

# 提取方法对北沙参多糖性质及生物活性的影响

## Effect of different extraction methods on the properties and biological activity of polysaccharides from *Radix Glehniae*

景永帅<sup>1</sup> 张丹参<sup>1</sup> 张瑞娟<sup>1</sup> 苏蕾<sup>1</sup>

JING Yong-shuai<sup>1</sup> ZHANG Dan-shen<sup>1</sup> ZHANG Rui-juan<sup>1</sup> SU Lei<sup>1</sup>

潘孟树<sup>1</sup> 孙帅帅<sup>1</sup> 吴兰芳<sup>2</sup> 郑玉光<sup>2</sup>

PAN Meng-shu<sup>1</sup> SUN Shuai-shuai<sup>1</sup> WU Lan-fang<sup>2</sup> ZHENG Yu-guang<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学化学与制药工程学院, 河北 石家庄 050018; 2. 河北中医学院药学院, 河北 石家庄 050200)

(1. College of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China; 2. College of Pharmacology, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang, Hebei 050200, China)

**摘要:**分别采用热水回流提取、超声波提取、微波提取、碱液提取、酸液提取、纤维素酶提取等方法提取北沙参多糖,得到各北沙参多糖:GLP-W、GLP-U、GLP-M、GLP-L、GLP-A和GLP-E。对各多糖的提取率、可溶性总糖含量、黏度、结构特征、固体形貌、抗氧化和降血糖活性等指标进行测定。结果表明:北沙参多糖的提取率依次为GLP-A(39.62%)>GLP-E(38.33%)>GLP-L(24.80%)>GLP-W(23.93%)>GLP-M(18.92%)>GLP-U(12.68%);北沙参多糖溶液的黏度均随多糖溶液浓度的升高而升高,相同浓度下,GLP-L的黏度最大;可溶性总糖含量大小依次为GLP-A(74.05%)>GLP-L(67.57%)>GLP-W(65.41%)>GLP-U(63.25%)>GLP-E(33.03%)>GLP-M(28.71%);抗氧化和对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性结果表明,随着多糖浓度的升高,活性逐渐增强,当浓度达到一定时,活性趋于稳定。超声波提取的北沙参多糖对DPPH自由基和羟基自由基的清除率最高, $IC_{50}$ 分别为3.091,1.999 mg/mL;碱液提取的北沙参多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制率最强, $IC_{50}$ 为1.437 mg/mL。

**关键词:**北沙参;多糖;表征;抗氧化; $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂

**Abstract:** The polysaccharides were extracted from *Radix Glehniae*, by using hot water extraction, ultrasonic extraction, microwave ex-

traction, lye extraction, acid extraction and cellulase extraction, and the corresponding polysaccharide was GLP-W, GLP-U, GLP-M, GLP-L, GLP-A and GLP-E. The extraction rate, soluble sugar content, viscosity, structural characteristics, solid morphology, antioxidant activity and hypoglycemic activity of each polysaccharide were measured. The results showed: the extraction rates of polysaccharides were GLP-A(39.62%)>GLP-E(38.33%)>GLP-L(24.80%)>GLP-W(23.93%)>GLP-M(18.92%)>GLP-U(12.68%); The viscosity of the polysaccharide solution by different extraction methods were increased with the increase of polysaccharide solution concentration, and at the same concentration, GLP-L had the largest viscosity. The content of soluble sugar was GLP-A(74.05%)>GLP-L(67.57%)>GLP-W(65.41%)>GLP-U(63.25%)>GLP-E(33.03%)>GLP-M(28.71%). The antioxidant activity and the inhibitory activity against  $\alpha$ -glucosidase showed that, with the increase of polysaccharide concentration, the activity gradually increased. However, when the concentration reached a certain range, the activity tended to be stable. Ultrasonic extraction of *R. Glehniae* polysaccharide scavenging of DPPH and hydroxyl radicals was the highest, and the  $IC_{50}$  were 3.091 mg/mL and 1.999 mg/mL, respectively; The strongest inhibition of  $\alpha$ -glucosidase was obtained by alkali extraction, the  $IC_{50}$  was 1.437 mg/mL.

