

[制剂工艺]

玄参多糖肝靶向作用研究

孙绍兴¹, 邵惠丽¹, 盛华刚^{1,2*}, 朱立俏^{1,2*}

(1. 山东中医药大学药学院, 山东 济南 250355; 2. 山东省数字中药重点实验室, 山东 济南 250355)

摘要: **目的** 探讨玄参多糖肝靶向作用。**方法** 异硫氰酸荧光素构建荧光标记物, 考察其在 PBS、血浆中的稳定性, 分析其在小鼠体内的组织分布, 高效凝胶渗透色谱-荧光检测器 (HPGPC-FLD) 法测定其在肝脏中的含量。**结果** 荧光标记率为 75%, 稳定性良好。多糖仅在肝脏中出现荧光, 而脑、心、脾、肺、肾中均未发现, 并且其含量在给药后 1~8 h 升高, 8 h 达到最大值, 24 h 基本消除。**结论** 玄参多糖具有良好的肝靶向性, 可为将其作为肝靶向制剂的载体材料提供依据。

关键词: 玄参; 多糖; 肝靶向作用; 荧光标记物; 组织分布; 高效凝胶渗透色谱-荧光检测器 (HPGPC-FLD)

中图分类号: R969.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)07-2162-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.07.005

Liver-targeting effects of polysaccharides from *Scrophularia ningpoensis*

SUN Shao-xing¹, SHAO Hui-li¹, SHENG Hua-gang^{1,2*}, ZHU Li-qiao^{1,2*}

(1. College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory for Digital Traditional Chinese Medicines, Jinan 250355, China)

ABSTRACT: **AIM** To explore the liver-targeting effects of polysaccharides from *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. **METHODS** Fluorescein isothiocyanate was adopted in the establishment of fluorescent labeling product, whose stability in PBS and plasma was investigated, the tissue distribution in mice *in vivo* was analyzed, high-performance gel permeation chromatography-fluorescence detector (HPGPC-FLD) method was used for the content determination in liver. **RESULTS** The labeling efficiency was 75% with good stability. Polysaccharides only exhibited fluorescence in the liver, which was not observable in the brain, heart, spleen, lung and kidney, whose content increased in 1–8 h after administration, reached the maximum value at 8 h, and basically eliminated at 24 h. **CONCLUSION** Polysaccharides from *S. ningpoensis* demonstrate good liver-targeting effects, which can provide a basis for taking them as a carrier material of liver-targeted preparations.

KEY WORDS: *Scrophularia ningpoensis* Hemsl.; polysaccharides; liver-targeting effects; fluorescent labeling product; tissue distribution; high-performance gel permeation chromatography-fluorescence detector (HPGPC-FLD)

玄参为玄参科植物玄参 *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. 的干燥根^[1-2], 多糖为其主要成分^[3], 具有抗氧化^[4]、抗炎^[5]、抗肿瘤^[6-7]、降血糖^[8]、抗抑郁^[9]、增强免疫^[10]等作用, 其中半乳糖醛酸占比

35% 以上^[11]。研究表明, 末端带有半乳糖或 *N*-乙酰基半乳糖胺残基的分子, 可特异性结合肝实质细胞表面高度表达的去唾液酸糖蛋白受体^[12], 从而实现肝靶向作用。虽然玄参多糖富含半乳糖醛酸,

收稿日期: 2026-01-26

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (ZR2024MH173, ZR2022MH173); 山东省中医药科技发展项目 (M20241702); 齐鲁卫生与健康杰出青年人才项目 (鲁卫人才字 [2020] 3 号)

作者简介: 孙绍兴 (2000—), 男, 硕士在读, 从事天然药物 (中药) 活性成分发现及其质量控制研究。E-mail: 15054589373@163.com

* 通信作者: 盛华刚 (1979—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 从事中药新剂型、新技术研究。E-mail: shenghuagang@sina.com
朱立俏 (1981—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事中药药效物质基础及其体内过程研究。E-mail: zliqiao@163.com

但它是否具有肝靶向作用尚不明确。

目前,关于中药肝靶向作用的研究大多采用组织分布法^[13],通过 LC-MS 或 GC-MS 法测定相关成分含量^[14],但多糖因缺乏发色团、分子量大而难以直接检测。免疫化学法^[15]、荧光标记法^[16]、同位素标记法^[17]是研究多糖体内暴露的主要手段,其中荧光标记法(如异硫氰酸荧光素等)因操作简便、安全性高而被广泛应用^[17]。因此,本实验首先制备玄参多糖并进行结构表征,采用异硫氰酸荧光素对其进行荧光标记,观察标记物在小鼠脑、心、肝、脾、肺、肾中的分布,高效凝胶渗透色谱-荧光检测器(HPGPC-FLD)法测定不同时间点其在肝脏中的含量,旨在为该类成分作为肝靶向载体材料提供理论依据,拓展其应用前景。

