

中图分类号: R917; R965 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2026)12-0145-06
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2026.12.028



地黄多糖提取、质量控制及免疫调控作用研究进展*

陈梦瑶^{1,2}, 周雨萱^{1,2}, 柏丁源^{1,2}, 郭澄¹, 杨全军^{1,2Δ}

(1. 上海交通大学医学院附属第六人民医院, 上海 200233; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要:目的 总结地黄多糖的提取技术、质量控制方法及免疫调控作用研究进展。方法 检索维普、中国知网、Web of Science 及 PubMed 数据库自建库起至 2025 年 6 月 20 日收录的地黄多糖相关文献, 归纳分析其提取工艺、质量控制策略及免疫调控机制的研究现状。结果 地黄多糖提取方法包括溶剂提取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法、膜分离法、酶辅助提取法、超临界流体萃取法及联合提取法, 其中微波辅助提取法多糖得率最高(74.41%), 联合提取技术可兼顾提取效率与活性。质量控制主要包括纯度分析(包括醇沉、Sevag 法脱蛋白、离子交换层析、凝胶排阻层析)、定性分析(包括指纹图谱、高效液相色谱、傅里叶变换红外光谱、气相色谱串联质谱、核磁共振、刚果红试验)和定量检测(常用苯酚-硫酸法和蒽酮-硫酸法)。免疫调控方面, 地黄多糖能增加免疫器官指数, 促进淋巴细胞增殖, 增强巨噬细胞、自然杀伤细胞及树突状细胞功能, 调节炎症细胞因子水平, 并显示出一定的抗肿瘤潜力。结论 地黄多糖的提取、质量控制和免疫调控作用等方面均取得了一定的研究进展。未来应发展更高效绿色的提取与纯化技术, 建立多维度的质量评价体系, 深入阐明其信号通路与作用靶点, 以推动地黄多糖的临床转化与产品开发。

关键词:地黄多糖; 提取工艺; 质量控制; 免疫调控; 研究进展

Research Progress on Extraction, Quality Control and Immunomodulatory Effects of Rehmannia Glutinosa Polysaccharides

CHEN Mengyao^{1,2}, ZHOU Yuxuan^{1,2}, BAI Dingyuan^{1,2}, GUO Cheng¹, YANG Quanjun^{1,2Δ}

(1. Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200233, China; 2. College of Food Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Objective To summarize the research progress on extraction technologies, quality control methods and immunomodulatory effects of rehmannia glutinosa polysaccharides. **Methods** Relevant literature on rehmannia glutinosa polysaccharides in databases such as VIP, CNKI, Web of Science and PubMed from the inception to June 20, 2025 was retrieved, and the research status of

*基金项目: 国家自然科学基金[82272925]。

第一作者: 陈梦瑶, 女, 硕士研究生, 研究方向为药学, (电子信箱)13103877053@163.com。

Δ通信作者: 杨全军, 男, 博士研究生, 主任药师, 研究方向为药理学, (电子信箱)myotime@sytu.edu.cn。

26(35):4372-4380.

[7] 中华医学会神经病学分会睡眠障碍学组. 中国成人失眠诊断与治疗指南(2023版)[J]. 中华神经科杂志, 2024, 57(6): 560-584.

[8] 中华医学会神经病学分会. 中国成人失眠伴抑郁焦虑诊治专家共识[J]. 中华神经科杂志, 2020, 53(8): 564-574.

[9] SMITH MT, PERLIS ML, PARK A, et al. Comparative meta-analysis of pharmacotherapy and behavior therapy for persistent insomnia[J]. Am J Psychiatry, 2002, 159(1): 5-11.

[10] 王晔, 杨婷, 张海霞, 等. 氯硝西泮的不良反应信号挖掘及潜在作用途径[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2025, 31(3): 454-459.

[11] 司天梅, 刘铁桥, 张朝辉, 等. 苯二氮䓬类药物的药理学[J]. 中国药物滥用防治杂志, 2017, 23(2): 70-74.

[12] WANG SM, KIM JB, SAKONG JK, et al. The efficacy and safety of clonazepam in patients with anxiety disorder taking newer antidepressants: A multicenter naturalistic study [J]. Clin Psychopharmacol Neurosci, 2016, 14(2): 177-184.

