姜科植物姜黄 *Curcuma longa* L. 的干燥根茎; 莪术为姜科植物蓬莪术 *C. phaeocaulis* Val.、广西莪术 *C. kwangsiensis* S. G. Lee et C. F. Liang 或温郁金 *C. wenyujin* Y. H. Chen et C. Ling 的干燥根茎; 郁金为姜科植物温郁金 *C. wenyujin* Y. H. Chen et C. Ling、姜黄 *C. longa* L.、广西莪术 *C. kwangsiensis* S. G. Lee et C. F. Liang 或蓬莪术 *C. phaeocaulis* Val. 的干燥块根; 片姜黄为姜科植物温郁金 *C. wenyujin* Y. H. Chen et C. Ling 的干燥根茎^[3]。

2 姜黄属中药多糖的提取分离纯化及理化性质测定

2.1 提取分离纯化

多糖是一种水溶性的大分子化合物, 热水浸提醇沉法常作为提取中药多糖的经典方式之一。姜黄

属多糖多采用热水浸提醇沉法来进行提取分离。杨海玲等^[7]通过正交试验考察了姜黄多糖的热水提取工艺, 结果表明, 采用 100 目粉末、1:40 (g/mL) 的料液比、100 °C 水浴加热 4 h 的条件可获得姜黄多糖的最佳提取率 13.86%。黄凤香等^[8]研究表明在 70 °C、1.5 h、料水质量比 1:5 (g/mL) 的条件下可获得广西莪术多糖 0.073 mg/g。此外, 稀碱溶液和稀醇溶液也用于姜黄属中药多糖的提取。葛青等^[9]采用稀碱溶液提取姜黄水溶性多糖, 结合响应面法优化得最佳工艺参数: 料液比 1:40 (g/mL)、提取时间 2.4 h、提取温度 65 °C、浓度 1 mol/L NaOH 的条件下, 姜黄水溶性多糖提取率可达 1.33%。随着技术的发展, 生物酶解辅助提取、超声强化提取等也用于姜黄属中药多糖的提取。Harsha 等^[10]利用淀粉酶辅助提取姜黄多糖, 研究发现在 70 °C 条件下反应 3 h, 果胶多糖提取率可达 6.3%。蒋德旗等^[11]通过单因素实验结合响应面法优化得莪术多糖的最佳复合酶提取工艺: 酶解时间 100 min、温度 55 °C、酶添加量 3.5%、pH 5.0、料液比 1:25 (g/mL), 莪术多糖得率达到 5.18%。荀雪梅^[12]研究发现在超声温度 78.8 °C、提取时间 35 min、料液比 1:47 (g/mL)、超声功率 295 W 的条件下, 莪术多糖的提取率可达 17.22%。宋九华等^[13]通过单因素实验结合响应面法进行工艺优化, 结果表明加热温度 98.56 °C、处理时间 4.93 min、料液比 0.020 g/mL, 姜黄多糖的提取率可达到 1.44%, 且各因素对多糖得率的影响顺序为处理时长<溶剂用量<加热温度。

对多糖进行有效的分离纯化, 是开展其结构和生物活性研究的基础。初步提取的多糖通常为粗多糖, 是含有不同相对分子质量、不同电荷的多糖, 可能对其基本结构的分析产生干扰。因此, 需要对粗多糖进行纯化, 以分离出一系列相对分子质量相近的多糖片段, 从而更有利于研究多糖的化学结构与生物活性之间的关系。实验室中常用离子交换色谱法和胶柱色谱法来纯化多糖。离子交换色谱是根据填料的带电基团和各种离子之间发生交换的原理, 对电荷量大小不同的物质进行分离纯化。离子交换色谱法采用固定相与流动相结合的方式进行分离纯化, 其中固定相主要由离子交换剂构成, 流动相则为特定离子溶液。该方法基于离子交换剂表面可交换离子与介质中离子间亲和力的差异实现分离, 兼具离子交换与分子筛双重特性。在众多离子交换剂中, 二乙基氨基乙基纤维素 (DEAE-

cellulose) 因其优异的性能而获得广泛应用, 此外 DEAE-葡聚糖 (DEAE-sephadex) 和 DEAE-琼脂糖 (DEAE-sepharose) 也是常用的分离介质。另一方面, 基于分子尺寸差异的分离方法主要采用凝胶柱色谱技术, 其分离原理依赖于分子筛效应。该方法常用的介质包括交联葡聚糖凝胶、琼脂糖凝胶及聚丙烯酰胺凝胶, 分离过程中通常采用不同离子强度的盐溶液或缓冲溶液作为洗脱剂。

苟学梅^[12]采用 DEAE-cellulose-52 纤维素柱色谱对蓬莪术粗多糖进行初步纯化, 得到相对分子质量不同的 2 个组分 CPP-1、CPP-2, 这 2 个组分的化学组成存在差异, CPP-2 的糖醛酸含量高于 CPP-1。王关林等^[14]将莪术粗多糖用蒸馏水配制成溶液, 先后通过活性炭吸附脱色和 Savage 法多次脱蛋白处理, 直至完全去除杂质。随后, 对溶液进行蒸馏水透析浓缩和真空干燥处理。处理后的样液被上样至 DEAE-cellulose-52 柱, 并依次使用蒸馏水、0.1 mol/L NaCl、0.3 mol/L NaCl 进行梯度洗脱, 洗脱体积流量为 0.4 mL/min, 每管收集 4 mL 洗脱液。苯酚-硫酸法跟踪检测每管的糖含量, 琼脂糖凝胶电泳法进行纯度检测。洗脱后依次得到组分 I~III, 取莪术粗多糖及水洗脱组分溶液, 经琼脂糖凝胶电泳分析, 结果表明组分 I 已被纯化。宋扬等^[15-16]通过 50% 和 75% 乙醇沉淀法, 将莪术粗多糖分为 2 级组分: CZ1 和 CZ2。在不同 pH 条件下, CZ1、CZ2 色谱结果不同: 酸性条件下色谱纯化, 纯度较低; 碱性条件下色谱纯化, 纯化率低, 表明溶液酸碱度对莪术多糖的纯化效果具有显著影响。通过系统优化, 确定最佳纯化参数为: pH 值 7.0, 采用 0~0.5 mol/mL 的 NaCl 溶液进行梯度洗脱。Dong 等^[17]深入探讨了莪术多糖的结构特征及其生物活性, 首先运用 DEAE-650 型离子交换树脂柱进行初级分离, 获得中性糖组分和多个酸性糖亚组分; 随后采用 G-200 凝胶柱色谱进行精细纯化, 最终得到相对分子质量不同的中性多糖 CKNP 与酸性多糖 CKAP-2。

现有方法主要采用 Savage 法脱除蛋白杂质, 结合离子交换和吸附技术去除色素, 并通过柱色谱实现组分分离。基于植物多糖通常呈中性或带负电荷的特性, 阴离子纤维素交换色谱柱被广泛用于该类物质的分离纯化过程^[18]。然而, 关于姜黄属植物多糖的分离纯化研究仍较为有限。

2.2 理化性质测定方法

对姜黄属中发挥药效作用的多糖进行含量测

定, 是确保姜黄属中药质量稳定性、安全性和有效性的关键。在中药多糖定量分析中, 比色分析法因其操作简便、显色稳定等特点而被广泛应用。其中, 苯酚-硫酸法和蒽酮-硫酸法是 2 种常用的测定方法。这些方法以葡萄糖作为标准对照品, 具有试剂配制简单、测定结果可靠等优势, 特别适用于姜黄属植物多糖的含量测定。