**Keywords:** Radix Glehniae; polysaccharide; characterization; antioxidation;  $\alpha$ -glucosidase inhibitor

**基金项目:**河北省自然科学基金项目(编号:H2016208059, H2016208058, H2017423023);河北省高等学校科学技术研究项目(编号:ZD2016009, QN2016187);河北省现代农业技术体系中药材产业创新团队建设(编号:20170401458-2)

**作者简介:**景永帅,男,河北科技大学副教授,博士。

**通信作者:**吴兰芳(1985—),女,河北中医学院副教授,博士。

E-mail:wulanfang757@163.com

**收稿日期:**2017-07-28

北沙参为伞形科植物珊瑚菜(*Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miq.)的干燥根,始载于《神农本草经》,列为上品,《本草纲目》列为五参之一,是卫生部公布的药食两用资源,具有养阴清肺、解郁潜阳等功效<sup>[1-2]</sup>。其有效成分主要

为香豆素类、苷类和多糖类物质,其中多糖类含量约40%~55%,是主要有效成分之一,具有抗氧化和调节机体免疫等功能<sup>[2-3]</sup>。

多糖具有抗氧化、调节免疫、降血糖和抗肿瘤等作用,并且毒性小、安全性高、功能多样,在医药和食品等方面具有广泛的应用价值,已成为国内外相关领域研究的热点之一<sup>[4-5]</sup>。但是,作为多糖研究中的关键环节,提取和制备方法仍然存在一些问题,如提取周期长、提取率低、工艺繁杂以及多糖性质和活性不稳定等问题。目前,多糖的提取主要有热水、酸碱、超声波、微波、酶、超高压提取及几种方法联合使用等,但不同的提取方法对多糖的理化性质、结构特征及生物活性等会产生影响<sup>[6-7]</sup>。本研究以北沙参为原料,分别采用热水回流提取、超声波辅助提取、微波辅助提取、碱液提取、酸液提取、纤维素酶提取6种方法提取北沙参多糖,并对提取率、可溶性总糖含量、黏度、结构特征、固体形貌、抗氧化和降血糖活性等指标进行分析,对比提取方法对北沙参多糖的影响,旨在丰富北沙参多糖的提取方法,为北沙参多糖的开发利用提供一定的理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

北沙参:产地为安徽,康美药业股份有限公司,经河北中医学 院药学院生药教研室鉴定为伞形科植物珊瑚菜(*Glehnia littoralis* Fr. schmidt ex Miq.)的干燥根;

1,1-二苯基-2-苦味基胍(DPPH):色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

对硝基苯- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG):分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

$\alpha$ -葡萄糖苷酶:10万U/g,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

纤维素酶:10万U/g,宁夏夏盛实业集团有限公司;

无水乙醇、硫酸亚铁、水杨酸、过氧化氢、混和磷酸盐、碳酸钠等:分析纯。

### 1.2 仪器与设备

恒温水浴锅:HH-2型,江苏金坛宏华仪器厂;

磁力加热搅拌器:DF-2型,江苏金坛宏华仪器厂;

旋转蒸发器:EYELAN-1100型,东京理化株式会社;

超声波清洗器:KS-300DE型,昆山洁力美超声仪器有限公司;

常压微波辅助合成/萃取反应仪:MSA-I型,上海新仪微波化学科技有限公司;

多功能中药粉碎机:400Y型,永康市铂欧玉金制品有限公司;

紫外-可见分光光度计:UV-2550型,岛津仪器制造有限公司;

高速离心机:TGL-15B型,上海安亭科学仪器厂;

电子分析天平:AL204型,梅特勒-托利多国际贸易有限公司;

傅里叶变换红外光谱仪:S-100型,珀金埃尔默仪器有限公司;

场发射扫描电镜:S-4800-I型,株式会社日立制作所;  
旋转黏度计:NDJ-1型,上海昌吉地质仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 北沙参的预处理 取北沙参药材,粉碎,过40目筛,用3倍体积的95%乙醇回流提取2次,除去脂溶性成分,药渣干燥后,备用。