1 材料

1.1 仪器 IVIS Lumina XRMS Ⅲ小动物活体成像系统、傅里叶红外光谱仪(美国珀金埃尔默公司);Agilent 1200 型高效液相色谱仪(配置 DAD 检测器、示差折光检测器,美国 Agilent 公司);Advance Ⅲ HD-600 MHz 核磁共振波谱仪(德国布鲁克公司);Waters H-class 高效液相色谱仪,配置荧光检测器(美国 Waters 公司);FS5 荧光分光光度计[天美仪拓实验室设备(上海)有限公司];UV9100B 紫外可见分光光度计(北京莱伯泰科仪器有限公司);MS105DU 电子天平(十万分之一)(瑞士 Mettler-Toledo 公司);YP10002 电子分析天平(上海光正医疗仪器有限公司);SCIENTZ-10N/A 冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司);JIDI-18D 台式多用途高速离心机(广州吉迪仪器有限公司);KQ-250E 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);N-1300 旋转蒸发器(东京理化器械株式会社);FLBP-350 万能高速粉碎机(上海菲力博实业公司);PKB101-1 电热鼓风干燥箱(上海树立仪器有限公司);HH-S4 数显恒温水浴锅(常州国宇仪器制造有限公司)。

1.2 试剂与药材 玄参饮片(批号 201001)购自济南众和中药饮片有限公司,经山东中医药大学药学院张芳教授鉴定为正品。硫酸(批号 20200921)、盐酸(批号 20191216)、三氯甲烷(批号 20200622)均购自国药集团化学试剂有限公司;苯酚(批号 C13055075)、三氟乙酸(批号 C11852091)、PMP(批号 C13634278)均购自上海麦克林生化科技有限公司;无水硫酸钠(批号 1608031)购自西陇科学股份有限公司;溴化钾

(批号 B30O10M101461)、葡萄糖(批号 Y19F11J1087781)、半乳糖(批号 Z22J9H64187)、鼠李糖(批号 O12A10K95105)、甘露糖(批号 C11M10H82342)、半乳糖醛酸(批号 K07J1B133073)、阿拉伯糖(批号 J24M10R89091)均购自上海源叶生物科技有限公司;葡聚糖 5000(批号 BCCK2280)、葡聚糖 12000(批号 BCCC1294)、葡聚糖 25000(批号 BCCC0377)、葡聚糖 50000(批号 BCCB5075)、葡聚糖 410000(批号 BCCC2882)均购自美国 Sigma-Aldrich 公司;其他试剂均为分析纯。

1.3 动物 SPF 级雄性昆明小鼠,体质量 18~22 g,购自北京维通利华实验动物技术有限公司,实验动物生产许可证号 SCXK(京)2021-0006,饲养于山东中医药大学实验动物中心,实验动物使用许可证号 SYXK(鲁)2022-0009,适应性喂养 7 d,自由进食饮水,12 h 循环光照。本实验操作程序符合《实验动物护理和使用指南》,经山东中医药大学实验动物中心伦理委员会审核通过(批准编号 SDUTCM20230908002)。

2 方法

2.1 多糖制备与结构表征 按照课题组前期报道^[11],依次采用乙醇脱脂、水提醇沉、反复冻融除蛋白制备粗多糖,再通过 Sephadex G-50 色谱柱(2.6 cm×60 cm)进行纯化,测定其相对分子质量和单糖组成,再进行红外光谱、核磁共振谱分析。

2.1.1 红外光谱分析 取适量多糖,与 200 mg 溴化钾一同置于玛瑙研钵中研磨均匀,混合粉末压片,采用傅里叶红外光谱仪在 4 000~400 cm⁻¹波数范围内进行扫描,设定参数为空气参考;扫描次数 32 次;分辨率 4 cm⁻¹。采用 Omnic 软件进行分析,并将数据导入 Origin 软件绘图。

2.1.2 核磁共振谱分析 称取多糖约 15 mg,溶于 0.6 mL 重水中,10 000 r/min 离心 5 min,取上清液,0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液转移至核磁管中,在核磁共振仪(600 MHz)上进行¹H-NMR、¹³C-NMR 分析,采用 MestReNova 软件进行数据处理。

2.2 荧光标记物合成及验证

2.2.1 合成 参照文献[18]报道,精密称取多糖 100 mg,置于离心管中,二甲基亚砷完全溶解,加入 2 μL 二月桂酸二丁基锡、10 mg 异硫氰酸荧光素及 1 滴吡啶,涡旋 1 min,密封,95 ℃恒温水浴避光反应 2 h,每 30 min 1 次,反应结束后加入