作为一种高灵敏度的定量分析方法, 苯酚-硫酸法可有效测定甲基化糖类、戊糖及多聚糖的含量, 其显著优势在于测定过程中蛋白质的干扰较小^[19]。在桂郁金多糖的研究中, 王晓华等^[20-21]采用该方法对不同采收期的样品进行分析, 结果表明 12 月中旬采集的样品中多糖含量最高, 可达 6.45%。此外, 研究者将苯酚-硫酸法与 3,5-二硝基水杨酸法联用, 系统比较了不同来源郁金药材的多糖含量差异。实验数据显示, 绿丝郁金的多糖质量分数显著高于其他品种, 平均达到 25.775%, 而桂郁金和黄丝郁金的平均质量分数分别为 3.955% 和 2.695%。戴平等^[22]采用苯酚-硫酸法测定广西莪术多糖的含量, 并探讨了不同体积分数 (65%~95%) 醇沉对广西莪术多糖含量的影响, 结果表明 75% 醇沉浓度下的莪术多糖平均质量分数最高, 达 8.499 $\mu\text{g/mL}$ 。黄凤香等^[8]在对广西莪术多糖水提工艺进行优化, 并对不同产地多糖含量进行测定的研究中, 也采用了苯酚-硫酸法来测定广西莪术多糖的含量。结果得出上思县思阳镇的广西莪术多糖含量较高, 平均质量分数高达 0.073 mg/g。康荣等^[23]采用柱前衍生高效液相色谱结合多种分析方法, 对 15 批蓬莪术中的单糖组成、指纹图谱及抗氧化活性指标进行研究。用苯酚-硫酸法对样品中的总多糖进行定量分析, 结果显示其质量分数为 4.1%~8.2%。在碳水化合物测定领域, 蒽酮-硫酸法具有广泛的适用性, 可检测几乎所有类型的碳水化合物。然而, 当该方法用于中药多糖测定时, 其测定结果反映的是溶液中可溶性碳水化合物的总量^[22], 因此其准确度相对低于苯酚-硫酸法。在探究桂郁金多糖生物活性的研究中, 潘小姣等^[24]运用蒽酮-硫酸法对提取物进行含量测定, 获得 87.23% 的多糖含量测定值, 为其后续抗凝血及纤溶活性研究提供了定量依据。

3 姜黄属中药多糖的结构特征研究

多糖的结构特征分析具有重要的研究价值, 这主要源于其结构多样性与其生物学功能之间的密切关联^[25]。对多糖进行结构表征时, 需要系统考察

多个结构参数,包括组成单糖的种类、相对分子质量分布特征、糖苷键的构型与构象、糖单元间的连接模式及高级空间结构等信息^[26]。

3.1 单糖组成多样性

关媛等^[27]从桂郁金中分离得到了 2 个具有较好抗氧化活性的桂郁金多糖:WPCK-N(中性糖)和 WPCK-A(酸性糖)。采用 1-苯基 3-甲基 5-吡唑酮(1-phenyl 3-methyl 5-pyrazolone, PMP)柱前衍生化法和安捷伦 XDB-C₁₈ 色谱法来解析其单糖组成。结果发现 WPCK-N 由葡萄糖、甘露糖、半乳糖组成;而 WPCK-A 主要由半乳糖、葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、鼠李糖、木糖、岩藻糖组成。WPCK-A 中复杂的单糖组成(尤其是阿拉伯糖和岩藻糖)可能与其抗氧化活性密切相关。研究表明,稀有单糖(如岩藻糖)可通过提供游离羟基增强自由基清除能力,而酸性糖基(如 GalA)的羧酸基团可螯合金属离子,协同提升抗氧化效果。

3.2 糖苷键连接模式与空间构象

在蓬莪术多糖的结构分析研究中,康荣等^[23]采用酸水解结合柱前衍生化技术,建立了基于高效液相色谱的指纹图谱分析方法。该方法首先将 15 批次样品在酸性条件下高温水解为单糖组分,随后通过 PMP 柱前衍生化处理,最终成功鉴定出 6 个特征峰,分别对应甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖和阿拉伯糖等单糖组分。蓬莪术多糖中(1→3,6)- α -Galp 分支与 GalA 的共存可能产生协同效应——分支结构增强水溶性,而酸性基团通过静电作用靶向炎症部位,为其抗炎活性提供结构基础。董彩霞等^[28]采用甲基化分析从莪术中分离得到了 3 个莪术纯化多糖(CKNP、CKNP-1、CKNP-2)发现,CKNP 主链由(2→6)-linked β -D-Fruf 残基组成,单一的 β -D-Fruf 残基作为侧链连接在主链残基的 O-1 位;CKNP-1 主链由(1→4)-linked β -D-GalAp 及(1→2,4)-linked α -L-Rhap 残基组成,侧链组成比较复杂;CKNP-2 主链由(1→4)-linked β -D-GalAp 残基组成。CKNP-1 中(1→2,4)-linked α -L-Rhap 分支结构可能通过空间位阻效应增强与免疫受体的结合能力,而 CKNP 的线性(2→6)-linked β -D-Fruf 主链因其柔韧性更易被肠道酶解吸收,提示其潜在的免疫调节功能。Jiang 等^[29]从姜黄根茎中分离得到了纯化多糖 nCKAP-2,结构分析表明 nCKAP-2 主链由 1,3- α -D-Araf 残基组成。TP-0 的三螺旋构象可形成稳定的疏水腔,增强对脂溶性自由基的捕

获效率;而 nCKAP-2 的线性构象可能通过嵌入 DNA 双链干扰肿瘤复制,凸显空间构象对活性的决定性作用。

3.3 相对分子质量分布

多糖的相对分子质量分布与其生物活性密切相关。研究表明相对分子质量不仅影响多糖的自由基清除能力、金属螯合性,还影响其还原性、分子稳定性及溶液中的分散性^[30]。高相对分子质量(重均相对分子质量 $>1\times 10^5$)多糖表现出较强的稳定性和持久性,适合长效抗氧化需求,而低相对分子质量(重均相对分子质量 $<1\times 10^4$)多糖凭借其良好的分散性和快速反应能力,更适合短期且即时的抗氧化应用^[31]。Chaiwong 等^[32]证实低相对分子质量多糖呈现出较好的羟基自由基清除率。目前,姜黄属中药多糖的相对分子质量研究多集中于莪术多糖、姜黄多糖和桂郁金多糖。苟学梅^[12]采用凝胶柱色谱 G-100 的方法测定蓬莪术多糖的相对分子质量,中性多糖(CPP1)和酸性多糖(CPP2)的相对分子质量分别为 8.4664×10^4 和 2.2464×10^4 。Dong 等^[17]采用高效凝胶渗透色谱法测定广西莪术多糖中酸性多糖(CKAP-2)的相对分子质量是 1.4×10^4 。Zhu 等^[33]采用高效凝胶渗透色谱法对不同组分姜黄多糖的相对分子质量进行测定,中性多糖(TPs-0)和酸性多糖(TPs-3)相对分子质量较大,分别为 1.1689×10^5 和 1.3420×10^5 ,TPs-1 和 TPs-2 相对分子质量较小,分别为 1.046×10^4 和 4.284×10^4 。关媛等^[27]采用高效凝胶渗透色谱仪和 TSK-gel G-4000PWx1 凝胶柱测定桂郁金多糖相对分子质量,结果表明中性多糖(WPCK-N)相对分子质量较高,为 2.88×10^5 ,酸性多糖(WPCK-A)相对分子质量仅为 1.39×10^5 。莪术多糖、姜黄多糖和桂郁金多糖的中性多糖相对分子质量较酸性多糖大,姜黄多糖和桂郁金多糖均为高相对分子质量多糖,但不同相对分子质量造成姜黄属多糖活性差异的具体机制未有研究。因此,研究者应深入开展相对分子质量与姜黄属中药多糖生物活性之间的构效关系和分子机制研究,有助于从相对分子质量调控角度实现姜黄属中药多糖的开发与生产。表 1 系统总结了姜黄属多糖在相对分子质量、单糖组成及结构特征等方面的研究进展。

