

综 述

DOI: 10.16305/j.1007-1334.2026.z20251116002

三七多糖的制备方法、结构分析以及药理作用的研究进展

郭晶晶^{1,2}, 谢春涛^{1,2}, 彭书洋^{1,2}, 冯陈国¹, 吴 飞^{1,2}, 王 源^{1,2}

1. 上海中医药大学创新中药研究院(上海 201203); 2. 中药现代制剂技术教育部工程研究中心(上海 201203)

【摘要】 三七多糖是中药三七的重要活性成分,通过系统梳理其在制备方法、结构解析及药理活性等方面的进展,发现制约其产业化与临床转化的瓶颈问题多集中在提取效率低、构效关系不清等方面。近年来,乳酸菌发酵等辅助提取技术的引入、圆二色光谱法等高级结构解析方法的应用、化学与生物合成技术及人工智能算法的兴起,都为破解上述难题提供了新的思路,也为三七多糖在药品和保健食品领域的研究与应用提供了参考。

【关键词】 三七多糖;制备方法;结构解析;药理活性;综述

Research progress on preparation, structural analysis and pharmacological activity of *Panax notoginseng* polysaccharides

GUO Jingjing^{1,2}, XIE Chuntao^{1,2}, PENG Shuyang^{1,2}, FENG Chenguo¹, WU Fei^{1,2}, WANG Yuan^{1,2}

1. Innovation Research Institute of Traditional Chinese Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China; 2. Engineering Research Center of Modern Preparation Technology of Traditional Chinese Medicine, Ministry of Education, Shanghai 201203, China

Abstract: As prominent bioactive components, *Panax notoginseng* polysaccharides (PNPs) are derived from the Chinese materia medica *Notoginseng Radix Et Rhizoma*. A comprehensive review of the advances in its preparation methods, structural elucidation, and pharmacological activities reveals that the primary barriers to its industrialization and clinical translation are suboptimal extraction efficiency and insufficient understanding of their structure-activity relationships. Recent developments have offered novel solutions to overcome these challenges. These include the adoption of auxiliary extraction techniques such as lactic acid bacteria fermentation, the implementation of advanced structural analysis methods like circular dichroism spectroscopy, the emergence of chemical and biosynthetic technologies, and the application of artificial intelligence algorithms. These advancements provide critical insights into the potential applications of PNPs in pharmaceuticals and nutraceuticals.

Keywords: *Panax notoginseng* polysaccharides; preparation methods; structural characteristics; pharmacological activity; review

三七为五加科人参属植物 *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 的干燥根及根茎,含有皂苷、多

糖、黄酮、氨基酸及挥发油等有效成分^[1],其中多糖在筋条、花、茎叶和剪口等部位中广泛分布^[2]。现代研究^[3]表明,三七多糖具有调节脂质代谢紊乱、增强免疫力、抗肿瘤和延缓衰老等药理作用。然而,目前三七多糖尚未形成规模化生产与应用,这可能与其得率低、结构复杂、构效关系不明等问题有关。因此,本文系统梳理了三七多糖在制备方法、结构解析及药理作用方面的研究进展,以期破解上述难题提供研究思路。

[基金项目] 国家中医药管理局国家重点研发计划“中医药现代化”项目子课题(基于民族医理论的民族药药效物质与作用机制研究)(2024YFC3506704)

[作者简介] 郭晶晶,女,硕士研究生,主要从事中药药效物质基础研究工作

[通信作者] 王源,副研究员,硕士研究生导师;

E-mail: amoness@163.com

1 三七多糖的制备方法

1.1 常见制备方法 作为三七多糖研究的初始环节,制备方法直接决定了其得率与结构特征,尤其是提取与纯化的方法。热水浸提法仍是最常用的方法,但该方法存在温度高、溶剂消耗大、提取时间长、提取效率低等问题^[4]。因此,通常结合超声辅助提取、酶解、乳酸菌发酵、磷酸化修饰及芬顿降解等辅助提取技术进一步提升多糖的提取效率。

三七多糖的分离是为了将多糖粗品从上述提取液的复杂混合物中初步分离出来。在该环节,常采用离心、减压浓缩、乙醇沉淀等方式进行处理。三七不同部位(根、花、叶)及三七根提取后的药渣中多糖的初步分离多采取乙醇沉淀的方式。

三七多糖的纯化旨在通过分离结构相近的杂质,获得高纯度的单一组分。在该环节通常用Savage法除蛋白、用活性炭或大孔树脂脱色,再以二乙胺基乙基(DEAE)系列凝胶柱与Sephadex G系列凝胶柱来进行柱层析纯化。

三七多糖现有制备方法的梳理见图1。

1.2 不同制备方法对三七多糖结构的影响 制备方法对三七多糖的得率、分子量、单糖组成等结构特征具有显著影响。

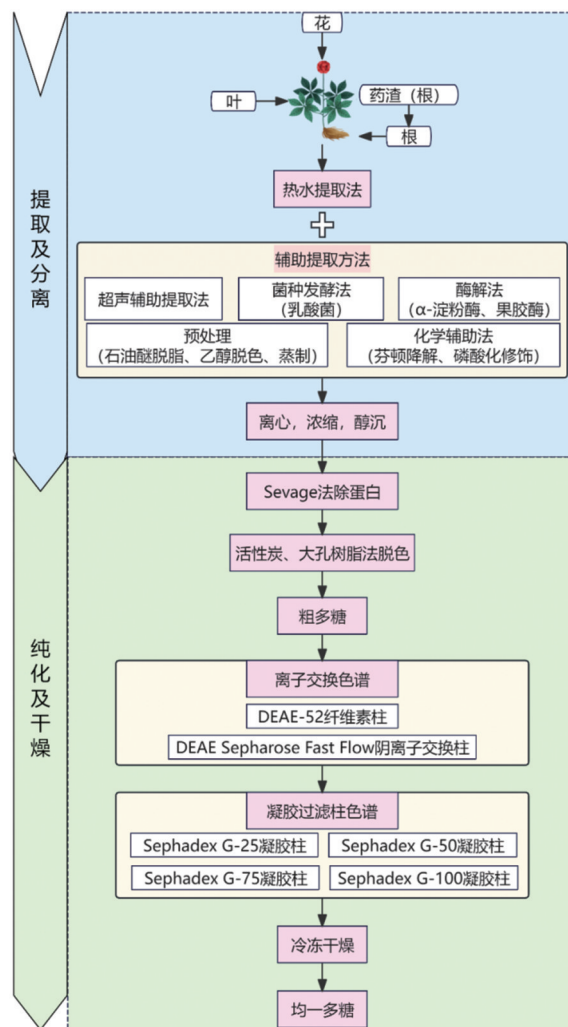
1.2.1 提取方法对多糖结构的影响 热水提取法是三七多糖制备的传统方法,但存在得率低、能耗高等局限。为突破这一瓶颈,研究者引入了多种辅助提取技术。

(1)酶辅助提取(如 α -淀粉酶、果胶酶)可显著提高得率,并能降解淀粉样葡聚糖,获得分子量更低的多糖组分。例如, α -淀粉酶辅助提取的三七多糖得率(6.5%)高于热水提取(4.7%),且所得低分子量葡聚糖PNPEN(2 kDa)具有延缓衰老活性,而热水提取的高分子量同源多糖PNPN(191 kDa)则无此活性^[5]。

(2)乳酸菌发酵不仅可提高多糖得率(提升达4.16倍),还能改变多糖的分子量分布和单糖组成;经植物乳杆菌发酵后,三七多糖分子量降低,葡萄糖含量显著提升,糖醛酸含量也有所增加。^[6]