9 倍量无水乙醇醇沉，涡旋混匀，12 000 r/min 离心 10 min，弃去上清液，沉淀用无水乙醇反复洗涤、离心至上清液无色，溶于超纯水中，采用截留分子量为 3 kDa 的超滤管过滤，直至滤出液基本不含游离异硫氰酸荧光素，收集截留液，冷冻干燥，即得，称定质量，计算收率。

2.2.2 紫外光谱分析 取荧光标记物适量，0.01 mol/L PBS 缓冲液制成质量浓度为 1 mg/mL 的溶液，采用紫外分光光度计，在 200~700 nm 波长范围内进行扫描，分析紫外特性。

2.2.3 荧光光谱分析 取荧光标记物适量，0.01 mol/L PBS 缓冲液制成质量浓度为 10 μg/mL 的溶液，在激发波长 (λ_{ex}) 400~550 nm、发射波长 (λ_{em}) 450~600 nm 范围内进行扫描，分析荧光光谱特征。

2.2.4 异硫氰酸荧光素取代度测定 精密称取异硫氰酸荧光素 5.00 mg，置于 10 mL 量瓶中，0.01 mol/L PBS 缓冲液制成质量浓度为 0.5 mg/mL 的储备液，再依次稀释至 0.1、0.25、0.5、1.0、1.25 μg/mL，在 491 nm 波长处测定吸光度，以吸光度为纵坐标 (A)，异硫氰酸荧光素质量浓度为横坐标 (X) 进行回归。精密称取荧光标记物适量，0.01 mol/L PBS 缓冲液制成质量浓度为 50 μg/mL 的溶液，在 491 nm 波长处测定吸光度，计算取代度。

2.3 稳定性考察

2.3.1 溶液制备

2.3.1.1 空白血浆 小鼠摘眼球取血，置于抗凝管中，室温静置后 4 ℃、4 000 r/min 离心 10 min，取上层血浆，即得，在 -20 ℃ 下保存。

2.3.1.2 饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液 在 10 mL 蒸馏水中加入 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，充分搅拌至不再溶解，取上清液，即得。

2.3.1.3 荧光标记物储备液 精密称取荧光标记物 5 mg，置于 1 mL 量瓶中，0.01 mol/L PBS 缓冲液溶解定容，即得（质量浓度为 5 mg/mL）。

2.3.2 色谱条件 PL aquagel-OH MIXED-M 色谱柱 (300 mm×7.5 mm, 8 μm)；流动相 0.05 mmol/L PBS 缓冲液 (pH=7.0)，等度洗脱；体积流量 0.5 mL/min；柱温室温；检测波长 λ_{ex} 493 nm, λ_{em} 516 nm；进样量 10 μL。

2.3.3 在 PBS 缓冲液中的稳定性 取荧光标记物储备液 40 μL，加入 360 μL 0.01 mol/L PBS 缓冲液，涡旋混匀，在温度 37 ℃、转速 60 r/min 条件

下孵育，于 0、4、24 h 各取样 50 μL，加入 25 μL 饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液，振荡混匀，12 000 r/min 离心 10 min，上清液用流动相稀释 150 倍，0.22 μm 微孔滤膜过滤，在“2.3.2”项色谱条件下进样测定。

2.3.4 在血浆中的稳定性 取 5 mg/mL 荧光标记物溶液 40 μL，加入 360 μL 空白血浆，使其终质量浓度为 0.5 mg/mL，按“2.3.3”项下方法制备供试品溶液，0.22 μm 微孔滤膜过滤，在“2.3.2”项色谱条件下进样测定。

2.4 离体肝靶向作用研究 小鼠随机分为空白组、异硫氰酸荧光素组和玄参多糖荧光标记物组，其中后两组按 12 mg/kg 剂量尾静脉注射相应样品，给药 2、6 h 后在暗室内解剖，取脑、心、肝、脾、肺、肾，采用小动物活体成像系统在 λ_{ex} 493 nm、 λ_{em} 516 nm 条件下检测荧光标记物在上述组织中的分布情况。

2.5 荧光标记物在肝脏中的含量测定 采用 HPGPC-FLD 法。

2.5.1 供试品溶液制备 参照文献 [18] 报道，精密称取小鼠肝脏组织适量，加入 9 倍量 0.01 mol/L PBS 缓冲液匀浆，4 ℃、12 000 r/min 离心 10 min，取 1 mL 上清液，加入 400 μL 30% 三氯乙酸，涡旋 1 min，4 ℃、12 000 r/min 离心 5 min，取 1 mL 上清液，加入 150 μL 11% 氢氧化钠溶液，涡旋 1 min，0.22 μm 微孔滤膜过滤，取续滤液，即得，-20 ℃ 避光保存。