#### 1.3.2 北沙参多糖的提取

(1)热水回流提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入30倍体积的蒸馏水,于水浴锅中100℃回流提取2h,提取2次,合并提取液,离心(9000r/min,5min),收集上清液,过滤,减压浓缩至原体积的1/4,用4倍体积的无水乙醇醇沉,冰箱4℃静置过夜,抽滤,收集沉淀,干燥后即得热水回流提取北沙参多糖<sup>[5]</sup>,命名为GLP-W。

(2)超声波提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入30倍体积的蒸馏水,于数控超声波提取器中50℃,210W超声提取20min,然后浸提40min,再超声波提取20min,再浸提40min,为1次,反复提取2次,合并提取液,其余步骤同1.3.2(1),得超声波提取北沙参多糖<sup>[7]</sup>,命名为GLP-U。

(3)微波提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入30倍体积的蒸馏水,于常压微波提取器中,200W提取20min,然后浸提40min,再微波提取20min,再浸提40min,为1次,反复提取2次,合并提取液,其余步骤同1.3.2(1),得微波提取北沙参多糖<sup>[8]</sup>,命名为GLP-M。

(4)碱液提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入30倍体积的0.3mol/L的氢氧化钠溶液,25℃浸提2h,提取2次,提取液用盐酸溶液调节pH至中性,合并提取液,其余步骤同1.3.2(1),得碱液提取北沙参多糖<sup>[7]</sup>,命名为GLP-L。

(5)酸液提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入30倍体积的0.3mol/L的盐酸溶液,于磁力加热搅拌器中,温度50℃提取2h,提取2次,提取液用氢氧化钠溶液调节pH至中性,合并提取液,其余步骤同1.3.2(1),得酸液提取北沙参多糖<sup>[9]</sup>,命名为GLP-A。

(6)纤维素酶提取法:取经预处理后的北沙参35g,加入样品重量2%的纤维素酶,加入30倍体积蒸馏水,水浴50℃提取2h,提取2次。提取完成后,调节水浴锅温度至95℃,并维持10min使纤维素酶灭活。合并提取液,其余步骤同1.3.2(1),得纤维素酶提取北沙参多糖<sup>[10]</sup>,命名为GLP-E。

#### 1.3.3 北沙参多糖的理化性质和结构特征

(1)可溶性总糖含量的测定:采用苯酚-硫酸法,以葡萄糖作为对照品绘制标准曲线,根据标准曲线计算6种北沙参多糖的可溶性总糖含量<sup>[11]</sup>。

(2)杂质分析:分别配制0.1mg/mL的6种多糖溶液,用紫外-可见分光光度计在200~800nm范围内扫描<sup>[12]</sup>。

(3)特征官能团分析:分别称取1.0mg的6种多糖,与KBr粉末混匀后压片,傅里叶变换红外光谱仪在波数4000~500cm<sup>-1</sup>范围内扫描<sup>[13]</sup>。

(4)黏度测定:分别配制质量浓度为0.5mg/mL和1.0mg/mL的各多糖溶液,用旋转黏度计测试表观黏度,其中剪切速率60/s,温度25℃<sup>[8]</sup>。

(5) 微观形态分析:分别取 6 种多糖通过导电带吸附到样品台上,经过喷金处理后,场发射扫描电镜进行分析,加速电压 3.0 kV,分辨率 7.1 mm,放大 3 000 倍,拍摄并记录各多糖的固体形貌<sup>[14]</sup>。

