

# 中药多糖相对分子质量测定方法的概述

秦建鲜<sup>1,2</sup>, 黄锁义<sup>2,3\*</sup>

(1. 广西中医药大学 研究生学院, 南宁 530001; 2. 右江民族医学院 药学院, 广西 百色 533000;  
3. 右江民族医学院 国家中医药科研二级中药化学实验室, 广西 百色 533000)

**[摘要]** **目的:**目前中药多糖药理活性的研究比较活跃,关于多糖相对分子质量测定方法的文献研究较少。综述中药多糖相对分子质量的测定方法,简要的归纳分析其优缺点并进行对比,筛选出较为简便实用的多糖相对分子质量测定方法,为中药多糖相对分子质量的测定以及中药多糖的药理活性进一步研究提供理论基础。**方法:**查阅国内近些年关于中药多糖相对分子质量测定的大量文献,对中药多糖相对分子质量的测定方法进行分析归纳。**结果:**测定多糖相对分子质量的方法主要有黏度法、超离心法、光散射法、渗透压法、凝胶色谱法、高效凝胶色谱法以及联用法等,其中近些年最常用的是高效凝胶渗透色谱法。**结论:**该方法操作简单、快速、灵敏、重复性好和样品用量少,可作为测定多糖相对分子质量及分子分布的首选方法。

**[关键词]** 中药; 多糖; 相对分子质量测定

**[中图分类号]** 284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2015)14-0226-04

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2015140226

## Determination Methods of Molecular Weight of Polysaccharides in Traditional Chinese Medicine

QIN Jian-xian<sup>1,2</sup>, HUANG Suo-yi<sup>2,3\*</sup> (1. Graduate School, Guangxi University of Traditional Chinese Medicine (TCM), Nanning 530001, China; 2. School of Pharmacy, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China; 3. State Secondary Scientific Research Laboratory for Chemistry of TCM, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China)

**[Abstract]** **Objective:** Currently, studies on the pharmacological effect of polysaccharides in traditional Chinese medicines are active, but with fewer studies polysaccharide molecular weight. In order to provide a theoretical basis for the determination of the molecular weight of TCM polysaccharides and its pharmacological activity, researchers summarized the determination methods of molecular weight of TCM polysaccharide, analyzed and compared their advantages and disadvantages, screened out more simple and practical method. **Method:** A lot of literatures of determination of the molecular weight of TCM polysaccharide were consulted to summarize and analyze the determination methods. **Result:** The methods for determining the molecular weight of polysaccharides included viscosity method, ultracentrifuge method, light scattering method, osmotic pressure method, gel chromatography, high-performance-gel-permeation-chromatography (HPGPC) and united usage. **Conclusion:** In recent years, the most common measurement method is HPGPC. This method is simple, rapid, sensitive and highly reproducible and requires a small sample size. HPGPC can be used as the preferred method for determining molecular weight and molecular distribution of polysaccharide.

**[Key words]** traditional Chinese medicine; polysaccharides; determination of molecular weight

多糖(polysaccharides, PS)又称多聚糖,由10个以上的单糖分子通过苷键聚合而成,其相对分子质量较大,一般由几百甚至几万个单糖分子组成,是一类大分子化合物<sup>[1]</sup>。多糖按来源可分为动物多糖、植物多糖、微生物多糖和藻类多糖。长期以来,多糖在研究中常被当作杂质而除去,将多

糖作为药物始于1943年。近些年来,随着分子生物学的发展,人们逐渐认识到多糖与蛋白质、核酸一样,是涉及生命活动本质的三类生物大分子之一。经过不断的深入研究,对多糖的作用又有了新的认识,20世纪60年代后多糖(特别是植物多糖)作为广谱免疫促进剂,而引起医药界极大兴

**[收稿日期]** 20140809(010)

**[基金项目]** 国家中医药管理局中医药重点学科建设项目(国中医药人教发[2012]32号);广西重点学科建设项目(桂教科研[2013]16号)

**[第一作者]** 秦建鲜,在读硕士,从事中药和保健食品的研究与开发工作, Tel:13878172564, E-mail: qinjianxian1990@163.com

**[通讯作者]** \*黄锁义,教授,硕士生导师,从事天然产物化学、药物化学、中药化学、中药学、食品卫生等研究, Tel:0776-2850590, E-mail: huangsuoyi@163.com

趣<sup>[2]</sup>。它能激活免疫细胞,提高机体的免疫功能,而对正常细胞没有毒副作用<sup>[3]</sup>。近几十年来,人们发现从中药中提取的多糖具有非常重要与特殊的生理活性。