[13] BENASI G, GUIDI J, OFFIDANI E, et al. Benzodiazepines as monotherapy in depressive disorders: a systematic review[J]. Psychother Psychosom, 2018, 87(2): 65-74.

[14] BUSHNELL GA, STÜRMER T, GAYNES BN, et al. Simultaneous antidepressant and benzodiazepine new use and subsequent long-term benzodiazepine use in adults with depression, United States, 2001-2014[J]. JAMA Psychiatry, 2017, 74(7): 747-755.

[15] HOLBROOK AM, CROWTHER R, LOTTER A, et al. Meta-analysis of benzodiazepine use in the treatment of insomnia[J]. CMAJ, 2000, 162(2): 225-233.

[16] GLASS J, LANCTÔT KL, HERRMANN N, et al. Sedative hypnotics in older people with insomnia: meta-analysis of risks and benefits[J]. BMJ, 2005, 331(7526): 1169.

[17] 王耀振, 卢泽原, 杨新玲, 等. 右佐匹克隆的药理学及药动学研究进展[J]. 长春中医药大学学报, 2022, 38(11): 1285-1288.

[18] PINTO LR JR, BITTENCOURT LR, TRPTOW EC, et al. Eszopiclone versus zopiclone in the treatment of insomnia[J]. Clinics (Sao Paulo), 2016, 71(1): 5-9.

[19] 杨玉慧, 许秀丽, 朱珠. 酒石酸唑吡坦的安全风险及使用要点[J]. 中国药理学杂志, 2019, 54(14): 1188-1193.

(收稿日期: 2025-07-22; 修回日期: 2026-03-10)

extraction processes, quality control strategies and immunomodulatory mechanisms were summarized and analyzed. **Results** Extraction methods for rehmannia glutinosa polysaccharides include solvent extraction, ultrasound - assisted extraction, microwave - assisted extraction, membrane separation, enzyme - assisted extraction, supercritical fluid extraction and combined extraction methods, the yield of polysaccharides was highest when extracted using microwave - assisted extraction method (74.41%). Combined extraction technologies can balance extraction efficiency and activity. Quality control mainly includes purity analysis (including alcohol precipitation, Sevag method for deproteinization, ion exchange chromatography, gel exclusion chromatography), qualitative analysis (including fingerprinting, high performance liquid chromatography, Fourier transform infrared spectrum, gas chromatography - tandem mass spectrometry, nuclear magnetic resonance, Congo red test) and quantitative detection (commonly the phenol - sulfuric acid method and the anthrone - sulfuric acid method). In terms of immunomodulation, rehmannia glutinosa polysaccharides can increase immune organ indexes, promote lymphocyte proliferation, enhance the functions of macrophages, natural killer cells and dendritic cells, regulate inflammatory cytokine levels, and show certain anti - tumor potential. **Conclusion** Rehmannia glutinosa polysaccharides have achieved certain research progress in extraction, quality control and immunomodulatory effects. It is necessary to further develop more efficient and green extraction and purification technologies, establish multi - dimensional quality evaluation systems, and further elucidate its signaling pathways and action targets, to promote the clinical translation and product development of rehmannia glutinosa polysaccharide.

Key words: rehmannia glutinosa polysaccharides; extraction technology; quality control; immunomodulation; research progress

地黄 *Rehmannia glutinosa* Libosch 为玄参科地黄属多年生草本植物,性寒,味甘、苦,归心、肝、肾经,药用历史悠久,始载于《神农本草经》,有滋阴补血、清热生津、凉血止血等多种功效,常用于血虚、肝肾阴虚、热病伤阴等证的治疗^[1]。地黄以块根入药,依据加工方法及用法的不同,可分为鲜地黄、生地黄和熟地黄^[2]。地黄临床应用广泛,在《国家基本药物目录》中成药组方中使用频率较高^[3]。随着现代中医药研究的不断深入,地黄多种活性成分及其药理作用机制逐渐被揭示^[4],已分离鉴定出的化合物主要包括环烯醚萜类、糖类、紫罗兰酮类、苯乙醇苷类、三萜类及黄酮类^[5]。多糖类是地黄的主要药效成分之一,地黄多糖(RGP)作为地黄根茎中的主要成分,已被证明具有免疫调节、神经调节、抗氧化、抗炎、抗肿瘤、治疗糖尿病等多种药理学作用^[6],在中医药和保健品领域具有广阔的应用前景。为此,本研究中检索了维普、中国知网、Web of Science 及 PubMed 数据库自建库起至 2025 年 6 月 20 日收录的地黄多糖相关文献,系统总结地黄多糖提取、质量控制及免疫调控作用的研究进展。