### 1.3.4 北沙参多糖的生物活性

(1) 抗氧化活性:北沙参多糖清除 DPPH、OH 自由基的测定参照文献<sup>[15]</sup>和<sup>[16]</sup>的方法。

(2) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性:取 pH 6.81 缓冲溶液 3 mL 和 2 mmol/L PNPG 溶液 0.8 mL,37 °C 孵育 20 min,加入 40 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶溶液 1 mL,继续反应 20 min,加 1.0 mol/L 碳酸钠 1 mL 终止反应,紫外-可见分光光度计在 400 nm 处测吸光度值,为对照组  $A_1$ 。将体系中的 1 mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶换为 1 mL 蒸馏水,其他条件不变,测定吸光度值,为空白组  $A_2$ 。取 pH 6.81 缓冲溶液 2 mL、2 mmol/L PNPG 0.8 mL,分别加入 1 mL 浓度 8,4,2,1,0.5 mg/mL 多糖溶液,同对照组进行反应,并测吸光度值,为样品组  $A_3$ 。将体系中的 1 mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶换为 1 mL 蒸馏水,其他条件不变,测定吸光度值,为样品对照组  $A_4$ <sup>[17]</sup>。阿卡波糖作为阳性对照品。按式(1)计算抑制率:

$$S = \frac{(A_1 - A_2) - (A_3 - A_4)}{A_1 - A_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——抑制率,%;

$A_1$ ——对照组的吸光度;

$A_2$ ——空白组的吸光度;

$A_3$ ——样品组的吸光度;

$A_4$ ——样品对照组的吸光度。

## 2 结果与分析

### 2.1 对北沙参多糖提取率的影响

不同方法提取的北沙参多糖提取率依次为:GLP-A(39.62%)>GLP-E(38.33%)>GLP-L(24.80%)>GLP-W(23.93%)>GLP-M(18.92%)>GLP-U(12.68%),其中酸液和纤维素酶的北沙参多糖的提取率较高,与游丽君等<sup>[18]</sup>和陈云等<sup>[19]</sup>的研究结果相一致。可能是在酸性条件或酶的作用下,植物细胞壁溶胀破裂或降解,促进释放出多糖<sup>[6]</sup>。

### 2.2 对北沙参多糖理化性质与结构特征的影响

2.2.1 可溶性总糖含量 由图 1 可知,在试验浓度范围内,吸光度与浓度呈良好的线性关系,回归方程为: $y = 12.867x + 0.0867$ , $R^2 = 0.9928$ 。

经 6 种方法提取的多糖的可溶性总糖含量依次为:GLP-A(74.05%)>GLP-L(67.57%)>GLP-W(65.41%)>GLP-U(63.25%)>GLP-E(33.03%)>GLP-M(28.71%)。其中,酸液和碱液提取的北沙参多糖的可溶性总糖含量较高,可能是酸碱有助于破除细胞壁中聚合物分子间的物理和化学作用,促进多糖从细胞中溶出,提高多糖的溶解度<sup>[20]</sup>。微波提取的可溶性总糖含量最低,可能是微波提取使得提取温度较高,水分蒸发过多,多糖不易溶出,此外,微波提取也可能会导致多糖结构变化和活性降低<sup>[21]</sup>。

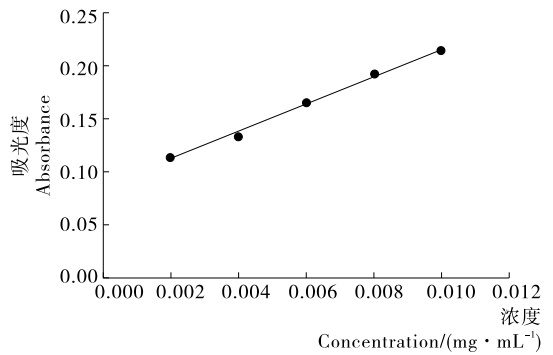


图 1 葡萄糖标准曲线

Figure 1 Glucose standard curve

2.2.2 杂质分析 由图 2 可知,6 种北沙参多糖均在 260~280 nm 内无明显吸收,说明各北沙参多糖中不含蛋白质和核酸<sup>[12]</sup>。