中药中的多糖较多,具有药效作用的多糖大多是活性多糖,主要存在于菌类、藻类、根茎类药材中。至今已报道了 100 多种具有免疫调节、抗肿瘤、抗病毒、抗辐射、延缓衰老、抗感染等多种生理活性的中药多糖<sup>[4]</sup>,有的已在临床上被用于肿瘤、肝炎、心血管疾病的辅助治疗和康复<sup>[5]</sup>。

目前中药多糖药理作用研究比较活跃,而多糖类物质的药理活性除了与自身结构相关外,还与其相对分子质量( $M_r$ )及其分布密切相关,《中国药典》已将  $M_r$  及其分布列入多糖药物的质量标准<sup>[6-7]</sup>,相对分子质量大小成为多糖类药物质量控制和质量检测中的关键指标。袁振林<sup>[8]</sup>等研究表明,不同相对分子质量分布的枸杞多糖在临床上观察发现,只有相对分子质量在 20 000 左右的枸杞多糖对 S180 肿瘤和 Lewis 肺癌有较好的疗效。不同的多糖产生物学活性有其最佳相对分子质量范围。因此多糖研究中相对分子质量及其分布的研究是非常重要和必要的。

本文综述了近年国内的中药多糖相对分子质量测定的几种方法,并对其优缺点进行了比较,可为多糖相对分子质量测定提供一定的依据,并为中药多糖的更深入研究提供科学参考。

## 1 常用的相对分子质量测定方法

多糖是生物大分子,属高分子化合物,其相对分子质量的测定方法有绝对法、当量法和相对法。表示其相对分子质量大小的方式有重均相对分子质量( $M_w$ ),数均相对分子质量( $M_n$ ),黏均相对分子质量( $M_g$ )和 Z 均相对分子质量( $M_z$ )。对于生物大分子多糖来说,其分子链的长短可以是不同的,在衡量其相对分子质量时,往往是一个平均数。多糖主要测数均相对分子质量和重均相对分子质量。重均相对分子质量是按分子质量统计平均的相对分子质量,测定方法有光散射法、超速离心沉降速度法以及凝胶渗透色谱法等。数均相对分子质量就是依据总体分子的个数,求出相对分子质量来的,数均相对分子质量测定方法有端基分析法,气相渗透法,沸点升高冰点降低法,膜渗透压法,凝胶渗透色谱法等。目前常用体积排阻色谱法(包括凝胶渗透色谱法和高效凝胶渗透色谱法)测定多糖相对分子质量和相对分子质量分布。

**1.1 黏度法** 黏度法是基于高分子聚合物的相对分子质量与特性黏度之间存在一定关系,通过使用乌氏黏度计测试样品的黏度来获得平均相对分子质量的方法,它是目前常用的测定高聚物相对分子质量的方法之一。在一定温度下,高分子溶液的特性黏度与高聚物相对分子质量之间存在有以下关系,即 Mark-Houwink 关系式: $[\eta] = KM\eta^a$ ,在一定温度下,对某一高聚物-溶剂体系,公式中  $K$ ,  $a$  是常数,取决于聚合物的特性、溶剂和温度,常见高聚物-溶剂体系的  $K$ ,  $a$  值都可以从有关手册中查到。 $M\eta$  为黏均相对分子质量。黏度法的测定的相对分子质量是一种特殊的统计平均值,称为黏均相对分子质量,相对分子质量测定范围是  $2 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ 。

传统的黏度测试方法存在受测试人员主观因素影响较

大、操作时间较长的缺陷,项尚林等<sup>[9]</sup>对传统测定  $t$  或  $t_0$  的方法进行了如下改进:利用能够摄像的现代先进仪器设备代替传统的秒表测定高聚物溶液或溶剂在乌氏黏度计中的流动时间。实践证明,改进后的实验方法高聚物溶液流动时间测试结果更为准确,测试效率得到提高,而能够摄像的实验器材来源广泛。

该方法仪器简单,操作便利,特异黏度法常用已知结构相似的多糖决定  $K$  值,然后测出待测多糖的特异黏数,计算多糖的相对分子质量。但该方法不能直接求出绝对平均相对分子质量,而是间接地通过经验公式计算,所以仍存在一定的误差。