中药多糖的结构特征是其生物活性的物质载体,也是连接传统药效理论与现代分子机制的核心纽带,它们之间存在着复杂的构效关系,这种关系

表 1 姜黄属中药多糖的相对分子质量、单糖组成及结构特征信息

Table 1 Information on relative molecular mass, monosaccharide composition and structural characteristics of polysaccharides from <i>Curcuma</i>					
来源	多糖名称	相对分子质量	单糖组成	结构特征	文献
桂郁金	WPCK-N	2.88×10^5	葡萄糖 98.3%、甘露糖 0.8%、半乳糖 0.9%	中性糖, 红外光谱显示 O-H、C-H 伸缩振动特征	27
桂郁金	WPCK-A	1.39×10^5	半乳糖 26.9%、葡萄糖 21.4%、阿拉伯糖 11.7%、鼠李糖 8.6%、木糖 6.3%、岩藻糖 2.5%	酸性糖, 含糖醛酸结构 9.25%, 红外光谱显示羧基 C=O 吸收峰 $1\,640\text{ cm}^{-1}$	27
蓬莪术	蓬莪术多糖	—	甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖	主链含(1→3,6)- α -Galp 分支, 协同抗炎活性	23
姜黄	TP-0	9.8×10^4	半乳糖 15.9%、半乳糖醛酸 15.2%、阿拉伯糖 11.4%、鼠李糖 9.7%、葡萄糖 31.1%	酸性多糖, 主链为鼠李糖半乳糖醛酸聚糖-I, RG-I, 具有三螺旋构象	34
姜黄	TPs-0	$1.168\,9 \times 10^5$	葡萄糖 52.0%、半乳糖 41.6%、阿拉伯糖 1.8%、半乳糖醛酸 3.6%	主链由 α -Araf-(1→4)- α -Glc-(1→3)- α -Arap-(1→3)- β -Galp-(1→3,6)- α -Galp-(1→5)- α -Araf-(1→3)- β -Galp-(1→R) 组成, 分支度 22.75%	33
姜黄	TPs-1	1.046×10^4	葡萄糖 64.1%、甘露糖 14.5%、阿拉伯糖 5.8%、半乳糖 11.0%、木糖 3.4%	线性主链, 相对分子质量小, 易吸收	33
姜黄	TPs-2	4.284×10^4	鼠李糖 5.0%、葡萄糖 25.4%、半乳糖 24.6%、阿拉伯糖 10.7%、木糖 9.6%、半乳糖醛酸 19.6%、葡萄糖醛酸 2.3%	含高比例酸性单糖, 总糖醛酸 21.9%, 复杂侧链, 羧基团靶向炎症部位	33
姜黄	TPs-3	1.342×10^5	鼠李糖 9.2%、葡萄糖 20.5%、半乳糖 26.0%、阿拉伯糖 5.4%、木糖 13.0%、半乳糖醛酸 17.2%、葡萄糖醛酸 2.4%	三维网状结构, 糖醛酸总占比 19.6%, 螯合 Fe^{2+} 抑制 Fenton 反应, 显著延长 APTT 时间	33
广西莪术	nCKAP-2	未明确	—	主链由 1,3- α -D-Araf 残基组成, 线性构象干扰肿瘤 DNA 复制	29
广西莪术	CKAP-2	1.4×10^4	半乳糖醛酸 90.7%、鼠李糖 2.3%、阿拉伯糖 5%、半乳糖 2.6%	主要由高半乳糖醛酸区和少量的 I 型半乳糖醛酸区组成。甲基化度约为 62.4%	17
莪术	CKNP	未明确	果糖、葡萄糖	主链由 (2→6)-linked β -D-Fruf 残基组成, 侧链为单一 β -D-Fruf 残基	28

“—”表示未报道; APTT-活化部分凝血活酶时间。
“—” indicates not reported; APTT-activated partial thromboplastin time.

贯穿中药多糖的一条主线, 包括单糖组成、糖苷键类型、相对分子质量分布、空间构象及化学修饰等^[25-26]。单糖组成是决定多糖功能多样性的基础; 而糖苷键的类型和连接方式直接影响多糖的高级结构及生物识别能力; 相对分子质量则通过调控溶解性和生物利用度来影响活性; 化学修饰(如硫酸化、乙酰化)和空间构象的调控进一步拓展了多糖的功能边界。通过解析其单糖组成、糖苷键类型、相对分子质量分布及空间构象, 不仅能够阐明中药辨证施治的科学内涵, 还可为定向优化结构(如酶解修饰、纳米递送)提供理论依据。

4 姜黄属中药多糖的药理作用

现代药理学研究表明, 多糖作为姜黄属植物的主要活性成分之一, 具有抗氧化、抗肝纤维化、抗肿瘤、抗溃疡、降血糖、增强免疫、抗炎、抗凝血

等药理活性。近年来, 研究者聚焦姜黄属多糖的药理活性及作用机制展开研究, 丰富了姜黄属中药多糖开发利用的价值。图 1 为姜黄属中药多糖的主要药理活性及其作用机制的总结与概括。

4.1 抗氧化活性

氧化应激是诱发诸多疾病的重要因素, 如出血性休克、脑缺血、心肌缺血、癌症等^[35-36]。研究表明, 姜黄属中药的多糖成分具有良好的清除活性自由基和抗氧化应激作用。在姜黄属多糖体外抗氧化能力研究中, Zhu 等^[33]对提取纯化得到的 4 个不同相对分子质量的姜黄多糖组分(TPs-0~3)进行抗氧化活性研究。测定结果表明, 这些姜黄多糖组分对(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical, DPPH)、ABTS 自由基阳离子[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS⁺]阳离