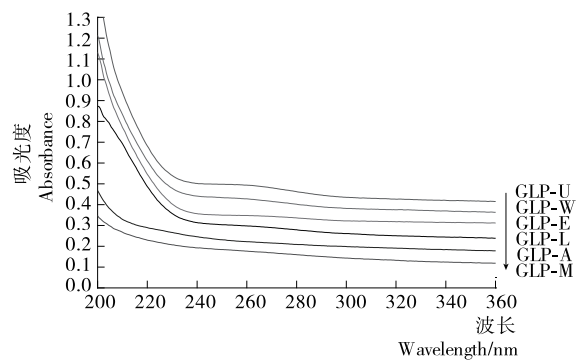


图 2 各北沙参多糖的紫外-可见光谱图

Figure 2 UV-Vis spectra of Radix Glehniae polysaccharides

2.2.3 特征官能团分析 由图 3 可知,3 440  $\text{cm}^{-1}$  附近强吸收峰为 -OH 的伸缩振动峰;2 920  $\text{cm}^{-1}$  左右的吸收峰是 C-H 伸缩振动峰,另外,在 1 630,1 420,1 160,1 080,1 040  $\text{cm}^{-1}$  波数附近的吸收均为多糖的特征吸收峰,840  $\text{cm}^{-1}$  处存在  $\alpha$ -型糖苷键的特征吸收峰<sup>[22]</sup>。以上 6 种样品均具有多糖的特征吸收峰,只是在某些吸收峰的数值上稍有区别。

2.2.4 黏度 由图 4 可知,6 种北沙参多糖的黏度均随多糖溶液浓度的增大而增大。在多糖浓度相同时,碱液提取的多糖黏度较大,热水回流提取的多糖黏度较小,其他几种提取

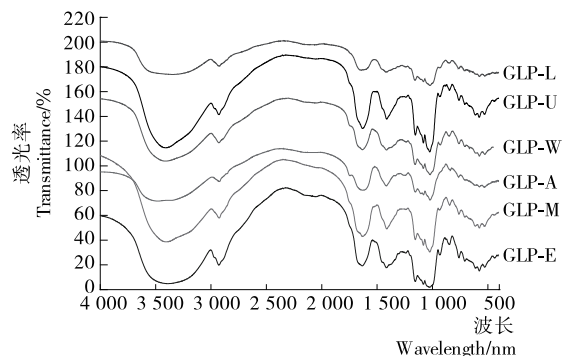


图 3 各北沙参多糖的红外光谱图

Figure 3 Infrared spectra of Radix Glehniae polysaccharides

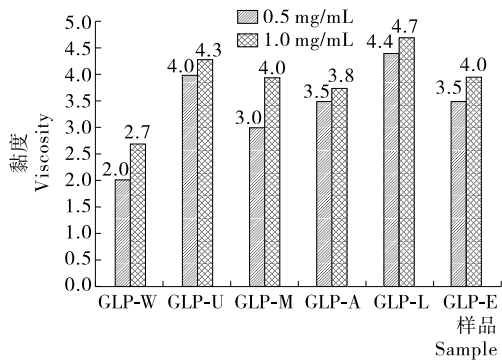


图4 各北沙参多糖的黏度

Figure 4 Viscosity of Radix Glehnia polysaccharides

方法得到的多糖黏度差别不大。多糖黏度主要取决于相对分子质量的大小、分子间的聚集和相互作用等,高度聚集的多糖对流体剪切力更加敏感<sup>[23]</sup>。热水回流提取可能由于提取温度过高,提取时间过长,使得多糖的空间结构和分子聚集特性被破坏,多糖溶液的黏度变小<sup>[6]</sup>。

2.2.5 微观形态分析 由图5可知,热水回流提取的多糖表面形貌光滑,孔洞较平整;超声波提取的多糖表面高低不平,呈片状碎屑状堆积,晶体间有微小的空隙;微波提取的多糖表面稍有凸起,呈片状或碎屑状堆积,晶体间有微小的空隙;酸液提取的多糖表面凹凸不平,呈不规则的几何外形,带有孔洞的褶皱结构;碱液提取的多糖表面紧密细腻,但孔洞较深;纤维素酶解提取的多糖表面有少许微小空隙,呈块状。