2.5.2 线性关系考察 取小鼠空白肝脏组织匀浆液 1 080 μL，加入 5、10、20、50、100、200 μg/mL 荧光标记物溶液各 120 μL，涡旋 1 min，制成质量浓度分别为 0.5、1、2、5、10、20 μg/mL 的溶液，在“2.3.2”项色谱条件下进样测定，以对照品荧光强度为纵坐标 (Y)，荧光标记物质量浓度为横坐标 (X) 进行回归。

2.5.3 精密度试验 精密吸取荧光标记物储备液适量，用流动相制成质量浓度分别为 5、25、250 μg/mL 的溶液。精密吸取小鼠空白肝脏组织匀浆上清液 1 080 μL，精密加入上述溶液各 120 μL，制成质量浓度分别为 0.5、2.5、25 μg/mL 的质控样品溶液，处理后于同一天内在“2.3.2”项色谱条件下进样测定 3 次，再同法连续测定 3 d，每天 1 次，分别计算日内、日间精密度。

2.5.4 稳定性试验 取低、中、高质量浓度的质控样品溶液，处理后在“2.3.2”项色谱条件下进

样测定，分别考察样品在 4℃ 下避光保存 3 d 后、-20℃ 下避光保存 7 d 后的稳定性。

2.5.5 加样回收率试验 精密吸取质量浓度已知的小鼠肝脏组织匀浆上清液适量，精密加入不同质量浓度的荧光标记物储备液，分别为 0.5、2.5、25 μg/mL，平行 3 份，处理后在“2.3.2”项色谱条件下进样测定，计算回收率。

2.5.6 测定方法 21 只小鼠随机分为空白组（3 只）和给药组（18 只），给药组再根据取材时间分为 6 个亚组，每组 3 只，按 12 mg/kg 剂量尾静脉注射荧光标记物 PBS 缓冲液，于给药后 1、2、4、8、12、24 h 处死，取肝脏组织，按“2.5.1”项下方法制备供试品溶液，在“2.3.2”项色谱条件下进样测定，计算含量。

3 结果

3.1 结构表征 多糖相对分子质量为 115 125.89 Da，主要由甘露糖、鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖组成，摩尔比为 1.000 : 1.332 : 18.142 : 1.968 : 11.517 : 7.423，其中半乳糖醛酸含量最高，表明该类成分为酸性多糖。

红外吸收光谱见图 1A。由此可知，多糖在 3 402.67 cm⁻¹ 处具有 O-H 键的吸收峰，而在 2 925.76、1 440.92 cm⁻¹ 处的吸收峰是由 C-H 键引起的；在 927.59、852.38 cm⁻¹ 处具有吸收峰，表明多糖含有 α、β 糖苷键；在 1 744.41 cm⁻¹ 处有 1 个吸收峰，可能是糖醛酸上羧基 C=O 的伸缩振动所产生的，推测多糖中可能含有糖醛酸。

核磁图谱见图 1B~1C。由此可知，多糖端基质子信号出现在 δ 4.5~5.5 范围内，其他氢信号集中在 δ 3.3~4.3 范围内。通常，α 构型糖苷键质子信号的化学位移大于 5.0，β 构型者的小于 5.0，而多糖端基质子出现在 δ 5.15、5.09 处，表明该类成分为 α 构型糖苷键。

另外，与¹H-NMR 相比，¹³C-NMR 化学位移范围更宽，分辨率更好，可解析异头碳构型^[19]。在¹³C-NMR 谱中，异头碳信号位于 δ 90~112 范围内，其中 α 构型糖残基的一般位于 δ 90~102 范围内，β 构型者的一般位于 δ 102~112 范围内。通常，C₂~C₅ 信号未发生取代时在 δ 70~78 范围内，发生取代后在 δ 78~85 范围内；C₆ 信号未发生取代时在 δ 60~64 范围内，发生取代后在 δ 67~70 范围内。本实验发现，多糖异头碳信号为 δ 107.43、104.33、100.44，表明该类成分同时存在 α、β 构型糖残基；δ 70~78 为 C₂~C₅ 中未发生取代的信