(3)化学修饰法(如芬顿降解、磷酸化)可改变多糖结构。芬顿降解主要破坏多糖支链,显著降低分子量(从64.69~14.64 kDa降至5.89~8.92 kDa),但主链结构基本保持不变^[7]。磷酸化修饰则可引入磷酸基团,改变多糖的官能团组成和微观形态^[8]。

1.2.2 分离、纯化方法对多糖结构的影响 分级醇



注:DEAE为二乙胺基乙基。

图1 常见的三七多糖制备方法

沉可影响多糖分子量。随着乙醇浓度升高,沉淀出的多糖分子量逐渐降低,单糖种类更丰富,半乳糖和阿拉伯糖含量增加^[9]。例如,20%乙醇沉淀组分PNP20分子量最高(>500 kDa),而60%乙醇沉淀组分PNP60分子量最低(约18 kDa)^[9]。

离子交换层析(如DEAE-纤维素)利用电荷差异分离多糖,水洗脱可获得中性多糖,盐溶液洗脱则可获得酸性多糖;进一步通过不同浓度的盐溶液梯度洗脱,可将酸性多糖按酸性强弱分级,获得糖醛酸含量和单糖组成各异的组分。^[10]

凝胶过滤层析(如Sephadex G系列)根据分子量大小对多糖进行精细分离,是获得分子量均一多糖组分的重要步骤^[10-11]。

此外,脱色方法也会影响多糖的组成与活性。研究^[12]显示,相较于以保留中性多糖为主的大孔树脂脱色法,活性炭脱色法可富集更多酸性多糖,且

所得三七多糖的抗氧化活性显著优于大孔树脂法。

综上,三七多糖的得率及质量稳定性受提取、分离和纯化方法显著影响,优化制备工艺是提升产物获取效率的关键途径。

1.3 三七多糖的新型制备技术 上述制备方法获取的三七多糖依赖植物三七,因三七种植与生产成本高昂,原料供给成为制约其规模化应用的问题。随着化学全合成、生物合成及植物组织培养等新兴技术的发展,有望从多层面解决这一难题。这些技术不仅为获取三七多糖提供了可持续的新途径,也为深入解析其构效关系开辟了新思路。

1.3.1 化学全合成技术 多糖结构的复杂性使得从天然来源中获取组成均一、大量的样品极为困难,而化学全合成是解决这一问题的有效途径^[13]。2024 年的一项研究^[14]首次通过糖基供体预活化策略,成功完成了由 140 个单糖单元组成的三七多糖 RN1 的化学全合成。在研究过程中,发现该多糖的结构片段对 3 种胰腺癌细胞(Panc-1、Aspc-1 和 Bxpc-3)均表现出显著的增殖抑制活性,可能构成了 RN1 抑制胰腺癌作用的关键活性结构域,从而为抗胰腺癌新药的研发提供了有价值的先导化合物^[14]。该研究证明,即使对于如此复杂的大分子多糖,化学合成路径也具备可行性。更重要的是,该方法能够持续提供结构精确、均一的多糖样品,为深入开展系统的构效关系研究及同类型成分的探索奠定了关键基础。

1.3.2 生物合成技术 生物合成技术是通过阐明和利用生物体内的代谢途径与酶系统,在细胞或生物反应器中定向合成目标产物的方法,为三七多糖的规模化生产提供了潜在解决方案。目前,植物体内多糖的生物合成途径整个过程均依赖一系列关键酶的催化^[15]。值得关注的是,一项研究^[16]通过转录组与共表达网络分析,在同属五加科的人参根、茎、叶中筛选出 17 种与单糖及多糖含量显著相关的酶,并鉴定了 v-Myb 禽成髓细胞瘤病毒癌基因同源物(MYB)、无花瓣素 2(AP2)/乙烯反应因子(ERF)等转录因子,初步揭示了其多糖的生物合成路径。该成果为目前匮乏的三七多糖生物合成研究提供了可借鉴的方法与研究思路。

1.3.3 植物组织培养技术 植物组织培养是一种在无菌条件下,将植物的离体组织、细胞或原生质体等接种于人工培养基中,并通过控制环境条件以促使其生长与发育的技术^[17]。该技术能直接从培

养物中获取活性成分,不仅显著降低对珍稀野生植株的依赖与采挖压力,也为多糖的稳定、可持续供应开辟了一条新途径。

综上,化学全合成、生物合成及植物组织培养技术有望为当前三七多糖在结构解析与规模化生产中面临的瓶颈提供破局思路,进而推动其构效关系研究。

1.4 三七多糖的质量控制研究 近年来,随着三七多糖制备工艺研究的持续推进,检测其批次稳定性的质量控制研究愈发受到重视。目前,三七多糖的质量评价主要沿用常规中药多糖的质控体系^[18]。如夏谍^[12]对三七多糖的质控方法进行了探索,通过 PMP 柱前衍生-高效液相色谱法(PMP-HPLC)、高效凝胶渗透色谱(HPGPC)及蒽酮-硫酸法、间羟基联苯比色法,分别分析了单糖组成、分子量分布及中性/酸性多糖含量,建立了从鉴定到含量测定的质量控制方法。然而,受限于三七多糖复杂的单糖组成,该研究未能实现各单糖摩尔比的精确定量测定,故当前的质量控制方法在精细结构表征方面存在局限性。因此,深化对三七多糖化学结构的认识,对于提升其质量控制研究水平具有重要意义^[19]。

综上所述,三七多糖的制备方法显著影响其得率与结构特征,解析其化学结构是阐明构效关系与实现精准质量控制的重要前提。

2 三七多糖的结构解析方法

结构解析通常需从初级与高级结构两个层面开展^[20]。当前,三七多糖初级结构的研究流程较为成熟,数据积累较为充分,见表 1、表 2。然而,针对其高级结构解析的进展仍较为有限,这可能与三七多糖本身结构的复杂性、空间构象的多态性有关。

目前,为获取详细的三七多糖初级结构数据,常采用化学方法与仪器分析方法相结合的策略(图 2、表 1),如用于获取多糖的纯度与分子量分布的 HPGPC 法;通过酸水解法结合 PMP-HPLC 法获取单糖组成成分^[25];通过甲基化-气相色谱/质谱联用技术(Methylation-GC/MS)、过碘酸氧化-史密斯降解(PAS-Smith)、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、核磁共振(NMR)等方法解析糖苷键构型、连接位点及官能团等详细信息。

然而近年来三七多糖高级结构的报道较少,相关研究主要借助 X 射线衍射(XRD)^[7]、扫描电子显微镜(SEM)^[11]和差示扫描量热法(DSC)^[7]获取晶型、微观形貌与热力学参数等结构信息,但这些尚

表 1 常见的三七多糖结构鉴定分析方法

原料来源	名称	分析方法	文献
根	PNP-1	HPAEC-PAD, FT-IR, NMR, PAS-Smith, Methylation-GC/MS, SEM	[21]
	Pan	GC, IC, HPGPC, Methylation-GC/MS, NMR	[22]
	PNP, PNPN, PNPA	PMP-HPLC, HPSEC-RID, Methylation-GC/MS, FT-IR, NMR	[5]
药渣(根)	PNPS-0, PNPS-0.2, PNPS-0.3	PMP-HPLC, HPGPC, FT-IR, SEM, Methylation-GC/MS	[10]
	PNPS-0.3	HPIC, HPGPC, FT-IR, Methylation-GC/MS, NMR	[23]
花	RN0D	PMP-HPLC, HPGPC, Methylation-GC/MS	[24]
叶	PP, PP3, PP5, PP7	PMP-HPLC, SEC-MALS-RID, FT-IR, NMR, XRD, DSC, SEM	[7]
	PNLP, PNLP-3	IC, HPGPC, FT-IR, SEM	[11]