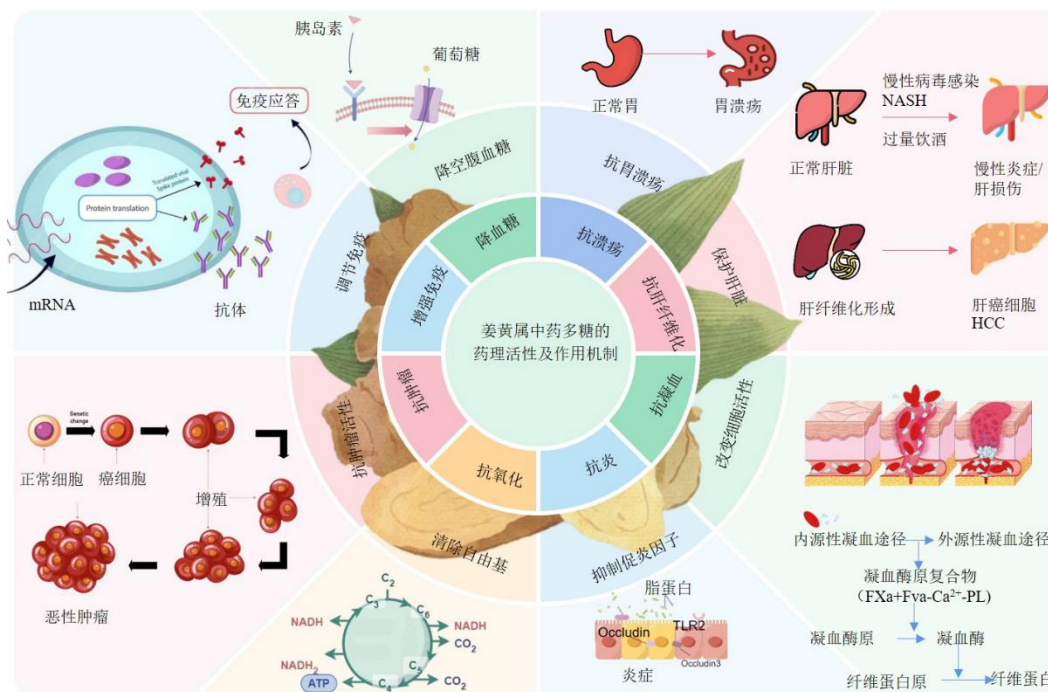


图 1 姜黄属中药多糖的药理活性及作用机制图

Fig. 1 Pharmacological activities and mechanism of polysaccharides from *Curcuma*

子、羟基自由基均具有抗氧化作用，其中 TPs-2 的抗氧化作用尤为突出。葛青等^[9]研究发现通过稀碱提取法获得姜黄水溶性多糖组分对多种自由基 (DPPH 自由基、羟自由基、ABTS 自由基及超氧阴离子) 均表现出显著的清除作用。侯敏娜等^[37]研究表明姜黄郁金多糖对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基具有明显的清除能力，最大清除率分别为 (42.91 ± 0.54) % 和 (33.28 ± 0.69) %。苟学梅等^[38]研究发现当蓬莪术多糖 (CPP) 对 DPPH 自由基的最高清除率为 82.33% (0.75 mg/mL)，半数抑制浓度 (half maximal inhibitory concentration, IC₅₀) 为 0.29 mg/mL；对羟基自由基的最大清除率达 86.13% (1.0 mg/mL)，其 IC₅₀ 值为 0.44 mg/mL；对超氧阴离子的清除能力达到 83.33% (1.0 mg/mL)，其 IC₅₀ 值为 0.36 mg/mL。覃欢^[39]研究发现醋温郁金多糖具有 DPPH 自由基清除活性能力。

在姜黄属多糖体内抗氧化活性研究中，Chen 等^[40]以洛伐他汀为对照，发现广西莪术多糖可以调节脂质过氧化的程度，增强抗氧化防御系统。陈旭^[41]建立外源性高脂血症大鼠模型，结果发现广西莪术多糖能升高大鼠血液中的超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 活性，降低丙二醛水平，具有明显的抗氧化作用。宋扬^[15]和王关林

等^[42]研究结果发现莪术多糖可提高雏鸡的抗氧化能力，增强 SOD 活力，降低脂质过氧化物 (lipid peroxide, LPO) 含量，且莪术多糖对羟自由基和超氧阴离子均有明显的清除作用。同时，莪术多糖还能提高 SOD 活性，具有抗氧化作用。姜黄属中药多糖可能通过清除体内过剩的自由基，调节活性氧，调控氧化还原信号通路发挥抗氧化的作用。

4.2 抗肝纤维化

肝纤维化是一个病理生理过程，是指由各种致病因子所致肝损伤后的一种损伤修复反应，导致肝内结缔组织异常增生，其发病机制主要因肝脏细胞炎症或坏死，及细胞外基质异常沉积有关^[43]。何科等^[44]研究莪术多糖对猪血清所致肝纤维化大鼠的保护作用，发现持续 ig 莪术多糖 30 d 可以降低猪血清所致大鼠肝纤维化血清肝功能中的丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶水平，同时减少肝组织中透明质酸、III 型前胶原、层黏连蛋白的含量，并显著下调肝组织 α-平滑肌动蛋白和转化生长因子-β1 的表达，从而改善大鼠肝纤维化。张平等^[45]探讨莪术多糖对大鼠肝星状 HSC-T6 细胞的细胞凋亡调节因子 B 淋巴细胞瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2) 相关 X 蛋白 (Bcl-2 associated X protein, Bax) 和细胞凋亡抑制蛋白-1 (myeloid cell leukemia-1, Mcl-1) 表达的影响，对 HSC-T6 细胞

使用不同浓度的莪术多糖干预处理 72 h 后, 检测发现与模型组比较, 莪术多糖能明显抑制 HSC-T6 细胞增殖, 显著上调内源性 Bax 和 Mcl-1 的蛋白表达, 具有抗肝星状细胞增殖作用。目前, 对于姜黄属中药多糖的研究仍处于临床前阶段。尽管动物模型研究已表明莪术多糖通过调节细胞凋亡等途径具有抗肝纤维化作用, 但尚未有临床相关研究报道。最近的一项发明专利制备了肝脏保护用途的蓬莪术多糖药物制剂。多项研究表明, 姜黄属植物多糖具有治疗肝脏疾病的潜在临床应用价值, 近年来已成为研究热点。

4.3 抗肿瘤

姜黄属中药含有多种具有抗肿瘤活性的特征性成分, 包括姜黄素及其衍生物(去甲氧基姜黄素、双去甲氧基姜黄素), 及莪术二酮、吉马酮、莪术醇和 β -榄香烯等^[46]。作为姜黄属中药的另一大类重要成分, 姜黄属多糖也显示出显著的抗肿瘤能力。陈志强等^[47]研究发现莪术多糖(CZP)能够有效抑制小鼠肺癌 Lewis 细胞的增殖, 促进淋巴细胞增殖, 显著增强巨噬细胞的吞噬功能。同时建立了 Lewis 肺癌荷瘤小鼠模型, 研究表明 CZP 具有抑瘤作用, 能够提高小鼠脾脏指数、白细胞介素-2(interleukin-2, IL-2)、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、 γ 干扰素的水平, 发挥抑制 Lewis 肺癌生长的作用。宋扬^[15]建立小鼠 S₁₈₀ 实体瘤接种模型, 结果发现广西莪术多糖剂量为 500 mg/kg 时, 其抑瘤率高达 63.19%, 可提高 SOD、GSH-Px 活性, 降低丙二醛含量, 具有抗 S₁₈₀ 实体瘤的能力, 呈剂量相关性, 表明广西莪术多糖可能通过清除自由基, 提高机体免疫能力及抗氧化功能来抑制 S₁₈₀ 细胞的生长, 表现出抗肿瘤活性。Choi 等^[34]研究发现, 姜黄活性多糖(TP-0)促进小鼠腹腔巨噬细胞分泌多种免疫刺激性细胞因子, 此外, 静脉注射和口服 TP-0 均显著增强了自然杀伤细胞和细胞毒性 T 淋巴细胞(cytotoxic T lymphocytes, CTL)介导的对肿瘤细胞的杀伤作用。Jiang 等^[29]研究发现广西莪术多糖(nCKAP-2)能够有效解除骨髓源性抑制细胞(myeloid-derived suppressor cells, MDSCs)对 T 细胞功能的抑制作用, 可上调半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶-3(cystein-aspartate protease-3, Caspase-3)、Caspase-9、聚腺苷二磷酸核糖聚合酶及 Bax 等促凋亡蛋白的表达水平, 下调 Bcl-xL 等抗凋亡蛋白的表达诱导 MDSCs 发生 G₀/G₁ 期凋亡, 这一凋亡过程主要依赖