号，δ 78~85 为发生取代后的信号，而多糖在 δ 170 处有 1 个孤峰，可能为糖醛酸羧基上的 C₆ 峰。

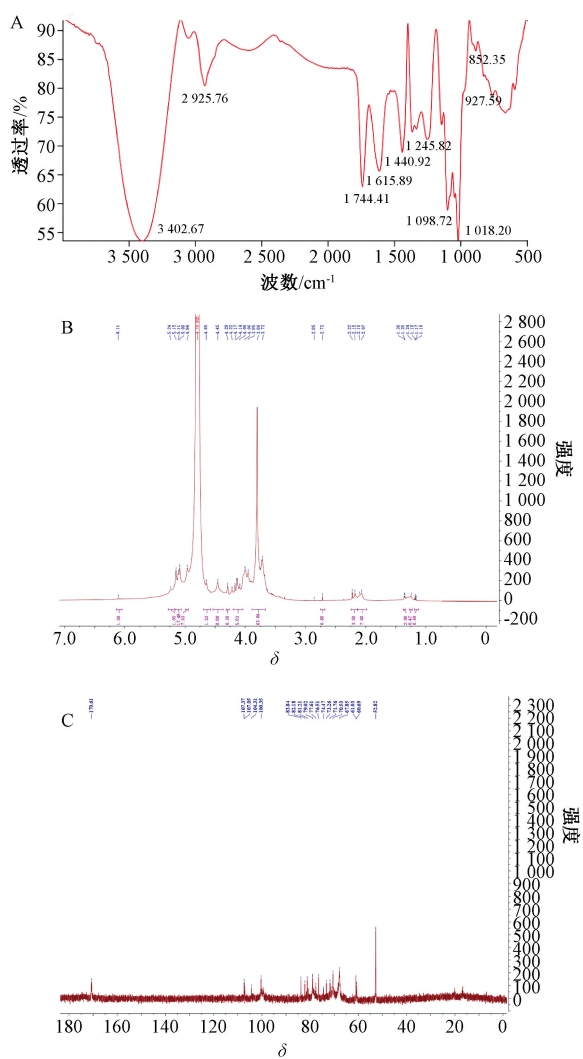


图 1 玄参多糖 IR、NMR 表征
Fig. 1 IR and NMR characterization of polysaccharides from *S. ningpoensis*

3.2 荧光标记物制备与验证

3.2.1 制备 荧光标记物为橙黄色絮状固体，见图 2A，产率为 75%。

3.2.2 紫外光谱 图 2B 显示，荧光标记物在 420~530 nm 范围内有 1 个较强的吸收峰，并且在 491 nm 处吸光度最大，而未标记者在 420~530 nm 范围内无吸收峰，表明异硫氰酸荧光素被标记到多糖上。

3.2.3 荧光光谱 图 2C 显示，荧光标记物 λ_{ex} 为 491 nm，λ_{em} 为 517 nm，表明异硫氰酸荧光素被标记到多糖上。

3.2.4 异硫氰酸荧光素取代度 回归方程为 A = 0.144 5X - 0.003 8 (R² = 0.998 4)，在 0.10~1.25

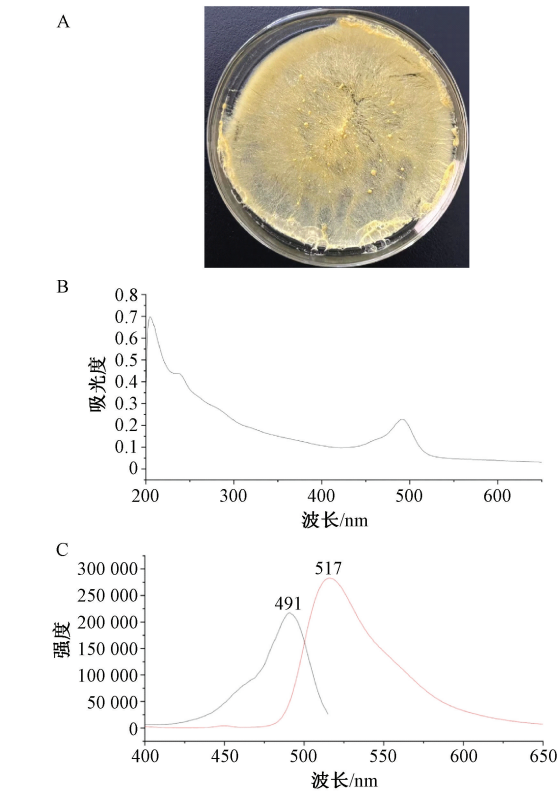


图 2 玄参多糖荧光标记物制备与验证

Fig. 2 Preparation and verification of fluorescent labeling product of polysaccharides from *S. ningpoensis*

mg/mL 范围内线性关系良好。异硫氰酸荧光素取代度为 1.36%，表明多糖与其投料比为 10 : 1，在 95 ℃ 下反应 2 h 后可得到取代度较小的荧光标记物。另外，在满足检测灵敏度要求的前提下，上述取代度对多糖理化性质的影响较小。

3.3 荧光标记物稳定性 荧光标记物在 PBS 缓冲液中的稳定性考察结果见图 3A。由此可知，荧光标记物在 0、4、20 h 内出峰时间和峰形均无明显变化，表明它未发生降解，稳定性良好。