1 提取方法

1.1 概述

地黄多糖属高聚物,由不同种类的单糖通过糖苷键结合形成,其分子量差异巨大^[7],具有不同的物理特性和化学活性。因此,选择提取方法时要考虑其化学性质,提取条件和干扰物质的影响,以保证在不破坏物理特性,不影响化学性质的前提下达到最大提取率^[8]。目前常用提取方法包括溶剂提取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法、膜分离法、酶辅助提取法、超临界流体萃取法。

1.2 单一提取法

1.2.1 溶剂提取法

该法是最经典、最方便的提取方法,在植物多糖的提取和分离中应用广泛^[9],具有提取工艺简便、适用范围广、成本低等特点。沸水浸提法是提取地黄多糖的常用方法,其利用多糖的溶解性,通过加热浸提使多糖溶出。该方法操作简单、成本较低,但提取时间长、提取温度高、效率低,且高温可能影响多糖的结构和活性^[10-11]。水提醇沉法是在沸水浸提的基础上,向提取液中加入乙醇使多糖沉淀析出,周加林等^[12]以提取温度、提取时间、料液比为考察因素进行响应面分析以优化地黄多糖提取工艺,确定最佳提取工艺条件为,提取时间 100 min,料液比 1:60(g/mL),提取温度 70℃,此条件下多糖得率为 7.09%。曹瑞等^[13]采用响应面法分析生地黄提取工艺,以加水倍数、提取时间、煎煮次数为考察因素,确定最佳提取工艺条件为,加水倍数 10 倍,提取 2 次,每次 120 min,此条件下地黄多糖含量最高。LU 等^[14]取冻干地黄,用 80℃热水按料液比 1:10(g/mL)提取 2 次,每次 6 h,加入 4 倍量的 95%乙醇醇沉,得 3 种地黄粗多糖,此条件下鲜地黄多糖、干地黄多糖、加工后地黄多糖的得率分别为 0.55%,4.45%,7.14%。孙月川等^[15]采用单因素试验和正交试验优选地黄多糖提取工艺,以 60% 甲醇为提取溶剂,确定最佳提取条件为,提取固(料)液比 1:8(g/mL),提取 2.5 h,提取温度 90℃,此条件下多糖得率为 66.32%。

溶剂提取法应用广泛,其提取率与试验方法、地黄类别及其主要影响因素有关,且该法整体得率均偏低,提取产物为粗品,含有大量杂质,需进一步纯化。刘冲英等^[16]在单因素试验基础上,采用响应面试验优化地

黄多糖的纯化工艺参数,用水煎煮地黄2次,4倍体积乙醇醇沉,Sevag法脱蛋白,过DEAE-纤维柱、水和NaCl溶液洗脱,再用截留分子量为3 500 Da的透析袋,以流动去离子水透析,纯化后地黄多糖保留率为90.25%。

1.2.2 超声辅助提取法

该法利用超声波的高频振动引起样品内部分子的高速运动,使植物细胞壁破裂,从而加速细胞壁内多糖的浸出^[17]。其为简便的植物多糖提取方法,具有提取效率高、耗时短、节能等优点。许海燕等^[18]以乙醇体积分数、提取时间、料液比为考察因素进行响应面分析,确定最佳地黄多糖提取工艺条件为,20%乙醇,提取25 min,料液比1:10(g/mL),此条件下多糖提取率为17.63%。但超声可能引起多糖的解聚和降解,改变多糖的物质结构,因此提取时需严格控制超声频率和强度。

1.2.3 微波辅助提取法

该法利用微波的强穿透性和选择性,使组织细胞吸收微波能量,升高细胞内温度和压力,当压力超过细胞壁的承受能力时,细胞壁膨胀破裂,细胞中的多糖释放到提取物中^[19],具有操作方便、省时,提取含量高,副产物少,易提纯等优点。孔媛芳等^[20]分别采用正交试验法和响应面法优选微波提取地黄多糖的工艺,结果表明,响应面法优化的提取工艺能更有效提高地黄多糖得率,确定最佳提取时间137 s,提取温度89 °C,料液比1:8(g/mL),此条件下多糖得率为74.41%。该方法所用微波反应器容量有限,因此更适用于小规模提取。