**1.2 超离心法** 该方法是通过高速旋转产生的离心力场对具有不同沉降系数、质量和密度的混合物进行快速分离。超离心法测定生物大分子的相对分子质量是经典、可靠、精确度较高的方法,分析超离心法能直接测得相对分子质量,加样品量小,测定时间短、又能低温操作,而且不需要标准样品作对照,应用范围广,可测定小至蔗糖,大至  $5 \times 10^7$  Da 的病毒颗粒<sup>[10]</sup>。但是仪器昂贵,操作复杂,花费时间长,不易普及推广。

骆传环<sup>[11]</sup>用超离心扫描法对有抗病毒感染和辐射防护作用的柴胡多糖进行重均相对分子质量的测定,根据 Svedberg 公式,计算得重均相对分子质量  $M_w$  为 8 990。

**1.3 光散射法** 光散射法是用多角度激光光散射仪(MALLS)测定相对分子质量,其原理<sup>[12]</sup>是激光照射到样品时,会在各个方向产生散射光,在任何方向的光散射强度与相对分子质量和溶液的浓度成正比;散射光角度的变化与分子的尺寸大小有关。多角度激光光散射是极少数能直接测得绝对相对分子质量的方法之一。但由于结果仅为单一平均值,因此较适用于成分单一,分布较窄的分子,对于分布较宽或有不同族群分布的样品,则较难看出全貌。

陈和生<sup>[13]</sup>等用光散射法测定黑木耳酸性多糖 F II 重均相对分子质量  $M_w$ ,得到  $M_w = 58.8 \times 10^4$ ,与已报道的相符。

**1.4 渗透压法** 渗透压法是测定聚合物数均相对分子质量  $M_n$  的一种重要方法,所测为数均相对分子质量,它适用于  $10^4 \sim 10^6$  相对分子质量范围。膜渗透压法测定相对分子质量的原理基于在不同毛细管高度  $h$  时,测定溶液中的溶剂在单位时间内透过膜渗流的体积  $dy/dt$ ,由  $h = f(dy/dt)$  外推到  $dy/dt$  为零时的纵坐标截距为  $h_0$ ,它与该溶液密度的乘积即为该溶液的渗透压。按照 D·B·Bruss 快速动态渗透压法进行测量,根据相对分子质量可能范围配置溶液浓度,一般应使动态平衡点处在  $1 \sim 8$  cm。渗透压法分为静态渗透压法和动态渗透压法,与静态渗透压法相比,动态渗透压法具有快速、准确以及易于自动化等优点。采用通常的渗透计测定一个试样往往需要几周时间,现多采用的快速自动平衡渗透计,已大大地缩短了测试时间。

陈和生等<sup>[13]</sup>按静态平衡法测定黑木耳酸性多糖  $\pi_0$  样品的渗透压。半透膜为自制再生纤维素膜(CN6-1,孔径 8.0 cm),测定温度为  $(30 \pm 0.05)^\circ\text{C}$ 。按下式计算

$$M_n : \pi/C = RT(1/M_n + 2A_2^{\circ}C)$$

式中  $C$  为溶液浓度( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ),  $R$  为气体常数,  $A_2^{\circ}$  为膜

渗透第二维系数。测得 5 个不同浓度的后,以  $\pi/C$  对  $C$  作图,外推  $C = 0$ ,由  $Mn = RT/(\pi/C)_{c \rightarrow 0}$ ,计算得  $Mn = 14.3 \times 10^4$ ,验测得均与报道接近。

**1.5 凝胶色谱法** 凝胶色谱又称分子筛过滤或排阻色谱,该方法是使用有一定大小孔隙的凝胶作色谱介质(如葡聚糖凝胶、琼脂糖凝胶、聚丙烯酰胺凝胶等),利用凝胶颗粒对相对分子质量和形状不同的物质进行分离的色谱技术。由于各种分子的大小、形状不同,扩散到凝胶孔隙内的速度不同,因而通过色谱柱的快慢不同而达到分离效果的一种色谱法。凝胶色谱法是根据在凝胶柱上多糖的不同相对分子质量与洗脱体积成一定关系的特性,先用选择 5~6 个范围合适的已知分子质量的标样,通过柱色谱将逐个洗脱,用硫酸苯酚法跟踪显色,得到各标样的洗脱体积  $V$ ,然后得到标准校准曲线。再按同样条件洗脱多糖样品得各组分的洗脱体积,再由样品的洗脱体积从标准曲线中求得相对分子质量<sup>[14]</sup>。