于 Toll 样受体 4(Toll-like receptor 4, TLR4)/核因子- κ B(nuclear factor- κ B, NF- κ B)信号通路的激活。

目前, 对于姜黄属中药多糖抗肿瘤的研究主要局限于临床前研究。体内、外研究表明, 姜黄属中药多糖可能通过清除自由基, 免疫调节、抗氧化功能、促进巨噬细胞分泌多种免疫刺激性细胞因子、激活 TLR4/NF- κ B 信号通路, 调控多个凋亡相关蛋白的表达等途径来发挥抗肿瘤作用, 表明姜黄属中药多糖有望作为一种低毒、高效的抗肿瘤成分, 与一些化疗药物合用以提高患者的生活质量, 具有良好的应用前景。然而, 尚未有评估其作为单药治疗或辅助治疗人类癌症的注册临床试验报道, 这也为姜黄属中药多糖作为抗肿瘤成分进行化疗药物的开发提供了研究方向与应用前景。

4.4 抗溃疡、抗炎

溃疡是一种炎症性疾病, 消化性溃疡主要包括胃溃疡、溃疡性结肠炎等。消化性溃疡的腹痛、腹泻、血便等症状严重影响着患者的健康生活, 且易并发胃癌、结直肠癌等威胁患者的生命。Harsha 等^[10]采用体内、外模型, 评估了从姜黄中分离的天然姜黄果胶多糖(TrPP)和改性低相对分子质量姜黄果胶多糖(MTrPP)的抗胃溃疡能力。结果表明, 口服 MTrPP(200 mg/kg)可有效阻断近 85%应激性溃疡所致的胃损伤, 且显著优于 TrPP。MTrPP 可对胃黏膜有保护作用, 能抑制 H⁺, K⁺-ATP 酶减少 H⁺ 流入胃腔, 抑制幽门螺杆菌的生长和黏附, 并恢复 LPO、谷胱甘肽、SOD 和过氧化氢酶(catalase, CAT)的水平, 发挥抗胃溃疡的能力。鉴于溃疡是一种以炎症反应为特征的疾病, 研究者建立了大鼠胃炎模型, 以进一步研究 MTrPP 抗溃疡作用的抗炎机制^[48]。研究发现 MTrPP 通过抑制促炎因子如 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6、IL-8、NF- κ B 产生, 并调节环氧合酶-1(cyclooxygenase-1, COX-1)、COX-2、磷酸化 p38 丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinases, MAPK)、细胞外调节蛋白激酶 1/2(extracellular regulated protein kinase 1/2, ERK1/2)和基质金属蛋白酶的活性, 同时抑制黏膜半乳糖凝集素-3、黏蛋白、前列腺素 E₂、亚硝酸盐和硝酸盐、锌、免疫球蛋白 A(immunoglobulin A, IgA)等, 从而发挥抗炎作用, 改善胃溃疡。Yang 等^[49]研究了姜黄多糖(turmeric polysaccharides, TPs)对葡聚糖硫酸钠(dextran sulfate sodium, DSS)诱导的溃疡性结肠炎肠道菌群失衡的预防能力。结果表明, TPs

能减缓 DSS 所致的小鼠体质量减轻和脾脏质量增加, 增长结肠长度, 改善结肠炎小鼠的结肠黏膜损伤, 降低结肠和血清中的细胞因子 TNF- α 、IL-17、IL-10 含量, 并增加了与色氨酸代谢相关的益生菌的丰度。

4.5 降血糖

随着人们生活质量的提高, 饮食方式发生转变, 以高血糖为特征的代谢疾病——糖尿病的患病率逐年上升, 且呈年轻化的趋势, 严重威胁人们的健康^[50]。目前, 以化学药为主的治疗方式虽有一定疗效, 但也存在一定的不良反应^[51]。因此, 研究中药天然活性成分的降血糖能力, 以防治糖尿病, 具有重要的研究意义。段晋宁等^[52]采用糖尿病大鼠模型, 探讨了莪术多糖对实验性糖尿病大鼠血糖、抗脂质过氧化作用的影响。发现莪术多糖能显著降低糖尿病大鼠空腹血糖水平, 并抑制糖尿病大鼠胰腺组织中丙二醛的生成、提高 SOD、GSH-Px、CAT 活力, 减轻自由基及其代谢产物对胰腺组织的伤害作用, 具有良好的降血糖和抗脂质过氧化作用。肖旺^[53]采用高糖高脂联合链脲佐菌素诱导 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 模型, 研究广西莪术多糖 (*Curcuma kwangsiensis* polysaccharide, CKP) 对 T2DM 大鼠的降血糖作用。研究发现广西莪术多糖 0.5、1.0、2.5 g/kg 均可以降低糖尿病大鼠的空腹血糖、血糖总胆固醇和三酰甘油水平、减少胰腺死亡因子蛋白表达, 减少胰岛 β 细胞凋亡, 从多个方面发挥降血糖作用。

在姜黄属中药中, 目前仅见莪术多糖相关的降血糖活性报道, 且其作用机制尚需深入研究。关于姜黄多糖、郁金多糖的降血糖研究尚未开展。因此, 可对姜黄多糖和郁金多糖的降血糖活性进行进一步研究, 为扩充和完善姜黄属中药防治糖尿病奠定理论基础。

4.6 增强免疫

作为天然的生物反应调节剂, 植物来源的多糖类物质在免疫调节方面具有显著功效。研究表明, 这类生物大分子能够通过多种途径发挥免疫调节作用, 包括刺激免疫器官发育、促进免疫细胞增殖、激活免疫细胞功能及诱导免疫因子分泌等^[54-55]。董彩霞等^[28]采用离子交换色谱结合凝胶滤过色谱等技术, 成功分离纯化出 3 个多糖组分 (CKNP、CKAP-1 和 CKAP-2)。通过体外实验初步评价纯化多糖的免疫刺激活性, 实验结果表明, 当多糖用量为 40