1.2.4 膜分离法

该法以具有选择透过特性的过滤介质为载体,以外界能量或化学位差为推动力,对不同相对分子质量的组分进行分离、纯化和富集。作为一种新型分离方法,该技术目前已用于多糖和酶等活性物质的分离,具有分离效率高且极少破坏活性物质的优点。张敏等^[21]通过单因素试验和正交试验优选膜分离法提取地黄中水苏糖(寡糖)的工艺,探讨纳滤膜的最佳操作条件。最终确定水苏糖最佳的浸提条件为,固液质量比1:12,浸提温度50 °C,浸提60 min;最佳的纳滤膜纯化条件为,操作压力0.12 MPa,料液温度35 °C,料液稀释比1:8(g/mL),此条件下地黄中水苏糖提取率为58.84%。

1.2.5 酶辅助提取法

该法利用特定的酶选择性降解植物细胞壁中的纤维素、半纤维素和果胶等成分,破坏细胞壁结构,使多糖从细胞壁中释放出来并与其他组分分离。该方法提取效率高,作用条件温和,有助于保持多糖结构,不损害其生物活性^[22]。在植物多糖提取中,常采用多种酶联合提取,常用的有纤维素酶、蛋白酶、果胶酶和淀粉酶。

酶法提取地黄多糖的效率多与温度、pH、底物浓度、酶浓度、提取时间等因素相关;酶解温度主要取决于酶的种类。因此需通过预试验确定最佳提取参数。

1.2.6 超临界流体萃取法

该法是一种新型萃取分离技术,以温度高于临界温度、压力高于临界压力的超临界流体(介于气体和液体之间)作为萃取剂。从液体或固体中萃取出特定成分,实现分离目的。CO₂因化学惰性、无毒、低临界温度(31.3 °C)和临界压力(7.15 MPa)低等性质,可在接近室温条件下萃取,是最理想的超临界流体^[23]。该方法提取效率高、环保,对多糖生物活性损害少、无试剂残留。刘华等^[24]采用此法优选地黄多糖提取工艺,以0.5 mL/min、20%乙醇为夹带剂,最终确定最佳提取条件为,温度60 °C,压力35 MPa,萃取2次,每次1 h,此条件下地黄粗多糖的提取率为30.40%。

1.3 联合提取法

单一方法提取多糖的效果有限,生产中为了加快多糖提取进程、提高多糖提取率,通常使用2种及以上方法联合提取。李文波^[25]采用酶-超声法,通过正交试验优选酶提取法提取地黄多糖工艺,以纤维素酶酶解地黄,最终确定最佳提取条件为,提取温度40 °C,料液比1:35(g/mL),提取时间20 min, pH 6,此条件下地黄多糖提取率为21.40%。在植物多糖提取中,微波/超声/高压协同酶法是常用的联合提取方式。当下地黄多糖提取技术应朝着更高效、更安全、更环保且不损害多糖生物活性及结构的方向探索。

1.4 方法对比

结果见表1。

表1 地黄多糖提取方法汇总

Tab. 1 Summary of extraction methods for rehmannia glutinosa polysaccharides

提取方法	优点	缺点
溶剂提取法 ^[12]	提取工艺简便、选用范围广、成本相对较低	提取时间长,提取温度高,效率低
超声辅助提取法 ^[18]	提取效率高、耗时短、节能	超声可能会改变多糖的物质结构
微波辅助提取法 ^[20]	操作方便省时,提取含量高,副产物少	微波反应器容量有限,适用于小规模提取
膜分离法 ^[21]	分离效率高且极少破坏活性物质	设备成本高
超临界流体萃取法 ^[24]	提取效率高、环保,对多糖生物活性损害少、无试剂残留	操作条件严格,适用范围有限
酶-超声法 ^[25]	提取效率高,作用条件温和,不损害多糖生物活性	酶稳定性差,涉及参数多,优化难度大