郝慧慧等<sup>[15]</sup>利用凝胶过滤色谱法进行北五味子多糖相对分子质量的测定,先测得各标准多糖的洗脱体积,以 Kay 对  $IgMw$  进行线性回归处理,相同条件下,测得 SCP-Ia 和 SCP-IIa 的洗脱体积,代入方程求得它们的表现分子质量 ( $Mw$ ) 分别为 4.05 kDa 和 7.96 kDa。陈洪亮等<sup>[16]</sup>用葡聚糖凝胶过滤法测定芦荟多糖相对分子质量,所用凝胶为葡聚糖凝胶 G-150,硫酸-苯酚法跟踪检测,结果相对分子质量为 45 400。孔庆胜等<sup>[17]</sup>采用凝胶过滤法测定南瓜多糖相对分子质量,葡聚糖凝胶 G-200 色谱柱,硫酸-苯酚法检测,测得南瓜多糖的平均相对分子质量为 16 000。黄永春等<sup>[18]</sup>使用 GPC 测定粗老绿茶水提糖蛋白的平均相对分子质量为 66 439。

本法的优点是设备简单、操作方便、重复性好,由于所用凝胶属于惰性载体,吸附力弱,操作条件温和,不需要有机溶剂,不影响分子生物学活性,对高分子物质有很好的分离效果。不足的是:流速比较慢,而且每次缓冲液及流速均需一致,否则会产生较大的误差。要求样品黏度不宜太高,样品需要过滤不能含有颗粒,否则可能会堵塞。

**1.6 高效凝胶渗透色谱法** 高效凝胶渗透色谱法 (HPGPC) 具有快速、高分辨和重复性好的优点。在国外,这一方法已得到越来越多的应用。2005 年版《中国药典》II 部中收录了用高效凝胶渗透色谱法测定多糖相对分子质量及相对分子质量分布方法<sup>[19]</sup>。高效凝胶渗透色谱法是根据在凝胶柱上不同相对分子质量的多糖与洗脱保留时间 ( $t_R$ ) 成一定关系的特性,先用 5~6 个已知相对分子质量的标样制成标准曲线,然后由样品的保留时间 ( $t_R$ ) 从曲线中求得相对分子质量。高效凝胶渗透色谱法 (HPGPC) 测定多糖相对分子质量多采用示差折光检测器,在液相色谱检测中多应用于对紫外-可见光没有吸收的化合物分析,只要被检测的化合物的折光指数与液相溶剂体系有差别即可被检测。高效凝胶渗透色谱 (HPGPC) 主要使用的是刚性凝胶柱,包括高交联度 (>40%) 苯乙烯-二乙烯基苯共聚物微球,常用的商品型号为 TSK-Gel, Progel-TSKH-Type 柱等;羟基化聚醚多孔微球,常用的商品型号为 TSK-PW 等;多孔球形硅胶,常用的商

品型号为 T5K-SW 柱等。

颜军等<sup>[20]</sup>采用 YMC-Pack-Diol200A 色谱柱,检测器 RID,测定柴胡多糖的相对分子质量为 67 836。陈海霞等<sup>[21]</sup>利用高效凝胶渗透色谱法测定富硒茶中提取出的茶叶多糖的重均相对分子质量 ( $Mw$ ) 为 117 000。汪东风<sup>[22]</sup>等采用高效凝胶渗透色谱法测得茶叶多糖相对分子质量为 11 000。

采用 HPGPC 能同时测定相对分子质量和相对分子质量分布,HPGPC 还具有操作简单、快速、灵敏、重复性好和样品用量少等特点。多糖相对分子质量分布 HPGPC 法测定,结果用  $Mn$  (数均相对分子质量)、 $Mr$  (重均相对分子质量)、 $Mp$  (峰值相对分子质量) 以及分散度  $D(Mn/Mr)$  来综合评价多糖的相对分子质量,更加全面而准确地反应了多糖作为一个多聚物所具有的性质。因此可作为多糖相对分子质量和分布的首选方法。

当然在 HPGPC 方法中还有其他一些引起误差的因素<sup>[23]</sup>。例如对照品与样品多糖结构之间的差异、凝胶柱对多糖等大分子可能产生的吸附作用、大分子在柱上的扩散、多糖的浓度、黏度、测试的温度等。