荧光标记物在血浆中的稳定性考察结果见图 3B。由此可知，荧光标记物在 0、4、20 h 内出峰时间和峰形均无明显变化，表明其未发生降解，稳定性良好。

3.4 荧光标记物离体肝靶向研究 图 4 显示，与异硫氰酸荧光素比较，荧光标记物在小鼠肝组织中有明显荧光，并且 6 h 内强度略高于 2 h 内，而在脑、心、脾、肺、肾中均无荧光，表明多糖具有肝靶向作用。

3.5 荧光标记物在肝脏中的含量

3.5.1 方法学考察 回归方程为 $Y = 134\,507X - 436.39$ ($R^2 = 0.999\,7$)，在 0.5 ~ 20 μg/mL 范围内

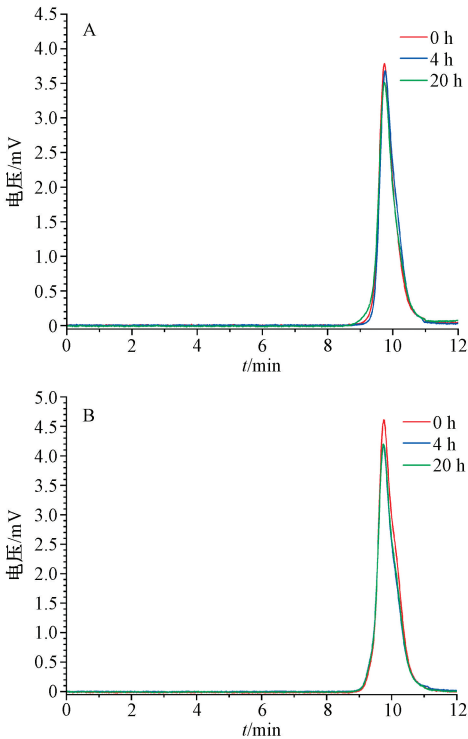
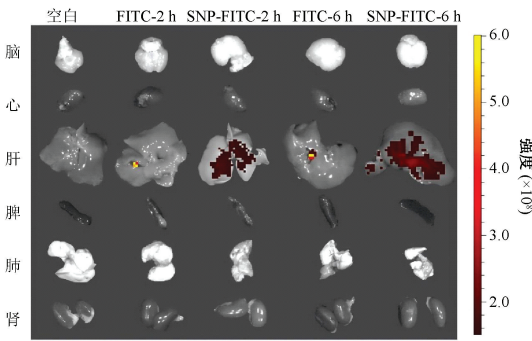


图 3 玄参多糖荧光标记物 HPGPC-FLD 色谱图

Fig. 3 HPGPC-FLD chromatograms of fluorescent labeling product of polysaccharides from *S. ningpoensis*



注：FITC、SNP 分别为荧光标记物、玄参多糖。

图 4 玄参多糖荧光标记物离体组织分布

Fig. 4 *In vitro* tissue distribution of fluorescent labeling product of polysaccharides from *S. ningpoensis*

线性关系良好。在肝脏组织中，低、中、高质量浓度荧光标记物日内精密度 RSD 分别为 2.11%、3.16%、1.18%，日间精密度 RSD 分别为 2.23%、1.01%、3.26%，表明仪器精密度良好；在 4 ℃ 下避光保存 3 d 后、-20 ℃ 下避光保存 7 d 后，RSD 分别为 2.45%、3.68%，表明溶液在上述条件下稳定性良好；平均加样回收率分别为 104.40%、102.23%、99.29%，RSD 分别为 1.07%、3.76%、3.08%。

3.5.2 结果分析 小鼠尾静脉给药 1、2、4、8、12、24 h 后，肝脏中多糖荧光标记物平均含量分别为 0.966、1.201、1.710、2.163、1.295、0.316 $\mu\text{g/mL}$ ，即 1~8 h 该类成分含量逐渐升高，8 h 时达到最大值，之后开始降低，24 h 时基本消除。

4 讨论与结论

多糖作为天然大分子聚合物，具有良好的生物相容性、可降解性和生物活性，是理想的药物递送系统辅料^[20]，并且有一部分通过受体结合、环境触发、黏膜粘附和转运等机制^[21-24]来实现靶向递送。近年来，中药多糖因其多效活性及高生物安全性而备受关注^[25]，将其应用于构建纳米载体时既契合“药辅合一”的理念，也为相关新药研发提供了新方向。

本实验采用异硫氰酸荧光素标记及组织分布实验，发现玄参多糖具有良好的肝靶向性，HPGPC-FLD 法显示，其荧光标记物在肝脏中的蓄积与清除呈时间依赖性。由于玄参多糖富含半乳糖醛酸，可被肝细胞表面高表达的去唾液酸糖蛋白受体识别并结合，故推测其肝靶向作用可能由去唾液酸糖蛋白受体介导。