2 质量控制

2.1 纯度分析

地黄多糖粗提物中含有大量蛋白质、色素、小分子

糖类、无机盐等杂质,这些杂质会干扰后续的定性分析和定量检测。因此,质量控制的第一步是检测地黄多糖的纯度。常用的纯化方法包括醇沉、Sevag法脱蛋白、离子交换层析(IEC)和凝胶排阻层析(GFC/SEC)。其中,IEC和GFC是提高多糖纯度和均一性的核心技术,且常联用,IEC利用电荷差异进行粗分,GFC进一步对电荷性质相近的组分进行细分或脱盐,且GFC能根据多糖的相对分子质量进行分离,是判断多糖均一性最常用的手段。

2.2 定性分析

目前,对地黄多糖的结构研究主要集中于其纯度、相对分子质量、组成单糖、糖苷键特征等方面^[26]。但常规分析方法存在操作复杂、时间长、重复性差、成本高昂等问题。因此,除根据地黄自身的性状和显微特征进行的定性鉴别外,中药指纹图谱和糖图谱是中药及其提取物质量控制的主要手段^[27]。曹卫宾^[28]以10批不同产地的地黄为原料,利用高效液相色谱(HPLC)指纹图谱技术,评价其共有峰的相似性,探讨了生地黄和鲜地黄的指纹图谱以控制其质量。CHEN等^[29]从地黄中分离到了2种新的多糖(RGP70-1-1和RGP70-1-2),并通过HPLC、傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、气相色谱串联质谱(GC-MS)、核磁共振(NMR)、刚果红试验和扫描电子显微镜(SEM)对地黄多糖的单糖组成、糖苷键连接方式和空间构型进行了结构表征。

2.3 定量检测

中药多糖的定量检测主要集中于总碳水化合物和糖醛酸两方面,可分为多糖的直接含量测定和水解后单糖含量测定两种。多糖的直接含量测定中,紫外-可见分光光度法因操作简便、灵敏度较高,是最常用的定量分析方法,包括吡啶硫酸法、间羟基联苯法、3,5-二硝基水杨酸-硫酸测定法、地衣酚-盐酸法、苯酚-硫酸法和蒽酮-硫酸法^[30]。目前,地黄多糖含量测定常用的方法为苯酚-硫酸法和蒽酮-硫酸法。苯酚-硫酸法的原理是浓硫酸使多糖脱水生成醛酸和羟基脲甲醛,再与苯酚缩合生成橙红色化合物。在一定浓度范围内,色深与糖含量呈正相关,通过测定吸光度来计算多糖的含量^[31]。蒽酮-硫酸法的原理与苯酚-硫酸法类似,是多糖与蒽酮在硫酸作用下生成蓝色物质,通过比色法测定含量。这两种方法操作简便,灵敏度均较高,但需注意对照品的选择和试验条件的控制。

3 免疫调控作用

3.1 地黄多糖对免疫器官的调控作用

免疫器官是免疫系统发挥功能的重要场所,地黄多糖可作用于免疫器官,增加器官质量,提高器官指数。李国辉等^[32]分别灌胃小鼠生理盐水及不同剂量的地黄提取物,7 d后处死,称定体质量,摘取脾脏和胸腺,

计算脏器指数,结果表明,与灌胃生理盐水的小鼠比较,灌胃地黄提取物的小鼠脾指数均不同程度升高($P < 0.05$),且中剂量地黄提取物可显著提高胸腺指数($P < 0.05$)。KWAK等^[33]的研究表明,酪氨酸酶相关蛋白2肽抗原与地黄多糖联合治疗促进了抗原特异性免疫反应,可抑制肺部黑色素瘤的生长和转移。