**1.7 联用技术** 在实际应用中凝胶渗透色谱法 (GPC) 可和小角度激光散射仪 (LALLS) 联机,高效凝胶渗透色谱法 (HPGPC) 与多角激光光散射仪联机,不需对照品作对照即可测定,是目前测定多糖相对分子质量及分布较理想的方法之一<sup>[24]</sup>。

王聪等<sup>[25]</sup>采用高效液相色谱-蒸发光联用 (HPGPC-ELSD) 法测定黄精多糖相对分子质量,Shodex OHPak SB-804 HQ 色谱柱 (8.0 mm  $\times$  300 mm),流动相 0.1 g  $\cdot$  L<sup>-1</sup> 乙酸铵,测定结果黄精多糖 PCPs-1, PCPs-2, PCPs-3 数均相对分子质量分别为 5 640, 4 760, 4 380 道尔顿,重均相对分子质量分别为 13 000, 13 900, 12 200 道尔顿,分布系数分别为 2.31, 2.93, 2.80。结果用数均相对分子质量、重均相对分子质量、峰位相对分子质量以及分布系数等来综合反应样品的相对分子质量,更加全面而准确地反应了多糖作为一个多聚物所具有的性质。

周鹏等<sup>[26]</sup>采用高效液相色谱-电喷雾质谱法 (HPLC-ESI-MS) 测定了从江西分宜粗老绿茶中分离纯化出的茶叶多糖的相对分子质量为 51 500。

任玲玲等<sup>[27]</sup>凝胶色谱-激光光散射联用方法测得壳聚糖及其产品术后防粘连隔离膜的重均分子质量分别为  $8.897 \times 10^4$ ,  $1.168 \times 10^6$  g  $\cdot$  mol<sup>-1</sup>。

GPC-十八角激光光散射联用技术兼具了 GPC 法和光散射法的特点<sup>[12]</sup>,能快速、准确地测定出高分子的重均、数均和 Z 均相对分子质量。当光通过高分子溶液时,由于密度起伏和溶液浓度不均一而引起光散射现象,DAWNEOS 型激光光散射仪可从 18 个角度对散射光进行检测,收集散射光的强度关系任何方向的散射光强度与相对分子质量和溶液浓度成正比,散射角的变化与分子的大小尺寸大小有关。

当激光光散射仪与 GPC 仪联用时<sup>[28]</sup>,GPC 仪可将溶液中的高分子按分子流体力学体积顺序依次洗脱出来,因此不仅可测定单一聚合物,还可测定高分子混合物,并且不需要标准物质校正,直接测出相对分子质量及其分布。

## 2 小结

我国中药资源非常丰富,含有活性多糖成分的中药材也比较多。现代研究已表明中药多糖具有免疫调节、抗肿瘤、抗病毒、抗辐射、延缓衰老、抗感染等多种药理活性,有的已在临床上被用于肿瘤、肝炎、心血管疾病的辅助治疗和康复。

中药多糖的药理活性与其相对分子质量存在密切关系,相对分子质量大小是多糖类物质质量控制和质量检测中的关键指标。自多糖研究以来,其药理作用研究比较活跃,关于多糖相对分子质量测定方法的文献研究较少。经查阅国内大量文献总结出测定多糖相对分子质量的方法主要有:黏度法、超离心法、光散射法、渗透压法、凝胶色谱法、高效凝胶渗透色谱法以及联用法等,并客观比较各自优缺点,为了实验方便,减少误差,提高相对分子质量测定的准确性,高效凝胶渗透色谱法可作为测定中药多糖相对分子质量及分子分布的首选方法。该方法不仅操作简单、快速、灵敏、重复性好和样品用量少,而且能同时测定多糖的相对分子质量和相对分子质量分布,结果用  $M_n$  (数均相对分子质量),  $M_r$  (重均相对分子质量),  $M_p$  (峰值相对分子质量) 以及分散度  $D$  ( $M_n/M_r$ ) 来综合评价多糖的相对分子质量,更加全面而准确地反应了多糖作为一个多聚物所具有的性质。当然,在实验条件允许的情况下,采用高效凝胶渗透色谱与激发光联用技术进行多糖相对分子质量的测定也是相当可行的方法。

综上所述,中药多糖具有广泛的药理作用和临床应用。现代化学和药理研究已部分阐明了中药多糖相对分子质量与药理活性之间的联系,因此对其相对分子质量及相对分子质量分布进行深入研究,进一步阐明其相对分子质量大小及其分布与药理作用之间的联系,对于指导临床用药和新药开发是非常必要的。

### 【参考文献】

[1] 王彦军. 中药多糖研究进展[J]. 医学理论与实践, 2009, 22(3): 279-280.