注:PNP、Pan、PP等均为不同的三七多糖。HPAEC-PAD为高效阴离子交换色谱-脉冲安培检测;FT-IR为傅里叶变换红外光谱;NMR为核磁共振;PAS-Smith为过碘酸氧化-史密斯降解;Methylation-GC/MS为甲基化-气相色谱/质谱联用;SEM为扫描电子显微镜;GC为气相色谱;IC为离子色谱;PMP-HPLC为1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮高效液相色谱;HPGPC为高效凝胶渗透色谱;HPSEC-RID为高效尺寸排阻色谱-折光指数检测器;HPIC为高效离子色谱;SEC-MALS-RID为尺寸排阻色谱-多角度激光光散射-示差折光检测;XRD为X射线衍射;DSC为差示扫描量热法。

表 2 三七多糖的单糖组分鉴定结果汇总

原料来源	名称	分子量/kDa	摩尔百分比(mol%)									文献
			Rha	Ara	Xyl	Man	Glc	Gal	GlcA	GalA	其他单糖	
根	PNP-1	约 249	—	1	—	—	2.00	4.50	—	—	—	[21]
	Pan	8.27	11.70	23.30	3.27	4.70	6.40	32.60	2.64	4.03	—	[22]
	PNP	—	6.1	—	1.8	2.5	62.1	17.5	—	9.9	—	[5]
	PNPN	191	2.3	—	—	—	82.9	12.3	—	—	—	
	PNPA	—	15.0	—	2.9	6.5	6.8	30.0	1.6	36.2	—	
药渣(根)	PNPS-0	29.152	5.12	4.95	—	1.67	52.58	34.14	—	1.54	—	[10]
	PNPS-0.2	173.876	7.80	19.38	—	5.00	12.25	40.89	6.98	7.70	—	
	PNPS-0.3	104.201	6.22	9.18	—	1.41	18.32	22.61	40.43	1.83	—	[23]
花	PNPS-0.3	76.655	15.50	25.20	—	—	4.50	33.30	—	17.10	4.4(N-乙酰-D-葡萄糖胺)	
	RN0D	16.70	—	10.96	2.75	—	47.1	39.19	—	—	—	[24]
叶	PP	64.69/14.64(杂多糖,存在双峰)	—	27.28	20.80	5.35	24.79	13.80	4.69	—	3.29(岩藻糖)	[7]
	PP3	8.92	—	23.76	20.34	8.13	29.30	16.47	2.00	—	—	
	PP5	5.99	—	25.37	22.30	8.84	21.71	19.75	2.04	—	—	
	PP7	5.89	—	24.76	22.12	—	27.92	16.39	8.81	—	—	[11]
	PNLP	—	3.43	20.24	—	2.34	12.92	33.54	—	24.27	—	
	PNLP-3	16.57	4.70	29.97	—	4.10	6.49	49.35	—	2.90	—	

注:PNP、Pan、PNPN等均为不同的三七多糖。Rha为鼠李糖,Ara为阿拉伯糖,Xyl为木糖,Man为甘露糖,Glc为葡萄糖,Gal为半乳糖,GlcA为葡萄糖醛酸,GalA为半乳糖醛酸。摩尔百分比(mol%)表示单糖物质的量占多糖总物质的量的百分比,“—”表示未检出。

不足以界定其空间构象。实际上,高级结构对多糖活性具有重要影响,例如香菇多糖的抗肿瘤活性依赖于三股螺旋构象^[26],而串珠状、球状及网状等构型则与降血糖活性密切相关^[27]。近年来,圆二色光谱、原子力显微镜、分子对接及分子动力学模拟等新技术的发展,为高级结构解析提供了新思路^[20,28]。有研究^[29]显示,三七多糖 PNP 经圆二色光谱结合刚果红实验证实其不具有三股螺旋结构,但仍具有免疫活性。该现象提示,三七多糖的药理活性机制可能更为复杂,涉及其他结构因素,需借助新的研究手段深入解析。

人工智能为此类复杂多糖的结构解析及构效

关系研究提供了新的助力。通过整合结构检测数据与糖组学数据库信息(GlyTouCan、GlyConnect 等专业数据库),借助人工神经网络、循环神经网络及图卷积神经网络等人工智能算法,将糖链序列转化为“生物语言”或分子图,从而实现糖链结构的比对、特征提取与功能预测^[30-32]。例如,研究者开发的 Python 工具包 GlyContact,能通过将图神经网络与分子动力学模拟相结合,提取糖链的构象参数以预测其与凝集素的结合特异性,其预测性能较基于序列的模型提升了约 7%^[33];金针菇多糖研究利用人工神经网络建立分子量与特性黏度的定量关系,揭示特性黏度与抗氧化活性的负相关规律^[34],该策略也

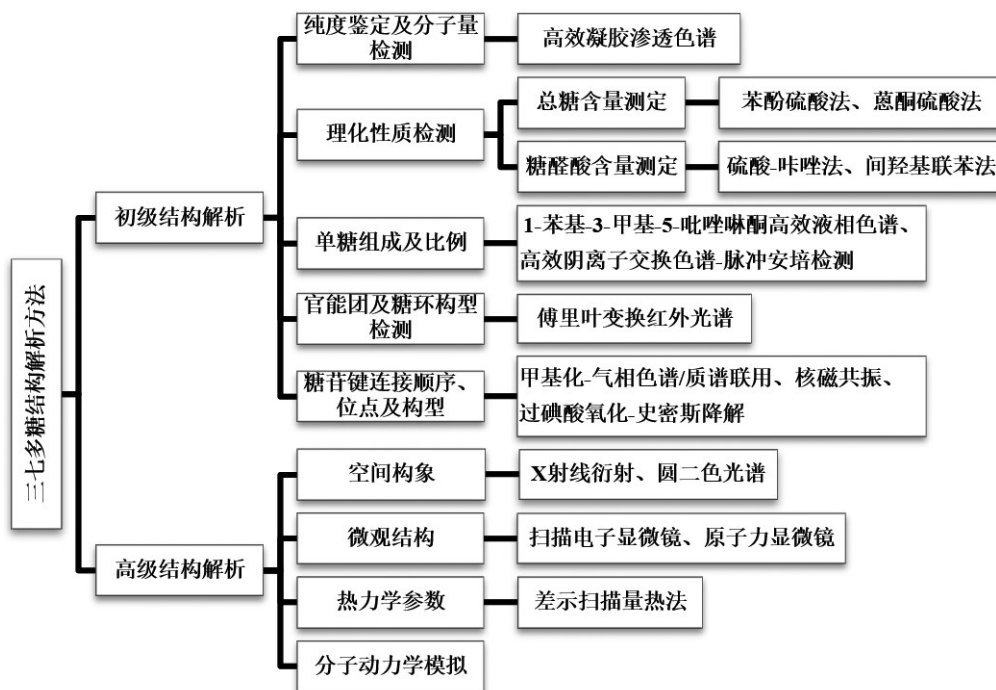


图2 三七多糖的结构解析方法

可为三七多糖分子量-活性关联研究提供方法学参考。

综上所述,未来将圆二色光谱、原子力显微镜、人工智能算法与糖组学数据库等前沿技术相结合,三七多糖完整结构有望被全面解析,从而为其质量控制和构效关系研究提供智能化技术支撑。