3.2 地黄多糖对免疫细胞的调控作用

免疫细胞是免疫应答的执行者,地黄多糖通过促进淋巴细胞的增殖和分化,增强巨噬细胞的吞噬功能,从而增强机体免疫功能。李国辉等^[32]通过灌胃小鼠地黄提取物,测定其对外周血白细胞总数、自然杀伤(NK)细胞活性、外周血T淋巴细胞亚群(CD_4^+T/CD_8^+T)、脾淋巴细胞增殖的影响,结果显示,地黄提取物能不同程度地提高在正常范围内的外周血白细胞总数和NK细胞活性,以及小鼠外周血 CD_4^+T 淋巴细胞亚群水平。黄叶娥^[34]分析了地黄多糖脂质体(RGPL)对小鼠脾脏淋巴细胞增殖和分化、腹腔巨噬细胞功能、骨髓树突状细胞的影响。结果显示,RGPL能促进小鼠脾脏T淋巴细胞的增殖,提高脾脏T淋巴细胞的 CD_4^+/CD_8^+ ;增强巨噬细胞清除病原体和抗原呈递的能力;显著促进树突状细胞(DCs)前体的增殖。曾敏等^[35]研究发现,地黄叶多糖RGLPW和RGLPS2可促进T淋巴细胞的增殖,RGLPS2可促进B淋巴细胞的增殖。王小兰等^[36]研究表明,地黄多糖能增强环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠的免疫功能,增强其癌细胞的杀伤能力,表现为降低脾淋巴细胞亚群 $CD_3^+CD_8^+$ 细胞表达水平,提高 $CD_3^+CD_4^+/CD_3^+CD_8^+$,激活淋巴细胞免疫功能,调节相关炎性因子水平,增强单核细胞的吞噬功能。

3.3 地黄多糖对细胞因子的调控作用

细胞因子是免疫细胞间传递信息的重要介质,其水平主要依赖于机体T细胞的分化状态,地黄多糖通过调节细胞因子的分泌实现免疫调控。刘思美等^[37]采用酶联免疫吸附试验法检测不同质量浓度下地黄多糖和地黄硒多糖对小鼠辅助性T细胞1(Th1)淋巴细胞的影响,结果表明,在15~240 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 质量浓度下,地黄多糖和地黄硒多糖均可促进Th1淋巴细胞分泌白细胞介素2(IL-2)和 γ 干扰素(IFN- γ),且促进后者分泌效果更显著。XU等^[38]研究表明,地黄多糖诱导DC成熟,特别是肿瘤引流淋巴结(drLN)中的DC成熟,能刺激DC细胞的Toll样受体4(TLR4)表达和细胞因子的产生,诱导细胞激活,从而促进淋巴细胞亚群 CD_4^+T 和 CD_8^+ 细胞产生IFN- γ ,增强免疫力,激活抗原特异性免疫反应。

4 小结与展望

地黄多糖的提取是其开发利用的前提。目前的提

取方法多样,且各有优劣。当前,地黄多糖纯度分析多采用IEC和GFC技术,结构表征多采用HPLC、FT-IR、GC-MS、NMR等技术,定量分析常用苯酚-硫酸法和蒽酮-硫酸法,但针对不同产地、不同炮制工艺下多糖结构的差异性研究仍显不足。未来需进一步引入更先进的定性、定量技术,建立更多维度的质量评价标准体系。免疫调控是地黄多糖最显著的药理活性之一。地黄多糖能通过多途径发挥免疫调控作用,目前研究已初步阐明地黄多糖的免疫调控网络,但具体的分子靶点及信号通路仍需进一步探索。

综上所述,地黄多糖作为地黄中的重要活性成分,在提取、质量控制和免疫调控作用等方面都取得了一定的研究进展。但当下对于地黄多糖的研究还存在一些不足之处,如提取工艺的优化、多种提取工艺联用提高提取效率,质量控制标准的完善和定性定量检测技术的提升,免疫调控作用的具体机制等均需进一步深入研究。未来应发展更高效绿色的提取与纯化技术,建立多维度的质量评价体系,深入阐明其信号通路与作用靶点,以推动地黄多糖的临床转化与产品开发。