[2] 熊晨, 王素敏, 张然, 等. 植物多糖的一般研究[J]. 中国现代药物应用, 2008, 2(18): 115-116.

[3] 谭周进, 谢达平. 多糖的研究进展[J]. 食品科技, 2002(3): 10-12.

[4] 冯瑞香. 植物多糖的药理研究现状[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2000, 12(3): 194-195.

[5] 王晨明. 植物多糖的药理作用[J]. 中国药业, 2002, 11(11): 73-74.

[6] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 二部[S]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 附录 V H.

[7] 魏远安, 方积年. 高效凝胶渗透色谱法测定多糖纯度及分子量[J]. 药学学报, 1989, 24(7): 532-536.

[8] 袁振林. 枸杞多糖的提取及含量和分子量分布的测定[J]. 广东化工, 2003, 30(3): 43-45.

[9] 项尚林, 余人同, 王庭慰, 等. 黏度法测定高聚物分子量实验的改进[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(5): 37-41.

[10] 陶遵威, 郑夺, 邸明磊, 等. 植物多糖的研究进展[J]. 药物评价研究, 2010, 33(2): 148-149.

[11] 骆传环. 柴胡多糖的分子量测定[J]. 中国医药工业杂志, 1997, 28(6): 267-268.

[12] 吴扬兰, 王远亮, 杨亚联, 等. GPC-十八角激光光散射联用法测定聚乳酸的分子量及分子量分布[J]. 现代科学仪器, 2007(2): 80-81.

[13] 陈和生, 李汉东, 王晓林. 黑木耳酸性多糖 F II 的分离、纯化及相对分子质量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2002, 22(6): 348-349.

[14] 徐仲溪, 王坤波. 茶多糖化学及生物活性的研究[J]. 茶叶科学, 2004, 24(2): 75-81.

[15] 郝慧慧, 陈永, 陈国华, 等. 北五味子多糖单一组分制备与分子量测定[J]. 潍坊医学院学报, 2013, 35(3): 182-183.

[16] 陈洪亮, 李德发, 常碧影, 等. 芦荟多糖的提取及结构分析[J]. 兽药与饲料添加剂, 2002, 7(2): 13.

[17] 孔庆胜, 蒋滢. 南瓜多糖的提取纯化及其分析[J]. 济宁医学院学报, 1999, 22(4): 37-39.

[18] 黄永春, 马月飞, 谢清若, 等. 超声波辅助提取茶多糖及其分子量变化的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 170-173.

[19] 封聚强, 赵骏. 中药多糖的分子量及结构研究进展[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(3): 624-625.

[20] 颜军, 刘崑, 邬晓勇, 等. 柴胡多糖的分子量测定及单糖组成分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4550-4552.

[21] 陈海霞, 谢笔钧. 富硒茶叶中茶多糖的某些化学性质及对羟自由基的清除作用[J]. 卫生研究, 2001, 30(1): 58-59.

[22] 汪东风, 杨敏. 粗老茶治疗糖尿病的药理成分分析[J]. 中草药, 1995, 26(5): 255-257.

[23] 魏远安, 方积年. 高效凝胶渗透色谱法测定多糖纯度及分子量[J]. 药学学报, 1989, 24(7): 532-536.

[24] 姜素琴, 姜雄平. 高效凝胶色谱法测定云芝多糖的相对分子质量及其分布[J]. 江苏药学与临床研究, 2002, 10(2): 17-19.

[25] 王聪. 多花黄精多糖提取分离、分子量测定及其粗多糖的初步药效研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2012: 41-43.

[26] 周鹏, 谢明勇, 王远兴. 高效液相色谱-电喷雾质谱法用于茶多糖蛋白的纯度和相对分子质量的测定[J]. 色谱, 2004, 22(1): 27-29.

[27] 任玲玲, 祁欣, 莫洪波. 凝胶色谱-光散射联用法对壳聚糖及其产品的分子量及分布的测量[J]. 分析测试学报, 2010, 29(1): 35-38.

[28] 鲁德平, 管蓉. 聚合物乳液研究中的静态和动态激光光散射技术[J]. 胶体与聚合物, 2000, 18(2): 41-43.

【责任编辑 顾雪竹】