结果显示，玄参多糖由 man、rha、galA、glc、gal、ara 6 种单糖组成，与文献 [3, 26] 报道一致，但与文献 [5, 9] 报道存在差异。Wang 等^[5]发现，玄参多糖中除了上述单糖外，还包括岩藻糖、氨基半乳糖、木糖、葡萄糖醛酸。另外，不同文献中单糖摩尔比不同，马舒伟等^[3]报道，man、glc 含量较高；有研究显示，葡萄糖、半乳糖含量较高^[5,9,26]。而本实验发现，galA、glc 含量较高，可能与玄参产地、提取方法、分离纯化方法有关。

综上所述，玄参多糖是以半乳糖醛酸为主的杂多糖，肝靶向性良好，具备进一步开发成肝靶向纳米载体的潜力，本实验为该类成分在相关制剂中的应用提供了参考。

参考文献：

[1] Ren D, Shen Z Y, Qin L P, *et al.* Pharmacology, phytochemistry, and traditional uses of *Scrophularia ningpoensis* Hemsl[J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 269: 113688.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2025 年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.

[3] 马舒伟, 刘兴艳, 贾占东, 等. 不同提取方法对玄参多糖单糖组分和抗氧化活性的影响[J]. 中华中医药学刊, 2020, 38(1): 220-224; 285.

[4] 陈莉华, 廖 微, 肖 斌, 等. 玄参多糖体外清除自由基

和抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 86-89.

[5] Wang J A, Huang L H, Ren Q, *et al.* Polysaccharides of *Scrophularia ningpoensis* Hemsl.: Extraction, antioxidant, and anti-inflammatory evaluation[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020: 8899762.

[6] 邹 霞, 易 萍, 曹 江. 玄参多糖抗肿瘤作用的实验研究[J]. 中国医药指南, 2015, 13(10): 69-70.

[7] 郑 真, 邓碧琦, 陈雪梅, 等. 以玄参多糖-熊去氧胆酸为载体的蜡毒灵纳米粒制备、表征与体外抗肝癌活性研究[J]. 中国中药杂志, 2025, 50(11): 3013-3023.

[8] 郭 旭. 玄参水提取物抑制 NLRP3/GSDMD 信号缓解糖尿病小鼠胰岛 β 细胞焦亡[D]. 十堰: 湖北医药学院, 2024.

[9] Shen R H, Wang J A, Zhao Y J, *et al.* Polysaccharides from *Scrophularia ningpoensis* Hemsl. improve reserpine-induced depression-like behavior by inhibiting HTR2A/HTR2C mediated AKT/GSK3beta/beta-catenin/CBP/BDNF signalling[J]. *Int J Biol Macromol*, 2025, 301: 140445.

[10] 李自辉, 张 宁, 董婉茹, 等. 玄参多糖对正常生理小鼠和免疫低下状态小鼠免疫功能的影响[J]. 中国药房, 2017, 28(10): 1316-1319.

[11] 陈雪梅, 邵惠丽, 高 燕, 等. 不同产地玄参多糖的单糖组成及分子量测定[J]. 天津中医药大学学报, 2024, 43(12): 1082-1089.

[12] 龙国璋, 张 卓, 陈五红, 等. 基于去唾液酸糖蛋白受体的肝靶向药物的研究[J]. 药学学报, 2023, 58(2): 235-245.

[13] Wu Y Y, Liu L J, Zhao Y, *et al.* Polysaccharides of vinegar-baked *Radix Bupleuri* promote the hepatic targeting effect of oxymatrine by regulating the protein expression of HNF4alpha, Mrp2, and OCT1[J]. *J Ethnopharmacol*, 2021, 267: 113471.

[14] 王小欢, 李朋鑫, 宫婷婷, 等. 荧光标记黄芪多糖在小鼠体内的药代动力学和组织分布研究[J]. 中国中药杂志, 2025, 50(7): 1959-1968.

[15] Nualnoi T, Kiroosingh A, Pandit S G, *et al.* *In vivo* distribution and clearance of purified capsular polysaccharide from *Burkholderia pseudomallei* in a murine model[J]. *PLoS Negl Trop Dis*, 2016, 10(12): e0005217.

[16] Wei M, Zhu H P, Zhang Q, *et al.* The gastrointestinal absorption characteristics and metabolic mechanisms of polysaccharides from *Hohenbuehelia serotina*[J]. *Food Chem*, 2025, 468: 142483.

[17] 郑子明, 张 玉, 张琪琳, 等. 多糖放射性同位素标记及其体内药动学应用的研究进展[J]. 中国药学杂志, 2022, 57(8): 599-604.

[18] 罗 立. 当归多糖 ASP1 体内外特异性肝靶向研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.

[19] 何坤明, 王国锭, 白新鹏, 等. 山茱萸籽多糖分离纯化、结构表征及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2021, 42(19): 81-88.