3 三七多糖的药理作用、构效关系及应用开发

3.1 三七多糖的药理作用 近年来研究表明,三七多糖具有抗氧化、降血糖、降血脂、调节免疫等多种药理活性。

3.1.1 抗氧化作用 三七多糖在体内外研究中均显示出缓解氧化应激的潜力。在细胞模型中,PNPS-0.3通过激活核因子E2相关因子2(Nrf2)/血红素加氧酶-1(HO-1)信号通路发挥细胞保护作用^[35];芬顿降解产物PP7可显著降低细胞内活性氧水平^[7]。动物实验^[36]证实,三七多糖能激活Nrf2/抗氧化反应元件(ARE)通路,减少黑色素沉积。

3.1.2 降血糖作用 三七多糖可通过多途径改善胰岛素抵抗。三七多糖可增加葡萄糖消耗量及糖原合成量^[11];在2型糖尿病大鼠模型中,三七多糖可降低空腹血糖及胰岛素抵抗指数^[37];在肥胖小鼠中,三七多糖可抑制肠道葡萄糖转运蛋白2和钠-葡萄糖协同转运蛋白1的表达,并激活肝脏腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)信号通路而调节糖代谢^[22]。

3.1.3 改善脂质代谢作用 在2型糖尿病大鼠模型中,三七多糖灌胃后,血清甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇均显著降低^[37]。机制研究^[37]表明,三七多糖能同步下调肾脏组织胆固醇调节元件结合蛋白-1c(SREBP-1c)与乙酰辅酶A羧化酶 α (ACC α)的表达;另一项糖尿病肾病大鼠模型研究^[3]验证了该通路,并观察到肾小球及肾小管间质病变明显减轻。以上提示三七多糖通过抑制SREBP-1c/ACC α 信号轴而减少脂质异常沉积。

3.1.4 调节免疫作用 三七多糖在细胞和动物层面均具有免疫调节活性。在RAW 264.7细胞中,三七多糖通过靶向Toll样受体2(TLR2)和甘露糖受体(MR),上调肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-6(IL-6)等细胞因子的表达^[29];三七多糖可促进骨髓源性树突状细胞成熟,并通过Toll样受体4(TLR4)/髓样分化因子88(MyD88)/核因子 κ B(NF- κ B)信号通路诱导树突状细胞功能成熟^[23]。在免疫抑制小鼠模型中,三七多糖可逆转体重下降,提高胸腺和脾脏指数^[38]。此外,三七多糖还具有益生元潜力,能促进植物乳杆菌增殖及短链脂肪酸生成^[29]。

3.1.5 抗肿瘤作用 三七多糖在多种肿瘤模型中表现出抗肿瘤活性。在H22肝癌小鼠中,三七多糖可缩小肿瘤体积并延长小鼠生存期^[39];在A549肺癌小鼠中,三七多糖可显著延长其平均生存时间^[40];三七花多糖通过激活PTEN诱导假定激酶1

(PINK1)/帕金森蛋白(Parkin)信号通路,诱导胰腺癌细胞线粒体自噬^[24]。此外,羧甲基化修饰后的三七多糖可作为抗肿瘤药物载体^[41]。

3.1.6 保肝作用 三七多糖对多种肝损伤模型均具保护作用。三七多糖可逆转酒精性肝损伤中的丙氨酸氨基转移酶/天冬氨酸氨基转移酶水平升高^[42];可通过上调HO-1、抑制TLR4/NF- κ B轴减轻肝脏缺血再灌注损伤^[43]。在氧化损伤衰老小鼠中,三七多糖可提升血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶水平,降低丙二醛水平,减轻氧化应激损伤^[44]。

3.1.7 其他药理作用 除抗氧化、降血糖、降血脂及调节免疫等生物活性外,近年研究亦多次报道了三七多糖在皮肤保护、延缓衰老等方面的潜在应用价值^[5, 35]。

3.2 三七多糖的构效关系研究 近年来,三七多糖的构效关系研究受到重视,以下通过梳理分子量、糖醛酸含量、单糖组成及化学修饰等结构特征与药理活性的关联,为后续构效关系的精准解析与验证提供思路。

3.2.1 分子量对药理活性的影响 分子量是影响三七多糖药理活性的关键结构参数之一。本文依据现有数据,为便于归纳分子量相关的药理作用,将分子量低于60 kDa的多糖定义为低分子量多糖,60~500 kDa定义为中分子量多糖,高于500 kDa定义为高分子量多糖。

(1)低分子量(<60 kDa多糖)

例如,在经芬顿降解所得的三七多糖中,分子量最低的组分PP7(5.89 kDa)表现出最强的抗氧化活性^[7]。从三七根中提取的多糖PPN(57.14 kDa)通过激活磷酸化腺苷酸活化蛋白激酶(p-AMPK)/过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子-1 α (PGC-1 α)信号通路实现抗疲劳效果^[45]。此外,在降糖研究领域,分子量仅8.27 kDa的Pan多糖同样展现出良好的体内降糖活性^[27]。

(2)中分子量多糖(60~500 kDa)

例如,78.6 kDa的三七多糖PNP兼具免疫调节作用与益生元活性^[27];91.6 kDa的三七多糖MRP5能显著延长秀丽线虫寿命,其机制涉及DAF-16等多个延缓衰老通路^[46];约249 kDa的三七多糖PNP-1则通过增强免疫及阻滞细胞周期抑制肿瘤生长^[21]。

(3)高分子量多糖(>500 kDa)

例如,分子量高达930 kDa的三七多糖PNPB1

在体内外均表现出强免疫增强活性^[38];分子量约2600 kDa的三七多糖PNPS-0.5M则通过激活Nrf2信号通路发挥保肝作用^[42]。

综上,三七多糖的分子量是影响其药理活性的重要结构参数。低分子量多糖在降糖、抗氧化、抗疲劳等药理活性上更具优势,而中、高分子量多糖在调节免疫、延缓衰老和保肝等方面具有重要作用。

3.2.2 单糖组成与比例对活性的影响 单糖组成(尤其是葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖及甘露糖的相对比例)与三七多糖的调节免疫、抗氧化及抗肿瘤活性密切相关。

(1)葡萄糖

高葡萄糖含量的中性多糖在调节免疫和抗氧化方面具有应用潜力。水提中性多糖NPPN(葡萄糖占76.85%)具有抗骨髓抑制活性,能促进造血功能恢复^[47];纯化多糖FP-I(葡萄糖占80.74%)可显著激活巨噬细胞,促进一氧化氮及细胞因子分泌^[6]。

(2)半乳糖与阿拉伯糖

富含半乳糖和阿拉伯糖的多糖在延缓衰老、抗肿瘤及美白方面可能更具优势。酸性三七多糖PNPA-2A和PNPA-1A中半乳糖与阿拉伯糖含量之和超过80%,具有延缓衰老活性,能延长秀丽线虫寿命^[5]。此外,PNP60组分中半乳糖和阿拉伯糖比例较高,表现出更好的抗氧化和酪氨酸酶抑制活性^[9]。

(3)甘露糖等其他单糖

部分酸性三七多糖含有甘露糖,如三七多糖PNPA-3A(含4.0%甘露糖)属于RG-I型果胶,具有调节免疫活性^[5]。但甘露糖等其他单糖的具体贡献尚需进一步研究。