$\mu\text{g/mL}$ 时, 3 个多糖均能刺激巨噬细胞 RAW264.7 的增殖并提高巨噬细胞的吞噬能力。Son 等^[56]探究从姜黄中纯化得到的鼠李糖质酸-I 型多糖 (TPE-I) 对 RAW264.7 细胞免疫刺激和细胞内信号通路机制的影响, 特别是其对 MAPK 和 NF- κB 途径的影响。结果表明 TPE-I 可显著增加巨噬细胞中 IL-6、TNF- α 和一氧化氮的分泌; 且 TPE-I 呈剂量相关性地激活了 MAPK 和 NF- κB 途径, 从而增强巨噬细胞的免疫反应。Zhu 等^[57]探讨了 TP 对环磷酰胺诱导的免疫抑制 BALB/c 小鼠的肠道免疫和肠道菌群的影响。研究了不同相对分子质量的多糖组分 TP-0 和 TP-3 改善胸腺和脾脏指数、增加全血免疫细胞和淋巴细胞计数指数、刺激血清 IgG 分泌的能力。研究发现 TP-0 和 TP-3 能够修复肠道免疫损伤, 减轻肠道炎症, 并通过增加乳酸杆菌和拟杆菌属的丰度及抑制葡萄球菌的丰度来缓解肠道菌群紊乱。

4.7 抗凝血

血栓的形成是心脑血管疾病的发病基础, 对人类的生命健康造成了巨大的威胁。目前临床上常用的抗凝剂, 肝素、维生素 K 拮抗剂等, 虽有一定疗效, 但可能会诱发血小板减少症、出血症和高血钾症等副作用。因此, 在天然中药中探索安全、高效的抗凝血活性成分是目前研究的热点。潘小姣等^[24]对桂郁金多糖的抗凝血作用进行研究, 发现其能明显延长小鼠全凝血时间、APTT 和凝血酶时间, 对凝血因子 I 和凝血因子 II 无明显影响, 含药血清不能在体外溶解纤维蛋白, 无纤溶活性。以上研究表明桂郁金多糖通过内源性凝血途径和共同凝血途径发挥抗凝血作用。俞献文^[58]通过体内、外实验对不同剂量桂郁金多糖的抗凝血作用及机制进行研究, 研究结果表明, 桂郁金多糖通过改善细胞活性、血小板与内皮功能、纤溶系统、氧化应激、炎症因子、细胞凋亡等方面, 有效抑制血栓形成, 从而发挥抗凝血的作用。曾金强等^[59]在前期对桂郁金多糖抗凝血作用的研究基础上, 采用纤维蛋白琼脂平板法, 对广西莪术及其茎叶的多糖进行体外纤溶活性研究。利用分步沉淀法, 分离广西莪术及其茎叶的多糖, 研究发现广西莪术多糖在体积分数 10% 乙醇沉淀时, 体外纤溶效果稳定; 广西莪术茎叶体积分数 10%~60% 的乙醇沉淀多糖均有较明显的体外纤溶活性, 以上研究表明广西莪术及其茎叶的多糖成分具有体外纤溶活性, 在抗血栓方面具有开发的潜在价值。

姜黄属中药均具有破血行气、活血止痛的功效,有研究发现莪术具有改善气滞血瘀证大鼠血液流变学作用^[60],因此,姜黄属中药多糖成分的抗凝血深入研究具有一定的理论基础和研究价值。

4.8 其他药理活性

姜黄属中药多糖可抑制牙龈成纤维细胞增殖、改善人脐静脉内皮细胞损伤等作用。Niyomploy 等^[61]通过 MTT 细胞测定法评估野生姜黄对人牙龈成纤维细胞增殖作用。从中获得了中性多糖组分 P11 和酸性多糖组分 P21, P11 (100 $\mu\text{g/mL}$) 可显著诱导人牙龈成纤维细胞增殖 30%, 而 P21 (100 $\mu\text{g/mL}$) 可显著抑制牙龈成纤维细胞增殖 92%, 这一结果表明酸性姜黄多糖抑制牙龈成纤维细胞增殖作用更强。俞献文等^[62]通过体外实验研究不同剂量桂郁金多糖对过氧化氢 (H_2O_2) 诱导人脐静脉内皮细胞 (human umbilical vein endothelial cells, HUVECs) 损伤的保护作用及机制。发现桂郁金多糖 15.625~500 mg/L 时, 能促进细胞增殖, 但质量浓度增大后, 桂郁金多糖则对细胞有一定的抑制作用。此外, 桂郁金多糖可降低乳酸脱氢酶、丙二醛、IL-6、TNF- α 水平, 增加 SOD 和 GSH-Px 的含量。Hoechst 33258 荧光染色结果表明, 桂郁金多糖给药后细胞凋亡典型形态减少。另外, 桂郁金多糖还能增加 *Bcl-2* 的 mRNA 表达, 减少 *Bax*、*Caspase-3* 的 mRNA 表达, 通过抗氧化和抑制细胞凋亡等途径发挥保护 H_2O_2 损伤的 HUVECs 的作用。陈旭^[41]研究发现莪术多糖对高脂饲料喂养大鼠所致高脂血症的血脂紊乱, 有明显的改善作用, 能够降低总胆固醇、三酰甘油和低密度脂蛋白胆固醇, 提高高密度脂蛋白胆固醇, 降低载脂蛋白 B 水平, 上调激素敏感性脂肪酶、下调 *perilipin* 基因转录表达促进脂质代谢, 调节血脂紊乱。

5 结语与展望

姜黄属中药作为中医临床常用的活血行气要药, 因其品种中具有“药食同源”属性的姜黄在功能性食品和医药方面的健康益处, 而受到广泛关注。近年来研究发现, 从姜黄属中药中分离纯化出的多糖凭借其良好的药理作用, 使得开发新型生物活性多糖及研发多糖健康产品和药物已成为当前研究的热点。

姜黄属中药多糖的提取方法目前多集中于溶剂提取法、生物酶解辅助提取、超声强化提取及微波辅助提取等方法。热水浸提法和碱提法相比, 多

糖提取量较低, 提取时间较长, 溶剂用量较多, 但是热水提取法的提取工艺简单, 应用成本较低, 可以应用在大规模的工业生产中。酶解法较传统溶剂提取法提取效率更高, 不仅溶剂用量少, 还能缓解因为溶剂应用所造成的环境污染, 其应用前景较为广阔, 但是酶容易受到其他因素的影响, 需要严格控制提取条件, 保证较高的提取率。超声波物理辅助提取方法, 能够和其他化学提取方法共同使用, 不仅能够缩短提取时间, 提高得糖率, 还能降低多糖提取温度。但是若超声时长过长, 可能会引起可溶性多糖出现降解。相比传统的热水提取法, 微波提取法的用时更短, 得糖率更高^[63]。但是微波辅助提取时间过长, 会破坏多糖结构, 破坏多糖的活性分子。后续的研究还可从超临界流体萃取提取法来进一步优化姜黄属中药多糖的提取工艺, 超临界流体萃取, 其萃取能力非常强, 也可提高多糖的得率^[64]。在姜黄属中药多糖的实际研究中, 应结合实验条件和研究重点, 选择合适的提取工艺。结合提高姜黄属中药多糖得率和最大限度地保留多糖的生物活性, 不断地优化姜黄属中药多糖提取工艺。但目前姜黄属中药多糖的生物活性作用机制尚存在难点, 还需要不断攻克。