采用不同方法提取的北沙参多糖的提取率、糖含量以及黏度等理化性质不同,导致多糖的结构不同,表现在其外观形貌上也有所不同,超声和微波提取的较为相似,原因可能是超声和微波的高能量导致多糖的平面状、链状结构解聚成小分子片段,呈现小碎片状<sup>[24]</sup>。黄霞等<sup>[25]</sup>采用热水浸提、超声波辅助和碱液浸提3种方法提取杭白菊多糖,扫描电镜显示热水浸提多糖表面平整光滑,超声波辅助多糖和碱液浸提多糖表面粗糙,凹凸不平且伴有空洞,与本研究结果类似。

### 2.3 对北沙参多糖生物活性的影响

2.3.1 清除DPPH自由基 由图6可知,6种北沙参多糖均

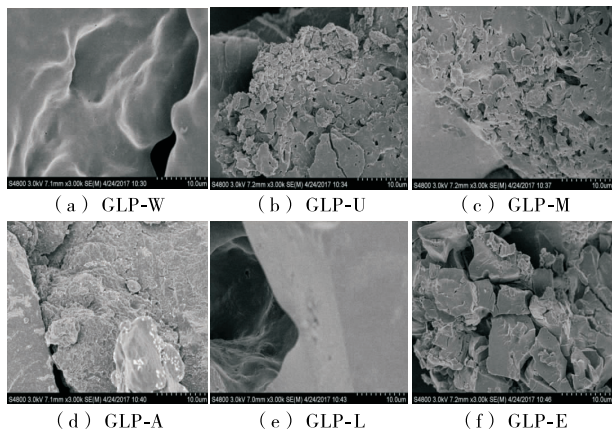


图5 各北沙参多糖的扫描电镜图

Figure 5 Scanning electron microscope of Radix Glehnia polysaccharides ( $\times 3\ 000$ )

对DPPH自由基有清除作用,且呈现浓度依赖性。半数清除率浓度 $IC_{50}$ 值越小,清除作用越好,通过对比 $IC_{50}$ 值,6种多糖对DPPH的清除能力依次为:GLP-U(3.091 mg/mL) $>$ GLP-A(3.213 mg/mL) $>$ GLP-M(5.130 mg/mL) $>$ GLP-E(6.317 mg/mL) $>$ GLP-W(8.689 mg/mL) $>$ GLP-L(12.675 mg/mL),由此可知,超声波提取的多糖对DPPH的清除作用最强,但6种多糖均低于阳性对照Vc(0.005 mg/mL)的清除作用。

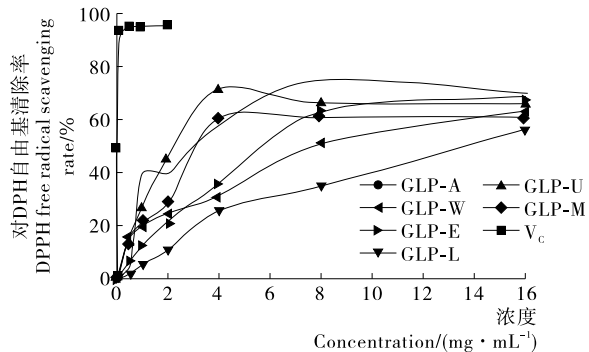


图6 北沙参多糖对DPPH自由基清除作用

Figure 6 Scavenging capacity of DPPH free radicals of Radix Glehnia polysaccharides

2.3.2 清除羟基自由基 由图7可知,6种北沙参多糖均对羟基自由基有清除作用,且呈现浓度依赖性。6种多糖对羟基自由基的清除作用依次为:GLP-U(1.999 mg/mL) $>$ GLP-A(2.358 mg/mL) $>$ GLP-L(2.518 mg/mL) $>$ GLP-M(2.608 mg/mL) $>$ GLP-W(3.121 mg/mL) $>$ GLP-E(4.186 mg/mL),超声波提取北沙参多糖对羟基自由基的清除率最高,但6种多糖均低于阳性对照Vc(0.072 mg/mL)的清除作用。