[20] 王琪瑶, 周鑫康, 赵康平, 等. 天然多糖药物纳米递送系统的研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2026, 47(2):

140-144; 156.

[21] Ain Noor Ul. 甘草和山楂多糖纳米制剂治疗痤疮和皮肤光老化的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2024.

[22] Sun H L, Nai J J, Deng B Q, et al. Angelica sinensis polysaccharide-based nanoparticles for liver-targeted delivery of oridonin[J]. *Molecules*, 2024, 29(3): 731.

[23] Sun H L, Li X Y, Liu Q, et al. pH-Responsive self-assembled nanoparticles for tumor-targeted drug delivery[J]. *J Drug Target*, 2024, 32(6): 672-706.

[24] Shi Y N, Liu L Z, Yin M M, et al. Mucus- and pH-mediated controlled release of core-shell chitosan nanoparticles in the gastrointestinal tract for diabetes treatment[J]. *J Drug Target*, 2023, 31(1): 65-73.

[25] Li X Y, Zhu R R, Liu Q, et al. Effects of traditional Chinese medicine polysaccharides on chronic diseases by modulating gut microbiota: A review[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 282 (Pt 2): 136691.

[26] 张 婷, 孙红梅, 李 振, 等. 响应面法优化水提醇沉玄参多糖工艺及其含量分析[J]. 中国现代中药, 2021, 23(4): 679-684; 697.

凌霄花总黄酮超声提取工艺优化及其抗氧化、抗炎活性评价

李 薇¹, 马悦文¹, 陈少东², 马晶菁¹, 杨 勐¹, 王若宇¹, 杨彬豪¹, 张春芳^{3*}, 王春丽^{1*}

(1. 华东理工大学药学院, 上海市新药设计重点实验室, 制药工程与过程化学教育部工程研究中心, 上海 200237; 2. 厦门大学医学院, 福建 厦门 361102; 3. 厦门大学附属翔安医院中医科, 福建 厦门 361005)

摘要: 目的 优化凌霄花总黄酮超声提取工艺, 并评价其抗氧化、抗炎活性。**方法** 在单因素试验基础上, 以料液比、乙醇体积分数、超声功率为影响因素, 总黄酮含量为评价指标, 响应面法优化超声提取工艺。再测定总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基的清除能力, 以及对 5-LOX 的抑制作用。**结果** 最佳条件为料液比 1 : 45, 乙醇体积分数 71%, 超声功率 210 W, 超声时间 40 min, 超声温度 70 ℃, 总黄酮含量为 67. 16 mg/g。总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基及 5-LOX 的 IC₅₀ 值分别为 0. 024 9、0. 019 2、0. 193 9 mg/mL。**结论** 该方法稳定可靠, 可用于超声提取抗氧化、抗炎活性较强的凌霄花总黄酮。

关键词: 凌霄花; 总黄酮; 超声提取工艺; 响应面法; 抗氧化活性; 抗炎活性

中图分类号: R284. 2 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2026)07-2168-07
doi:10. 3969/j. issn. 1001-1528. 2026. 07. 006

Optimization of ultrasonic extraction process and evaluation of antioxidant and anti-inflammatory activities for total flavonoids from *Campsis grandiflora*

LI Wei¹, MA Yue-wen¹, CHEN Shao-dong², MA Jing-jing¹, YANG Meng¹, WANG Ruo-yu¹, YANG Bin-hao¹, ZHANG Chun-fang^{3*}, WANG Chun-li^{1*}

(1. School of Pharmacy, East China University of Science and Technology, Shanghai Municipal Key Laboratory for New Drug Design, Ministry of Education Engineering Research Center for Pharmaceutical Process Chemistry, Shanghai 200237, China; 2. School of Medicine, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. Department of Traditional Chinese Medicine, Xiang'an Hospital of Xiamen University, Xiamen 361005, China)

ABSTRACT: **AIM** To optimize the ultrasonic extraction process for total flavonoids from *Campsis grandiflora* (Thunb.) K. Schum., and to evaluate their antioxidant and anti-inflammatory activities. **METHODS** With solid-liquid ratio, ethanol concentration and ultrasonic power as influencing factors, total flavonoids content as an

收稿日期: 2025-11-25

基金项目: 国家自然科学基金 (82174141); 厦门市扶持中医药发展专项 (XWZY-2023-0617); 上海市大学生创新创业训练计划 (S202510251076)

作者简介: 李 薇 (1997—), 女, 硕士, 从事中药抗炎、抗氧化研究。E-mail: 19851636510@ 163.com

* 通信作者: 张春芳 (1972—), 女, 博士, 主任医师, 从事中医药治疗风湿免疫病机制研究。E-mail: 2810624579@ qq.com

王春丽 (1971—), 女, 博士, 副教授, 从事中药药理学研究。E-mail: wangchunli@ ecust. edu. cn