3.2.3 糖醛酸含量对活性的影响 糖醛酸(尤其是半乳糖醛酸GalA和葡萄糖醛酸GlcA)是酸性多糖的特征组分,其含量显著影响三七多糖的抗氧化、调节免疫及抗纤维化活性。

(1)糖醛酸含量与抗氧化和免疫活性

三七多糖PNPS-0.3(含16.33%糖醛酸)和PNP60(含14.04%糖醛酸)均表现出较强的抗氧化活性^[9, 11]。APPN II-B和APPN III-B的糖醛酸含量高达85%以上,属于同聚半乳糖醛酸(HG)型果胶,具有潜在的免疫活性^[47]。由此可见,高糖醛酸含量可能是三七多糖发挥强抗氧化和调节免疫功能的重要结构基础。

(2)糖醛酸含量与抗纤维化作用

SQD4S2 是一种果胶样三七多糖,半乳糖醛酸含量为 44.08%,能抑制转化生长因子- β (TGF- β)的肾小管上皮-间充质转化,发挥抗肾纤维化作用^[48]。PNPS-0.5M(以同聚半乳糖醛酸为主)则通过激活 Nrf2 通路保护酒精性肝损伤^[42]。因此,富含糖醛酸的果胶类多糖在抗纤维化和保肝方面具有良好应用前景。

3.2.4 糖苷键类型与分支结构对活性的影响 糖苷键的连接方式(α/β 构型、1 $\rightarrow$ 3、1 $\rightarrow$ 4、1 $\rightarrow$ 6等)及分支程度可能直接影响多糖与受体的结合能力及生物利用度。

(1) β -糖苷键与抗肿瘤、延缓衰老作用

RN0D 主要含有 β -1,4-半乳聚糖和 β -1,3/1,6-葡聚糖,能诱导癌细胞线粒体自噬^[24]。MRP5 的主链包含“ $\rightarrow$ 3)-GlcP-(1 $\rightarrow$ ”、“ $\rightarrow$ 3,6)-GlcP-(1 $\rightarrow$ ”等 β -糖苷键,在线虫模型中显著延长寿命^[46]。

(2)分支结构

高分支度的 RG-I 型果胶(如 PNPA-3A,分支度约 67%)具有免疫调节活性,其丰富的分支结构可能有利于与免疫受体结合^[5]。此外,在葡聚糖类多糖中,经 α -淀粉酶提取的低分子量葡聚糖(PNPEN,分支度较低)的延缓衰老活性强于高分子量淀粉样葡聚糖(PNPN,分支度较高),提示分支度对活性的影响需与分子量等因素共同考虑^[5]。

(3) α/β 混合构型

三七多糖 FP-I 和 PNP 均同时含有 α -和 β -糖苷键^[6, 35]。受体阻断实验表明,PNP 可通过 TLR2 和 MR 激活巨噬细胞^[29]。FP-I 虽未进行受体机制研究,但其免疫调节活性与 PNP 类似,提示 α/β 混合构型可能为多糖与多种免疫受体结合提供结构基础,从而发挥广谱免疫调节活性^[6]。

3.2.5 化学修饰与微生物发酵对活性的影响 化学修饰与生物转化能显著改变多糖的结构和活性,是提升三七多糖功能的重要手段。

(1)磷酸化修饰

三七花多糖经磷酸化引入磷酸基团后,其 DPPH、ABTS 和羟基自由基清除能力均显著高于未修饰多糖,表明磷酸化可增强抗氧化活性^[8]。磷酸化多糖还出现新的孔状结构,可能有利于提高其溶解性和生物利用度。

(2)微生物发酵

利用酿酒酵母发酵三七根提取液,所得发酵三七多糖 FPNP 分子量降低,DPPH 和羟基自由基清除

能力显著高于未发酵多糖^[49]。乳酸菌发酵制备的三七多糖 FP-I (16.06 kDa)同样具有强免疫调节活性^[6]。发酵过程中微生物产生的酶可降解多糖链,暴露更多活性基团,并可能改变单糖组成比例。

3.2.6 其他结构因素对活性的影响

(1)热稳定性

热重分析(TG-DTG)显示,高分子量多糖(如 PNP20)的热稳定性高于低分子量多糖(如 PNP60)^[9]。热稳定性高的多糖在加工和储存过程中可能更稳定,但其与生物活性的直接关联尚不明确。

(2)硫酸基

从三七根中提取的 PNP 天然含有硫酸基(5.38%),该基团的存在也可能促进了多糖与免疫受体(TLR2、MR)的结合,从而增强其免疫调节活性^[29]。

3.3 三七多糖的应用开发 随着制备工艺、结构解析及药理活性等基础研究的日益深入,三七多糖的研究正逐步向应用开发领域拓展。例如,动物实验研究^[50]证实,三七多糖提取物可显著延缓疲劳,相关产品已进入开发阶段。三七多糖还能促进微血管新生,加速创面组织增生与胶原沉积,具有伤口愈合药物的开发前景^[51]。此外,经结构修饰的三七多糖还可作为抗肿瘤药物的递送载体,应用于肿瘤靶向治疗领域^[41, 52]。目前,围绕三七多糖的应用已有多项发明专利的申请,其整理汇总见表 3。

4 总结与展望

本文系统综述了三七多糖在制备方法、结构解析及药理活性等方面的研究进展。见图 3。

在制备方法方面,制备工艺对三七多糖的得率与结构特征具有决定性影响。传统热水提取法存在得率低、能耗高等局限,近年研究通过引入酶辅助提取、乳酸菌发酵及芬顿降解等辅助技术以提升效率。然而,这些方法在提高得率的同时,也改变了多糖的结构特征:酶辅助提取主要降解淀粉样葡聚糖,获得低分子量活性组分;乳酸菌发酵可改变分子量分布并提高葡萄糖与糖醛酸含量;芬顿降解则定向破坏支链、降低分子量;分级醇沉可获得一系列不同分子量区间的的多糖组分。这种结构多样性虽丰富了多糖活性研究,却也为构效关系的研究增加难度。与此同时,现行质控方法多局限于总糖含量与分子量测定,尚未建立针对高级结构的表征手段,难以为构效关系研究提供精准的结构信息支撑。由此可见,优化制备工艺、完善涵盖多糖结构的质控体系,是保障后续构效关系与药理机制研究