由2.3.1和2.3.2可知,超声波提取北沙参多糖GLP-U对DPPH和羟基自由基的清除率最高,抗氧化活性最好。范巧宁等<sup>[26]</sup>和唐健波等<sup>[27]</sup>的研究亦表明超声波提取的多糖的抗氧化活性均比其他方法提取的效果好。超声波提取多糖的抗氧化活性较高可能与其分子量和结构形态的改变有关,但具体的机理还有待进一步的研究。

2.3.3 对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性 由图8可知,6种北沙参多糖均对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶有一定的抑制作用,随着多糖浓度

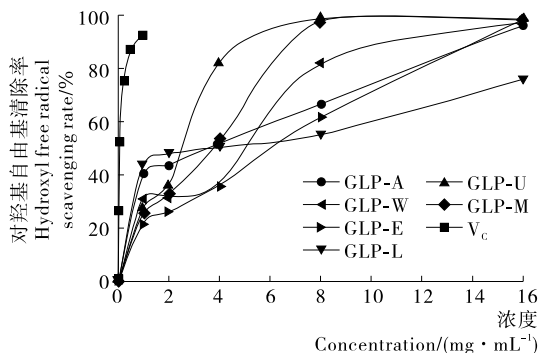


图7 北沙参多糖对羟基自由基清除作用

Figure 7 Scavenging capacity of hydroxyl radicals of Radix Glehnia polysaccharides



的升高,对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制能力也不断增强,当达到一定浓度时,抑制能力趋于稳定。浓度为 8 mg/mL 时,6 种多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制率依次为:GLP-L>GLP-A>GLP-E>GLP-M>GLP-U;GLP-L 的抑制能力最强, $IC_{50}$  值为 1.437 mg/mL,但低于阳性对照阿卡波糖(0.501 mg/mL)的。焦中高等<sup>[28]</sup>报道碱提红枣多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用明显强于水提红枣的, $IC_{50}$  值分别为 0.043,16.61 mg/mL,并认为碱液提取可能会引起多糖降解,结构发生变化,这可能是碱提取多糖活性较强的原因之一。

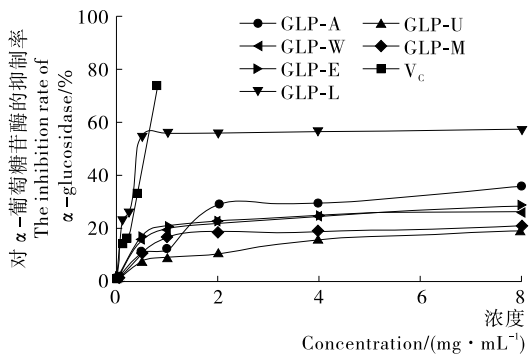


图 8 北沙参多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

Figure 8 Inhibition of  $\alpha$ -glucosidase of Radix Glehniae polysaccharides

### 3 结论

酸液提取北沙参多糖(GLP-A)的提取率和可溶性总糖含量最高;碱液提取多糖(GLP-L)的黏度最大;超声波提取多糖(GLP-U)的抗氧化活性最好;碱液提取多糖(GLP-L)的降血糖活性最强。不同的提取方法会影响多糖的提取率、理化性质和生物活性,从而导致相同的原料,制备出不同的多糖样品。6 种提取方法各有优缺点,在生产中,既要提高多糖的提取率,又要较大程度地保持多糖的抗氧化活性和降血糖活性,采用单一的提取方法很难达到,今后宜采用多种方法联用的方式来制备多糖样品。

#### 参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2015:100.

[2] 周红英,吕莎. 微波辅助提取北沙参多糖工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发,2016,37(12):62-65.

[3] 相美容,王朋展,蒋海强,等. 星点设计-响应面法优化热水浸提北沙参多糖的工艺研究[J]. 山东中医杂志,2017,36(1):66-71.

[4] 黄仁贵,刘佳. 提取方法对植物多糖生物活性的影响研究进展[J]. 食品与机械,2016,32(11):212-216.

[5] JING Yong-shuai, CUI Xin-lu, CHEN Zhi-yan, et al. Elucidation and biological activities of a new polysaccharide from cultured *Cordyceps militaris* [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102: 288-296.