目前, 姜黄属中药多糖的研究均取得了一定进展, 但在其提取、分离纯化、结构表征及药理作用方面仍有一些问题需要深入探讨, 未来对姜黄属中药多糖的研究应聚焦在以下几个方面。(1) 多糖的生物活性与其提取方法、分离纯化和结构特征密切相关。然而, 目前对姜黄属中药多糖的制备主要以热水浸提、微波辅助等提取方法为主, 这些方法存在提取时间长、多糖得率较低的问题。(2) 目前对姜黄属中药多糖结构表征的研究较少, 其结构分析多限于单糖组成方面。对于多糖的相对分子质量, 糖苷键的连接方式、结构特征及构效关系等研究占比较少。与其他中药多糖相比较, 无法体现出差异性, 导致对姜黄属中药多糖的相关生物活性的研究主要集中在细胞和动物实验上, 临床试验未见报道, 极大地限制了其在产品开发领域的应用。(3) 研究发现姜黄属中药多糖具有较好的抗氧化活性, 说明其具有作为天然抗氧化剂的潜力, 但是目前姜黄属中药多糖的其他药理活性研究较为局限。在姜黄属中药中, 莪术多糖、郁金多糖和姜黄多糖在抗氧化作用方面均有研究, 但仅莪术多糖在降血糖、抗肿瘤、免疫调节、抗肝纤维化方面的研究报道较

多;仅桂郁金多糖在抗凝血方面的研究报道较多;仅姜黄多糖具有抗溃疡、抗炎方面的研究。此外,对于姜黄属多糖生物活性的研究多基于总多糖,对其中单糖组分的作用缺乏细致探讨;其作用机制研究大部分仅停留在药效层面,并且只关注了少数几个信号通路作用的影响。(4)目前姜黄属中药中的多糖研究相对其姜黄素类和挥发油类等成分报道较少,且多集中在姜黄、莪术 2 种姜黄属中药上,对于其他姜黄属中药如郁金等的研究较少。(5)中药多糖具有安全、低毒、高生物相容性和可生物降解性等生物学活性,在食品、工业和医药等领域具有重要的应用价值。但在临床应用方面,多糖存在生物利用度低和潜在的免疫原性问题,及长期使用和高剂量的安全性,都为其临床应用带来了不确定性。目前未有关于姜黄属中药多糖对动物安全性研究,研究者应进一步对姜黄属中药多糖在临床应用中可能的不良反应与急性毒性、遗传毒性、亚慢性毒性、致癌实验等毒理学展开深入研究,为姜黄属中药多糖在后续的临床安全应用奠定基础。因此,应进一步加强姜黄属中药多糖的分离纯化及化学结构研究,进一步探讨姜黄属中药多糖的药理作用活性及其机制研究,同时可开展各姜黄属药材中多糖活性的对比研究,以改变目前“重莪术姜黄轻郁金,重挥发油姜黄素轻多糖”的研究现状。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 刘念,吴德邻.中国姜黄属植物的订正[J].热带亚热带植物学报,1999,7(2):146-150.
- [2] 刘睿,高丹丹,崔涛,等.郁金及其近缘药材的研究进展及质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J].中草药,2019,50(2):273-280.
- [3] 中国药典[S].一部.2020:276.
- [4] Sun W, Wang S, Zhao W W, et al. Chemical constituents and biological research on plants in the genus *Curcuma* [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2017, 57(7): 1451-1523.
- [5] 李承浩,郑富香,游广娇,等.17种中药多糖提取物的理化性质研究[J].天津中医药大学学报,2021,40(5):621-627.
- [6] 吴建军,邹剑,马致洁,等.从2005—2023年国家自然科学基金资助项目浅谈中药多糖的研究现状[J].中草药,2024,55(4):1053-1062.
- [7] 杨海玲,黄文男,林婕,等.姜黄多糖提取工艺优化研究[J].食品研究与开发,2015,36(10):23-25.
- [8] 黄凤香,廖迎,曾建红,等.广西莪术多糖水提工艺优化及不同产地多糖含量测定[J].湖北农业科学,2013,52(16):3947-3950.
- [9] 葛青,方吉雷,范煜,等.姜黄碱提水溶性多糖的工艺优化及其抗氧化活性研究[A]//2017中国食品科学技术学会第十四届年会暨第九届中美食品业高层论坛论文摘要集[C].无锡:中国食品科学技术学会第十四届年会暨第九届中美食品业高层论坛,2017:474-475.
- [10] Harsha M R, Chandra Prakash S V, Dharmesh S M. Modified pectic polysaccharide from turmeric (*Curcuma longa*): A potent dietary component against gastric ulcer [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 138: 143-155.
- [11] 蒋德旗,程媛媛,覃丽媛,等.响应面法优化复合酶提取莪术多糖工艺及其抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2023,34(7):43-49.
- [12] 苟学梅.蓬莪术多糖的分离纯化和结构鉴定及抗氧化活性研究[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [13] 宋九华,雷诗芸,史铠.微波辅助姜黄多糖提取工艺优化及野生与家种姜黄多糖含量比较研究[J].乐山师范学院学报,2023,38(4):27-32.
- [14] 王关林,罗红梅,方宏筠,等.莪术多糖的分离提取及其生物学活性研究[J].营养学报,2004,26(5):366-369.
- [15] 宋扬.莪术多糖的分离纯化及生物学活性研究[D].大连:辽宁师范大学,2006.
- [16] 宋扬,佟宇辉.莪术多糖的分离纯化[J].大连民族学院学报,2006,8(1):31-33.
- [17] Dong C X, Zhang W S, Sun Q L, et al. Structural characterization of a pectin-type polysaccharide from *Curcuma kwangsiensis* and its effects on reversing MDSC-mediated T cell suppression [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 115: 1233-1240.
- [18] 野津,张文森,王知斌,等.姜黄属多糖的提取分离和含量测定研究进展[J].化学工程师,2019,33(12):45-47.
- [19] 刘晓涵,陈永刚,林励,等.蒽酮硫酸法与苯酚硫酸法测定枸杞子中多糖含量的比较[J].食品科技,2009,34(9):270-272.
- [20] 王晓华,朱华,曾建红,等.不同采收时间桂郁金多糖含量的测定[J].中国民族民间医药,2010,19(22):149-150.
- [21] 王晓华,朱华,陈旭,等.不同基原的郁金类药材中郁金多糖的含量测定[J].安徽农业科学,2012,40(9):5173-5174.
- [22] 戴平,黄凤香,曾建红,等.不同醇沉浓度对广西莪术多糖含量的影响[J].时珍国医国药,2012,23(10):2436-2437.
- [23] 康荣,胡玉莹,李明华,等.蓬莪术多糖PMP-HPLC指纹图谱与抗氧化活性的相关分析[J].中国药杂志,2023,58(18):1650-1656.
- [24] 潘小姣,杨秀芬,陈丽萍,等.桂郁金多糖抗凝血及纤