表3 三七多糖应用相关发明专利申请汇总

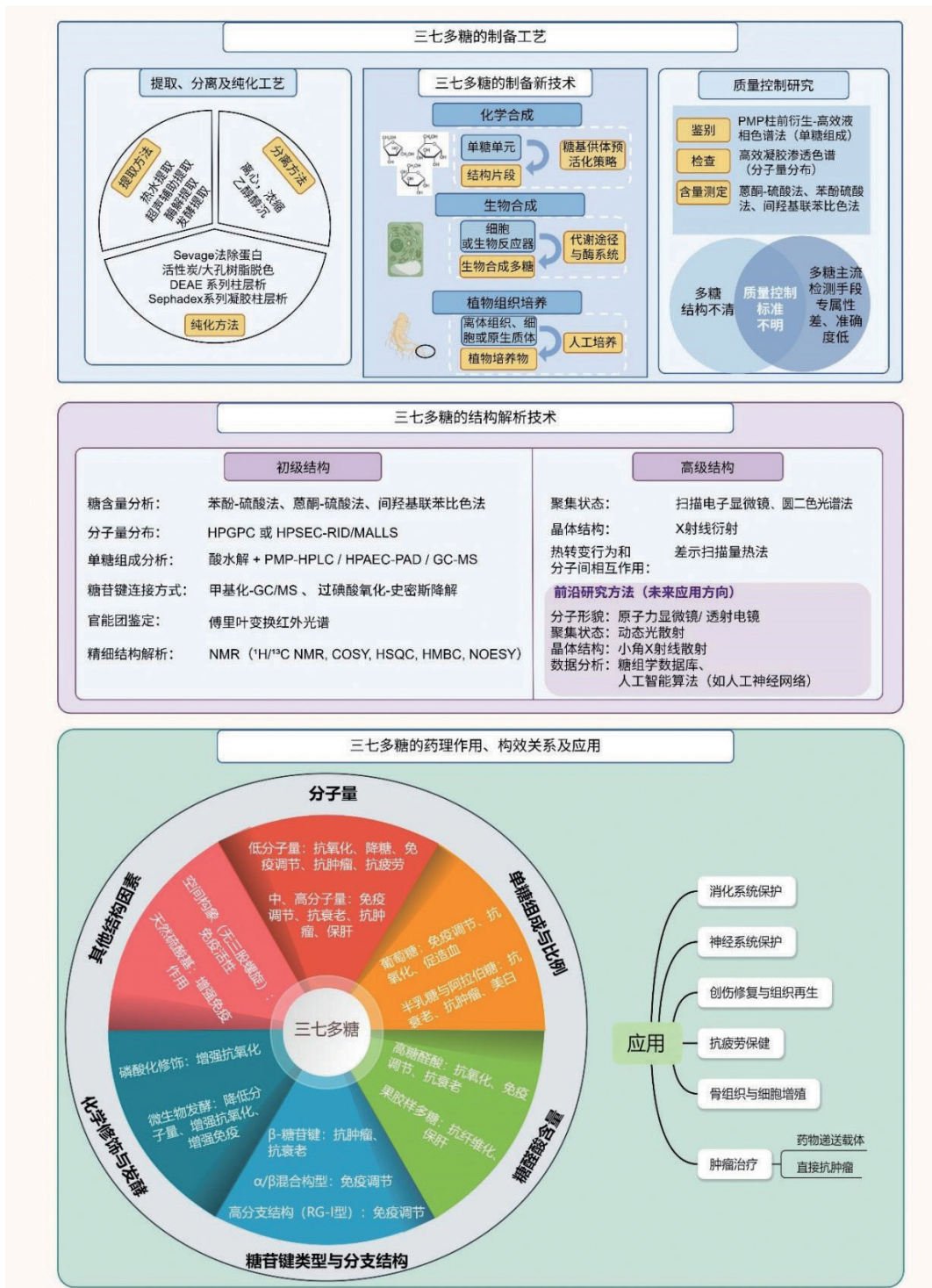
专利申请号	专利名称	内容	文献
CN116138455A	三七多糖提取物及其在制备抗疲劳产品中的应用	提供一种三七多糖提取物的制备方法,并通过动物实验发现三七多糖提取物具有显著的抗疲劳效果	[50]
CN119633015A	三七多糖在制备用于促进伤口愈合的药物中的应用	通过动物实验研究,发现三七多糖具有显著促进微血管形成的作用,能使皮肤伤口愈合速度明显加快	[51]
CN113501889A	一种三七多糖阳离子衍生物的制备方法及其应用	制备得到的三七多糖阳离子衍生物结构稳定,且具有良好的生物相容性,能够高效负载核酸类抗肿瘤药物并携带其进入细胞,从而实现在肿瘤治疗药物递送中的应用	[52]
CN107286265A	一种中性三七多糖的提取纯化方法及促进细胞增殖药理活性研究与应用	证明中性三七多糖促进牙周膜干细胞和小鼠成骨细胞以及人皮肤表皮细胞增殖作用最明显	[53]
CN109354629A	一种中性三七多糖的提取纯化方法及应用	证明中性三七多糖对7种肿瘤细胞的增殖均有抑制作用,以及其对环磷酸腺苷抑制及免疫低下小鼠的保护作用	[54]
CN110256596A	一种酸性三七多糖及其提取纯化方法	证明酸性三七多糖在保护酒精性肝损伤上效果显著	[55]
CN111533820A	一种三七多糖及其制备方法与应用	证明三七多糖组分能够促进小鼠骨髓源性树突状细胞成熟,增强T细胞功能,调控肿瘤相关巨噬细胞	[56]
CN112175100A	一种中性三七多糖NPPN的纯化方法、结构表征及应用	证明中性三七多糖对骨髓抑制小鼠的骨髓保护作用,增加了中性三七多糖的新用途,初步探索了其作用机制	[57]
CN115141289A	一种酸性三七多糖及其制备方法与应用	提供一种二次利用三七总皂苷工业生产中产生的树脂洗脱液废液制备三七多糖的方法,该三七多糖为酸性三七多糖,具有美白、护肤、抗氧化的功效,可用作化妆品的原料	[58]
CN115414379A	三七多糖SQP20在制备治疗肠损伤与炎性浸润的药物的应用	证明该多糖能够改善脂多糖和束缚应激小鼠肠损伤以及炎性浸润,有利于资源的充分利用	[59]
CN116375903A	天然三七多糖的制备方法及其冻干粉能作为稳定剂制备Pickering乳液	公开了天然三七多糖的制备方法及其冻干粉能作为稳定剂制备Pickering乳液	[60]
CN116987205A	一种具有防治阿尔茨海默病的三七多糖制备工艺及其相关产品	通过果蝇实验证明三七多糖有明显的防治阿尔茨海默病的作用	[61]
CN118987021A	三七多糖在制备预防或治疗酒精性胃溃疡的药物中的应用	证明三七多糖可以减小胃溃疡面积、减轻黏膜水肿和充血现象;药物可降低胃组织中的胃泌素、白细胞介素-6、白细胞介素-10、肿瘤坏死因子- α 和髓过氧化物酶活性	[62]
CN120289669A	一种小分子三七多糖的纳米化制备方法及应用	添加小分子三七纳米多糖后保湿的效果显著提高,高于涂抹小分子三七多糖的保湿性能,与透明质酸性能相当	[63]

可靠性的的重要前提。此外,上述制备工艺仍依赖药材提取,产业化进程受限于种植周期与原料成本。新兴技术为此提供了可行路径:植物组织培养可实现多糖离体生产,降低对植物资源的依赖;合成生物学技术可从基因与代谢层面增强三七细胞合成能力;化学全合成则能直接制备结构明确的多糖片段,保障稳定供应。这些方法为突破传统药材来源限制、推动三七多糖应用提供了新的借鉴思路。

在结构解析方面,当前三七多糖的研究沿用了中药多糖的常规研究方法。在初级结构层面,高效凝胶渗透色谱、PMP-HPLC、Methylation-GC/MS、NMR 等方法的联合应用,可获取单糖组成、糖苷键连接方式及分子量分布等信息。在高级结构层面,现有研究主要依赖XRD、SEM和DSC等技术获取晶型、形貌及热力学参数,尚难以精确确定其空间构象特征。这与多糖结构的复杂性密切相关。值得注意的是,圆二色光谱法、原子力显微镜、分子动力学模拟、糖组学数据库及人工智能等新方法的引

入,为解决该问题提供了可能。未来,三七多糖研究可利用图卷积神经网络等算法结合糖组学数据库构建“序列-活性”关联模型,预测多糖功能^[30-31];或借鉴 GlyContact 建立 Python 工具包,从而深度解析其三维构象特征,研究结构域与靶蛋白的结合模式^[32]。随着圆二色光谱等技术对多糖构象的深入解析、原子力显微镜等技术对糖链形貌与聚集状态的可视化,结合糖组学数据库及人工智能算法对构效关系规律的挖掘与多糖功能的预测,三七多糖的结构解析及其构效关系将得以深入揭示,为其质量控制与应用开发提供重要支撑。