参考文献

- [1] 王跃华,张欢,陈展. 不同炮制方法的地黄补血效果比较[J]. 医学临床研究,2025,42(3):486-488.
- [2] 姚辛敏,关慧波. 地黄化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药信息,2025,42(1):84-89.
- [3] 谢海生,周欣欣,刘茜茜,等. 四大怀药非药用部位现代研究特点分析[J]. 世界中医药,2025,20(1):174-180.
- [4] 刘阳阳,张学兰,孔庆悦,等. 生地黄与熟地黄补血与免疫调节作用研究[J]. 中药材,2022,45(8):1853-1856.
- [5] 陈金鹏,张克霞,刘毅,等. 地黄化学成分和药理作用的研究进展[J]. 中草药,2021,52(6):1772-1784.
- [6] 刘五梅,刘永飞,黄志英,等. 地黄多糖调节 Wnt/ β -catenin 信号通路对慢性肾衰竭大鼠的影响[J]. 中成药,2025,47(4):1341-1344.
- [7] YU Y, SHEN MY, SONG QQ, et al. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review[J]. Carbohydr Polym, 2018, 183:91-101.
- [8] 王清泉,宋景,李亚男,等. 地黄多糖的提取纯化及药理作用研究进展[J]. 中草药,2023,54(11):3734-3744.
- [9] LUAN F, JI YF, PENG LX, et al. Extraction, purification, structural characteristics and biological properties of the polysaccharides from *Codonopsis pilosula*: A review [J]. Carbohydr Polym, 2021, 261:117863.
- [10] 王国霞,牛祎琳,牛富婷,等. 不同提取方法对密银花多糖理化性质及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技,2024,45(24):196-203.
- [11] 梁子敬,张景艳,苏贵龙,等. 黄芪多糖提取工艺研究进展[J]. 动物医学进展,2018,39(4):101-104.
- [12] 周加林,张涵,岳义民,等. 响应面法优化地黄多糖的提取工艺及抗氧化活性分析[J]. 广东药科大学学报,2022,38(4):64-71.
- [13] 曹瑞,张红,师延琼,等. 响应面法分析优化生地黄提取工艺研究[J]. 医学研究杂志,2014,43(2):69-72.
- [14] LU MK, CHANG CC, CHAO CH, et al. Structural changes, and anti-inflammatory, anti-cancer potential of polysaccharides from multiple processing of *Rehmannia glutinosa* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206:621-632.
- [15] 孙月川,郑桦,刘静,等. 同时提取生地黄中地黄多糖和梓醇的工艺研究[J]. 中国畜牧兽医,2016,43(2):431-437.
- [16] 刘冲英,周宁,崔涛,等. 响应面法优化大孔树脂纯化地黄多糖工艺[J]. 食品工业科技,2021,42(6):202-207.
- [17] 唐婷. 地黄多糖提取纯化、结构表征及生物活性研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2023.
- [18] 许海燕,王珊,彭修娟,等. 多指标优选地黄提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 中国野生植物资源,2022,41(9):18-23.
- [19] HUANG HL, HUANG GL. Extraction, separation, modification, structural characterization, and antioxidant activity of plant polysaccharides [J]. Chemical Biology & Drug Design, 2020, 96(5):1209-1222.
- [20] 孔媛芳,杨彬,李敏,等. 正交试验与响应面法优化微波提取地黄多糖工艺研究(英文)[J]. 化学研究,2021,32(2):137-144.
- [21] 张敏,史宝利. 膜分离技术在水苏糖提取中的应用[J]. 食品工业,2019,40(10):102-106.
- [22] 董宇,林翰清,缪松,等. 酶法提取多糖的研究进展[J]. 食品工业科技,2021,42(3):351-358.
- [23] LÓPEZ-HORTAS L, RODRIGUEZ P, DÍAZ-REINOSO B, et al. Supercritical fluid extraction as a suitable technology to recover bioactive compounds from flowers [J]. J Supercrit Fluid, 2022, 188:105652.
- [24] 刘华,王晶,颜进项,等. 地黄多糖的超临界 CO₂ 萃取及其对创伤小鼠脾脏的影响[J]. 河南农业科学,2013,42(6):140-142.
- [25] 李文波. 酶-超声提取地黄多糖及其抗氧化性研究[J]. 德州学院学报,2009,25(4):46-50.
- [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] SUN XM, WANG HH, HAN XF, et al. Fingerprint analysis of polysaccharides from different *Ganoderma* by HPLC combined with chemometrics methods [J]. Carbohydr Polym, 2014, 114:432-439.
- [28] 曹卫宾. 地黄药材指纹图谱研究[D]. 郑州:河南大学,2011.
- [29] CHEN HE, LIU XY, XIE MX, et al. Two polysaccharides from *Rehmannia glutinosa*: isolation, structural characterization, and hypoglycemic activities [J]. RSC Advances, 2023, 13(43):30190-30201.
- [30] 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.