- 溶活性研究 [J]. 医药导报, 2013, 32(2): 163-165.
- [25] Ai X P, Yu P L, Li X Y, *et al.* Polysaccharides from *Spirulina platensis*: Extraction methods, structural features and bioactivities diversity [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 231: 123211.
- [26] 赵宁, 韩著, 简颖琳, 等. 中药多糖结构表征及质量评价研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(21): 7491-7506.
- [27] 关媛, 严淑昕, 钱少林, 等. 桂郁金多糖结构表征及其体外抗氧化活性研究 [J]. 中成药, 2023, 45(12): 4166-4170.
- [28] 董彩霞, 张攻, 孙媛霞. 莪术多糖的分离、结构分析及其免疫活性的初步评价 [A] // 第一届《药学报》药学前沿论坛暨 2015 年中国药学会中药与天然药物专业委员会会议论文摘要集 [C]. 天津: 第一届《药学报》药学前沿论坛暨 2015 年中国药学会中药与天然药物专业委员会会议, 2015: 106.
- [29] Jiang S L, Ma J, Li Y X, *et al.* A polysaccharide from native *Curcuma kwangsiensis* and its mechanism of reversing MDSC-induced suppressive function [J]. *Carbohydr Polym*, 2022, 297: 120020.
- [30] 周雪艳, 常贺, 苟海芹, 等. 分子量影响多糖生物活性的研究进展 [J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2024, 45(1): 124-132.
- [31] 单政欣. 天然植物多糖分子量对其抗氧化活性的影响分析 [J]. 中国食品工业, 2025(2): 131-133.
- [32] Chaiwong N, Leelapornpisid P, Jantanasakulwong K, *et al.* Antioxidant and moisturizing properties of carboxymethyl chitosan with different molecular weights [J]. *Polymers*, 2020, 12(7): 1445.
- [33] Zhu Z P, Chen J, Chen Y, *et al.* Extraction, structural characterization and antioxidant activity of turmeric polysaccharides [J]. *LWT*, 2022, 154: 112805.
- [34] Choi E H, Son S U, Shin K S. Tumor inhibitory effect via immunostimulating activities of a rhamnogalacturonan-I-rich polysaccharide isolated from turmeric (*Curcuma longa* L.) [J]. *J Food Biochem*, 2022, 46(10): e14362.
- [35] 李泽宇, 曹瑞, 郝二伟, 等. 广西莪术化学成分和药理作用的研究进展及其质量标志物 (Q-Marker) 预测分析 [J]. 中草药, 2021, 52(15): 4687-4699.
- [36] 戴天艺, 刘冬恋, 秦兴敏, 等. 基于氧化应激反应探讨绞股蓝皂苷对高血脂症豚鼠肝脏损伤的保护作用 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(2): 349-357.
- [37] 侯敏娜, 侯少平, 吴满芳, 等. 响应面一满意度函数优化姜黄郁金多糖和黄酮共提工艺条件及其抗氧化性研究 [J]. 食品与机械, 2020, 36(12): 159-164.
- [38] 苟学梅, 王茜, 高刚, 等. 蓬莪术多糖体外抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 122-125.
- [39] 覃欢. 醋温莪术的化学成分及抗氧化活性研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2010.
- [40] Chen X, Zhong H Y, Zhu H, *et al.* Effect of *Curcuma kwangsiensis* polysaccharides on blood lipid profiles and oxidative stress in high-fat rats [J]. *Int J Biol Macromol*, 2009, 44(2): 138-142.
- [41] 陈旭. 广西莪术多糖生物活性与莪术醇免疫分析方法的研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [42] 王关林, 宋扬, 罗红梅. 莪术多糖对雏鸡抗氧化能力和免疫功能的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2006, 37(11): 1184-1188.
- [43] 陆伦根, 李郑红. 肝纤维化及肝硬化研究近况 [J]. 临床肝胆病杂志, 2013, 29(5): 321-323.
- [44] 何科, 梁韬. 莪术多糖对猪血清所致肝纤维化大鼠的保护作用 [J]. 中药药理与临床, 2014, 30(1): 64-66.
- [45] 张平, 马丽娜. 莪术多糖对大鼠肝脏星状细胞凋亡因子 Bax、Mcl-1 表达的影响 [J]. 养生保健指南, 2017(3): 183-184.
- [46] 秦宇雯, 费程浩, 张伟, 等. 姜黄属中药活血化瘀功效关联物质研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(1): 24-35.
- [47] 陈志强, 张英志. 莪术多糖对 Lewis 肺癌小鼠的抑制作用及机制 [J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(7): 1925-1927.
- [48] Rajagopal H M, Manjegowda S B, Serkad C, *et al.* A modified pectic polysaccharide from turmeric (*Curcuma longa*) with antiulcer effects via anti-secretory, mucoprotective and IL-10 mediated anti-inflammatory mechanisms [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 118(Pt A): 864-880.
- [49] Yang C C, Du Y, Ren D Y, *et al.* Gut microbiota-dependent catabolites of tryptophan play a predominant role in the protective effects of turmeric polysaccharides against DSS-induced ulcerative colitis [J]. *Food Funct*, 2021, 12(20): 9793-9807.
- [50] Mozaffarian D. Dietary and policy priorities for cardiovascular disease, diabetes, and obesity: A comprehensive review [J]. *Circulation*, 2016, 133(2): 187-225.
- [51] Brietzke S A. Oral antihyperglycemic treatment options for type 2 diabetes mellitus [J]. *Med Clin North Am*, 2015, 99(1): 87-106.
- [52] 段晋宁, 肖旺, 曾建红, 等. 莪术多糖对糖尿病大鼠血糖、抗脂质过氧化作用的影响与单糖组分分析 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(3): 569-572.
- [53] 肖旺. 广西莪术多糖对 2 型糖尿病模型大鼠的干预作用 [D]. 桂林: 桂林医学院, 2016.
- [54] Wang Y L, Han J, Yue Y, *et al.* Purification, structure identification and immune activity of a neutral

- polysaccharide from *Cynanchum Auriculatum* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 237: 124142.
- [55] Wu C, Shan J F, Feng J C, *et al*. Effects of dietary *Radix Rehmanniae Preparata* polysaccharides on the growth performance, immune response and disease resistance of *Luciobarbus capito* [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2019, 89: 641-646.
- [56] Son S U, Choi E H, Shin K S. Effects of rhamnogalacturonan-I type polysaccharide purified from *Curcuma longa* on immunostimulatory and intracellular signaling pathway mechanisms of macrophages [J]. *Food Biosci*, 2023, 53: 102589.
- [57] Zhu Z P, Luo Y R, Lin L T, *et al*. Modulating effects of turmeric polysaccharides on immune response and gut microbiota in cyclophosphamide-treated mice [J]. *J Agric Food Chem*, 2024, 72(7): 3469-3482.
- [58] 俞献文. 桂郁金多糖的抗凝血作用及机制研究 [D]. 南宁: 广西中医药大学, 2018.
- [59] 曾金强, 潘小姣, 陈秋燕, 等. 广西莪术及其茎叶多糖的体外纤溶活性研究 [J]. 中国医药导报, 2012, 9(33): 22-24.
- [60] 廖婉, 章津铭, 傅舒, 等. 醋莪术对气滞血瘀证血液流变学影响的表征及谱效相关性研究 [J]. 中成药, 2013, 35(2): 330-334.
- [61] Niyomploy P, Thunyakitpisal P, Karnchanatat A, *et al*. Cell proliferative effect of polyxyloses extracted from the rhizomes of wild turmeric, *Curcuma aromatica* [J]. *Pharm Biol*, 2010, 48(8): 932-937.
- [62] 俞献文, 唐丽清, 覃琴, 等. 桂郁金多糖对 H_2O_2 致人脐静脉内皮细胞损伤的保护作用及机制 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(23): 146-152.
- [63] 贺伟强, 张旭峰, 骆卢佳, 等. 响应面法优化微波辅助提取大球盖菇多糖 [J]. 食用菌, 2025, 47(2): 78-84.
- [64] 韦晓洁, 银慧慧, 孟菲, 等. 超临界 CO_2 流体萃取苦丁茶多糖的工艺优化 [J]. 广西植物, 2018, 38(5): 590-595.

[责任编辑 赵慧亮]