在药理作用方面,本文归纳了三七多糖在抗氧化、降血糖、改善脂质代谢等方面的研究进展;在构效关系方面,从分子量、单糖组成、糖醛酸含量等角度,梳理了结构特征与药理活性的关联;在应用开发方面,汇总了近年来三七多糖在抗疲劳、伤口愈合等领域的相关发明专利。通过上述归纳总结,较为全面地反映了三七多糖在当前研究中的药理活



注:HPGPC为高效凝胶渗透色谱;HPSEC-RID为高效尺寸排阻色谱-折光指数检测器;MALLS为多角度激光光散射技术;PMP-HPLC为1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮高效液相色谱;HPAEC-PAD为高效阴离子交换色谱-脉冲安培检测;GC-MS为气相色谱-质谱联用;NMR为核磁共振; ^1H NMR为氢核磁共振; ^{13}C NMR为碳核磁共振;COSY为同核位移相关谱;HSQC为异核单量子相干谱;HMBC为异核多键相关谱;NOESY为核奥氏效应谱;RG-I型为鼠李半乳糖醛酸聚糖I型。

图3 三七多糖的研究进展(由Figdraw绘制)

性特征、构效关系认识及应用开发现状,同时发现存在以下共性问题。如研究结论来自细胞与动物实验而缺乏临床数据支撑,动物实验给药剂量跨度大,药理机制探索局限于免疫调节等宽泛层面,这都为其成药性开发带来挑战。上述症结,究其原因在于物质基础阐述不明。一方面,三七多糖结构复

杂,导致不同研究中所用的多糖在单糖组成、分子量分布及糖苷键连接方式上存在差异,致使研究间的一致性较差;另一方面,现行质量控制方法多以水解后单糖总量进行折算^[64],难以有效区分目标多糖与杂质,导致测定结果缺乏专属性与准确性,制约了量效关系的精准研究。

基于目前三七多糖研究的不足,可以采取以下改进措施:①聚焦三七多糖结构研究,借助圆二色光谱法、原子力显微镜等新技术,结合糖组学数据库与人工智能算法,实现从初级结构到高级构象的全链条解析,完善其构效关系;②优化制备工艺,整合酶解、发酵等辅助提取技术与分级纯化策略,通过数据算法关联工艺参数与质量指标,保障产物批间一致性,建立高产率、高稳定性的制备方案;③完善中药多糖标准化质控体系,应用 Methylation-GC/MS 等色谱-质谱联用技术建立涵盖特征图谱、分子量分布及单糖组成的多维质控标准,并引入精细结构表征与批次一致性评价方法;④建议以保健食品或药用辅料为切入点,在提升质量可控性的基础上逐步探索药物开发路径。通过上述策略,有望为三七多糖的构效关系与药理机制研究提供质量稳定、结构明确的原料,推动其从基础研究向产业化应用转化。

综上所述,本文梳理了三七多糖制备工艺优化、结构解析技术及药理活性的研究进展,总结制约其发展的关键问题,并从结构解析、制备工艺等维度提出解决思路,以期为促进三七资源开发及三七多糖产业化发展提供参考。

参考文献:

- [1] 王筱懿,仇坤,陈明,等.三七皂苷 R1、人参皂苷 Rg1 和人参皂苷 Rb1 的 HPLC 定量分析及其肠黏膜渗透性研究[J]. 上海中医药杂志, 2023, 57(9): 78-84.
- [2] 陶爱恩,方霄,张玲声,等.三七多糖结构及功能应用研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(9): 243-256.
- [3] 李易,叶曦.三七多糖对糖尿病肾病大鼠炎症反应及脂质代谢调节作用的实验研究[J]. 中国中医药科技, 2018, 25(1): 43-47.
- [4] 张属民,丁海军,李凤玲,等.中药多糖的制备及生物活性研究进展[J]. 临床合理用药, 2025, 18(14): 177-180.
- [5] 陈谧.三七多糖的结构分析及抗衰老活性研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2020.
- [6] 彭梦黎.乳酸菌发酵三七对其多糖结构及活性的影响[D]. 盐城: 盐城工学院, 2025.
- [7] XU X, DENG G, LI X, et al. Extraction, structural, and antioxidant properties of oligosaccharides hydrolyzed from *Panax notoginseng* by ultrasonic-assisted fenton degradation [J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(5): 4506.
- [8] HUO N, AMEER K, WU Z, et al. Preparation, characterization, structural analysis and antioxidant activities of phosphorylated polysaccharide from Sanchi (*Panax notoginseng*) flower [J]. J Food Sci Technol, 2022, 59(12): 4603-4614.
- [9] YU X H, PENG M L, LIU X C, et al. Physicochemical properties and biological activities of polysaccharides from *Panax notoginseng* separated by fractional precipitation [J]. Chem Biodivers, 2025, 22(2): e202402002.
- [10] 曹玉标.三七药渣中主要多糖成分初级结构及生物活性的对比研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023.
- [11] ZHANG X, SHI C, WANG Z, et al. Separation, purification, structural characterization, and in vitro hypoglycemic activity of polysaccharides from *Panax notoginseng* Leaves [J]. Molecules, 2025, 30(4): 830.
- [12] 夏谍.三七多糖水提、脱色工艺及其质量标准评价研究[D]. 昆明: 昆明医科大学, 2023.
- [13] 邓轶,叶新山.聚糖合成驱动的药物发现[J]. 中国科学: 化学, 2025, 55(8): 2272-2285.
- [14] QIN X, XU C, LIU M, et al. Synthesis of branched arabinogalactans up to a 140-mer from *Panax notoginseng* and their anti-pancreatic-cancer activity [J]. Nat Synth, 2024, 3(2): 245-255.
- [15] 李晓岗,张雪,俞捷,等.药用植物质量标志物多糖生物合成通路及关键酶研究进展[J]. 中草药, 2021, 52(15): 4752-4762.
- [16] FANG X, WANG H, ZHOU X, et al. Transcriptome reveals insights into biosynthesis of ginseng polysaccharides [J]. BMC Plant Biol, 2022, 22(1): 594.
- [17] 荆礼,袁欣月,张巍,等.人参的组织培养研究进展[J]. 人参研究, 2023, 35(5): 49-51.
- [18] 王莹,金红宇,丁侃,等.中药多糖质量控制体系初探[J]. 药物分析杂志, 2021, 41(10): 1670-1680.
- [19] 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.
- [20] 景永帅,马云凤,李明松,等.植物多糖结构解析方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 411-421.
- [21] 武鹏.三七多糖的分离纯化、结构表征及抗肿瘤活性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2021.
- [22] LI X, LIU H, YANG H, et al. Hypoglycemic effects of novel *Panax notoginseng* polysaccharide in mice with diet-induced obesity [J]. Foods, 2022, 11(19): 3101.
- [23] LIU S, YANG Y, QU Y, et al. Structural characterization of a novel polysaccharide from *Panax notoginseng* residue and its immunomodulatory activity on bone marrow dendritic cells [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 161: 797-809.
- [24] JI M, SUN L, ZHANG M, et al. RN0D, a galactoglucan from *Panax notoginseng* flower induces cancer cell death via PINK1/Parkin mitophagy [J]. Carbohydr Polym, 2024, 332: 121889.
- [25] 黄小兰,何旭峰,杨勤,等.PMP柱前衍生化 HPLC 法测定地参多糖的单糖组成[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 250-256.
- [26] 张玉,张琪琳,王静林,等.香菇多糖构效关系、抗肿瘤作用机制及药代动力学研究进展[J]. 中国医院药学杂志, 2023, 43(7): 804-812.
- [27] 杨玉洁,刘静宜,谭艳,等.多糖降血糖活性构效关系及作用