[6] 薛丹,黄豆豆,黄光辉,等. 植物多糖提取分离纯化的研究进展[J]. 中药材,2014,37(1):157-161.

[7] 黄越,周春晖,黄惠华. 不同提取方法猴头菇粗多糖的表征及其抗氧化活性的比较[J]. 食品工业科技,2017,38(3):80-86.

[8] 赵谋明,邹林武,游丽君. 提取方法对香菇多糖性质的影响[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2013,41(10):26-33.

[9] 朱建飞,肖怡,唐春红,等. 酸提紫苏粕多糖工艺研究[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012,29(11):50-54.

[10] 李培. 纤维素酶酶解法提取怀山药多糖工艺研究[J]. 蚌埠学院学报,2015,4(6):13-16.

[11] 高行恩,王洪新. 不同提取方法对山药多糖含量及其体外抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业,2015,41(7):256-262.

[12] 李志平,张弛,周维清,等. 巢湖蓝藻酸性多糖的理化性质及其体外抗氧化作用[J]. 食品科学,2015,36(5):7-12.

[13] 景永帅,吴兰芳,王乾,等. 远志多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械,2016,32(5):152-156,193.

[14] 景永帅,张丹参,吴兰芳,等. 荔枝低分子量多糖的分离纯化及抗氧化吸湿保湿性能分析[J]. 农业工程学报,2016,32(9):277-283.

[15] JING Yong-shuai, ZHU Jian-hua, LIU Ting, et al. Structural characterization and biological activities of a novel polysaccharide from cultured *Cordyceps militaris* and its sulfated derivative [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(13): 3464-3471.

[16] 吴兰芳,黄舒婷,胡劭莹,等. 基于抗氧化活性的曲霉型豆豉制曲工艺优化[J]. 食品与机械,2014,30(2):156-161.

[17] QIAN Jian-ya, BAI Ye-yu, TANG Jing, et al. Antioxidation and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of barley polysaccharides modified with sulfation [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64: 104-111.

[18] 游丽君,张云林,温玲蓉,等. 不同提取方法对龙须菜多糖性质的影响[J]. 现代食品科技,2016,32(6):148-155,182.

[19] 陈云,李文治,罗其昌,等. 菊花多糖不同提取工艺研究[J]. 粮食与油脂,2014,27(7):28-32.

[20] 李翠丽,王炜,张英,等. 中药多糖提取、分离纯化方法的研究进展[J]. 中国药房,2016,27(19):2700-2703.

[21] 王如涛,吴锦斌,林建平,等. 植物多糖分离提取技术的研究进展[J]. 中国生物工程杂志,2013,33(7):118-123.

[22] HU Xu-qiao, WANG Jin-lin, JING Yong-shuai, et al. Structural elucidation and in vitro antioxidant activities of a new heteropolysaccharide from *Litchi chinensis* [J]. Drug Discoveries & Therapeutics, 2015, 9(2): 116-122.

[23] WANG Zhao-mei, CHEUNG Y C, LEUNG P H, et al. Ultrasonic treatment for improved solution properties of a high-molecular weight exopolysaccharide produced by a medicinal fungus [J]. Biore-source Technology, 2010, 101(14): 5517-5522.

[24] SHAH U, GANI A, ASHWAR B A, et al. Effect of infrared and microwave radiations on properties of Indian Horse Chestnut starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016(84): 166-173.

[25] 黄霞. 杭白菊多糖三种提取方法及体外生理活性的比较研究[D]. 雅安:四川农业大学,2016:58-59.

[26] 范巧宁,赵珮,高晓梅,等. 不同提取方法对槐米多糖抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技,2014,35(21):273-277.

[27] 唐健波,刘嘉,刘辉,等. 不同提取方法刺梨多糖抗氧化活性研究[J]. 农业科技与信息,2016(28):51-52.

[28] 焦中高等. 碱提红枣多糖与水提红枣多糖生物活性的比较研究[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(10):4181-4187.