- 机制研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(23): 355-363.
- [28] CHEN J, MIAO W, LIU Y, et al. Structural characterization, molecular dynamic simulation, and conformational visualization of a water-soluble glucan with high molecular weight from *Gastrodia elata* Blume[J]. Int J Biol Macromol, 2024, 263(Pt 1): 130207.
- [29] YANG H, LI X, LIU H, et al. Novel polysaccharide from *Panax notoginseng* with immunoregulation and prebiotic effects[J]. Food Biosci, 2023, 51: 102310.
- [30] LI T, WANG Q, RUI C, et al. Targeted isolation and AI-based analysis of edible fungal polysaccharides: Emphasizing tumor immunological mechanisms and future prospects [J]. Int J Biol Macromol, 2025, 284: 138089.
- [31] BOJAR D, LISACEK F. Glycoinformatics in the artificial intelligence era[J]. Chem Rev, 2022, 122(16): 15971-15988.
- [32] LI H, CHIANG A, LEWIS N. Artificial intelligence in the analysis of glycosylation data [J]. Biotechnol Adv, 2022, 60: 107986.
- [33] THOMÈS L, JOERES R, AKDENIZ Z, et al. GlyContact analyzes glycan 3D structures at scale[J]. Nat Commun, 2025, 16(1): 11136.
- [34] ZHANG J, CHEN X, WANG Y, et al. Study on the physicochemical properties and antioxidant activities of *Flammulina velutipes* polysaccharide under controllable ultrasonic degradation based on artificial neural network[J]. Int J Biol Macromol, 2024, 261(Pt 1): 129382.
- [35] 曹玉标, 孙亮亮, 杨野, 等. 三七药渣中主要多糖成分的分离纯化及其抗氧化活性研究[J]. 中草药, 2023, 54(1): 100-111.
- [36] CHEN Y, ZHANG T, ZHANG T, et al. Root polysaccharides of *Panax notoginseng* alleviated melasma by regulating the Nrf2/ARE signaling pathway [J]. Int J Biol Macromol, 2025, 305: 141256.
- [37] 胡凤霞, 朱双. 三七多糖通过SREBF-1及ACCa改善2型糖尿病大鼠肝脏脂肪代谢的研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2015, 17(10): 32-35.
- [38] JIANG X, MA G, ZHAO B, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of a novel polysaccharide from *Panax notoginseng*[J]. Front Pharmacol, 2023, 14: 1190233.
- [39] CHEN T, ZHONG Y, CHEN Y, et al. Administration of polysaccharide from *Panax notoginseng* prolonged the survival of H22 tumor-bearing mice[J]. Onco Targets Ther, 2016, 9: 3433-3441.
- [40] 赵冲. 三七多糖对肺癌细胞 A549 的作用研究[D]. 新乡: 新乡医学院, 2015.
- [41] 张月林. 载丹酚酸 B/阿霉素的羧甲基三七多糖-壳聚糖纳米粒的构建及初步研究[D]. 天津: 天津中医药大学, 2021.
- [42] WANG C, ZHENG L, LIU S, et al. A novel acidic polysaccharide from the residue of *Panax notoginseng* and its hepatoprotective effect on alcoholic liver damage in mice[J]. Int J Biol Macromol, 2020, 149: 1084-1097.
- [43] 王耀华. 三七多糖对大鼠肝脏缺血再灌注损伤的保护作用及其机制的研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2019.
- [44] 邓萌萌, 位盼盼, 李铭, 等. 三七多糖对氧化损伤衰老模型小鼠的抗氧化活性及脏器保护作用研究[J]. 中国临床药理学杂志, 2024, 40(6): 889-893.
- [45] WEI P, DENG M, WU X, et al. Natural polysaccharides from *Panax notoginseng* alleviate fatigue via the energy metabolism pathway mediated by p-AMPK/PGC-1 α [J]. Int J Biol Macromol, 2026, 348: 150764.
- [46] 冯士令. 三七多糖结构及其延长秀丽线虫寿命作用机制的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- [47] 刘艳红. 三七多糖的纯化、结构解析及其对骨髓抑制小鼠造血功能的保护作用[D]. 昆明: 昆明医科大学, 2020.
- [48] HUANG C, JING X, WU Q, et al. Novel pectin-like polysaccharide from *Panax notoginseng* attenuates renal tubular cells fibrogenesis induced by TGF- β [J]. Carbohydr Polym, 2022, 276: 118772.
- [49] YOU S, SHI X, YU D, et al. Fermentation of *Panax notoginseng* root extract polysaccharides attenuates oxidative stress and promotes type I procollagen synthesis in human dermal fibroblast cells[J]. BMC Complement Med Ther, 2021, 21(1): 34.
- [50] 昆明医科大学. 三七多糖提取物及其在制备抗疲劳产品中的应用: 202310241799.2[P]. 2023-05-23.
- [51] 中国医学科学院药用植物研究所. 三七多糖在制备用于促进伤口愈合的药物中的应用: 202411602549.8[P]. 2025-03-18.
- [52] 郑州大学. 一种三七多糖阳离子衍生物的制备方法及其应用: 202110760036.X[P]. 2021-10-15.
- [53] 云南多糖生物科技有限公司. 一种中性三七多糖的提取纯化方法及促进细胞增殖药理活性研究与应用: 201710459344.2[P]. 2017-10-24.
- [54] 云南多糖生物科技有限公司. 一种中性三七多糖的提取纯化方法及应用: 201811044098.5[P]. 2019-02-19.
- [55] 昆明理工大学. 一种酸性三七多糖及其提取纯化方法: 201910584252.6[P]. 2019-09-20.
- [56] 昆明理工大学. 一种三七多糖及其制备方法与应用: 202010394821.3[P]. 2020-08-14.
- [57] 昆明医科大学. 一种中性三七多糖NPPN的纯化方法、结构表征及应用: 202011152459.5[P]. 2021-01-05.
- [58] 云南西草资源开发有限公司. 一种酸性三七多糖及其制备方法与应用: 202210922903.X[P]. 2023-06-16.
- [59] 广东药科大学. 三七多糖SQP20在制备治疗肠损伤与炎性浸润的药物的应用: 202210987373.7[P]. 2022-12-02.
- [60] 南京林业大学. 天然三七多糖的制备方法及Pickering乳液制备方法: 202310442063.1[P]. 2023-07-04.
- [61] 北京中医药大学. 一种具有防治阿尔茨海默症的三七多糖制备工艺及其相关产品: 202310371675.6[P]. 2023-11-03.
- [62] 中国医学科学院药用植物研究所. 三七多糖在制备预防或治疗酒精性胃溃疡的药物中的应用: 202410959662.5[P]. 2024-11-22.
- [63] 云南西草资源开发有限公司, 昆明康尔迅生物工程有限公司. 一种小分子三七多糖的纳米化制备方法及应用: 202510461259.4[P]. 2025-07-11.
- [64] 王登辉, 李欣怡, 程国良, 等. 中药糖类上市药物研究进展[J]. 化学试剂, 2023, 45(6): 26-34.

编辑:杨轶舜

收稿日期:2025-11-16