

doi:10.11751/ISSN.1002-1280.2019.05.04

白术多糖的分子量及其单糖组成分析

王少杰, 巴娟, 张勇军, 邓桦, 蒲文珺, 杨鸿*

(佛山科学技术学院生命科学与工程学院, 广东 佛山 528231)

[收稿日期] 2018-11-26 [文献标识码] A [文章编号] 1002-1280 (2019) 05-0026-07 [中图分类号] S853.7

[摘要] 为了建立一种对白术多糖的分子量及其单糖组成测定的方法。采用水提醇沉法提取多糖, 提取条件为提取温度 90 °C、料液比 1 : 16、提取时间 1.5 h, 重复提取 3 次; AB-8 大孔树脂纯化。采用高效凝胶色谱法测定白术多糖的分子量, 流动相: 超纯水, 流速: 0.7 mL/min, 柱温: 35 °C, 示差折光检测器检测; 柱前衍生化 HPLC 法检测白术多糖的单糖组成, 多糖样品用三氟乙酸水解, 1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮柱前衍生化, 经 C18 色谱柱分离, 以磷酸盐缓冲溶液-乙腈 (85 : 15) 洗脱, 柱温 40 °C, 流速 1.0 mL/min, 进样量 20 μ L 检测波长 254 nm。结果显示白术多糖中 95% 为 $M_w \approx 3500$ 的小分子多糖; 经柱前衍生化 HPLC 法检测, 白术多糖由 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖组成, 其物质的量比为 1 : 239 : 18.6 : 19.3。结果表明试验建立的白术多糖单糖组成分析方法稳定、可靠, 可作为白术多糖质量控制方法的参考。

[关键词] 白术多糖; 分子量; 特征性单糖; 质量控制

Analysis of Molecular Weight and Monosaccharide Composition of *Atractylodes Macrocephala* Polysaccharides

WANG Shao-jie, BA Juan, ZHANG Yong-jun, DENG Hua, PU Wen-jun, YANG Hong*

(College of life science and engineering, Foshan University, Guangdong 528231, China)

Corresponding author: YANG Hong, E-mail: yhong007@163.com

Abstract: A method for the determination of molecular weight and monosaccharide composition of polysaccharide from *Atractylodes atractylodes* was established. Polysaccharides were extracted by water extraction and alcohol precipitation, the extraction conditions were as follows: extraction temperature 90 °C, material-liquid ratio 1 : 16, extraction time 1.5 h, repeated extraction 3 times; Purification of Polysaccharides by AB-8 Macroporous Resin. Determination of molecular weight of *Atractylodes macrocephala* polysaccharides by high performance gel chromatography, mobile phase: ultrapure water, flow velocity: 0.7 mL/min, column temperature: 35 °C, detection using differential refractive index detector. Using pre-column derivatization HPLC to measure the

基金项目: 广东省教育厅预防兽医学重点实验室项目 (2014KTSPT037); 广东省省级科技计划项目 (项目编号 2016A020210140)

作者简介: 王少杰, 硕士, 从事新兽药的研究与开发。

通讯作者: 杨鸿。E-mail: yhong007@163.com

monosaccharide composition of polysaccharides. The polysaccharide samples were hydrolyzed in trifluoroacetic acid solution, then precolumn derivatized with 1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone, The chromatographic separation was carried out on Wondasil C18 (250 mm×4.6 mm, 5 μm) using phosphoric acid aqueous solution-acetonitrile (pH = 6.9) and acetonitrile (85 : 15) as mobile phases, at a flow rate of 1 mL/min, 40 °C, with 254 nm detected wavelength. The results showed: Through HPLC - GPC, 95% of Polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* was $M_w \approx 3500$ small molecule polysaccharide. By pre-column derivatization HPLC, *Atractylodes macrocephala* polysaccharides are composed of 4 kinds of monosaccharides, D-mannose, D-glucose, D-galactose and Arabia sugar. The monosaccharide composition analysis method of *Atractylodes macrocephala* polysaccharides established in this experiment is stable and reliable, and can be used as a reference for the quality control of *Atractylodes macrocephala* polysaccharides.

Key words: *Atractylodes macrocephala* polysaccharide; molecular weight; characteristic monosaccharide; quality control

中药白术为白术的根茎,切厚片生用或土炒、麸炒用,炒至黑褐色称为焦白术。其性苦、甘、温。归脾、胃经。具有扶植脾胃、散湿除痹、消食除痞、安胎之功效。白术多糖作为中药白术的主要活性成分具有免疫调节作用,能增加脾脏和胸腺的重量,增强小鼠脾淋巴细胞免疫功能,提高 T 淋巴细胞的转化率和增殖反应,可调节巨噬细胞、白细胞功能,增强机体免疫应答^[1-3]。白术多糖具有抗氧化、抗衰老、降血糖、抗肿瘤、促进胃肠粘膜损伤修复等作用^[4-11]。白术多糖还可应用于抗菌消炎、抑制痢疾杆菌与伤寒杆菌、提高抗氧化功能、抑制红细胞溶血、促发育、提高机体免疫力、抗肿瘤、抑制血液凝固、扩张血管、保护放射线侵害等诸多方面^[12-14]。

中药多糖的质量控制标准不完善(仅检测总糖含量),会对市场秩序产生一定的影响。本试验通过对白术多糖的提取、纯化,采用高效凝胶色谱(HPLC-GPC)法测定白术多糖的分子量大小及分布情况,采用薄层色谱(TLC)法及柱前衍生化 HPLC 法进行单糖组成种类和物质的量比的测定,为实现有效地对白术多糖进行质量控制提供了一种可靠的定性定量检测方法,可作为白术多糖质量标准制定的参考与借鉴。

1 材料

1.1 仪器 真空冷冻干燥机:美国 LABCONCO 公司;RE-201D 旋转蒸发仪:郑州予华仪器制造有限

公司;雷蒙实验室专用超纯水机:重庆利迪实验室仪器设备有限公司;HN1012 超声波清洗机:广州市华南超声设备有限公司;不锈钢电热去离子水器:上海传胜实验设备有限公司;XZ-1 型真空泵:黄岩求精真空泵厂;BSA224S-CW 电子分析天平:赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;LC-20A 高效液相色谱仪:岛津企业管理(中国)有限公司;岛津 DDU-20A 系列高效液相色谱仪:岛津企业管理(中国)有限公司;G1362A 示差折光检测器(RID):安捷伦科技(中国)有限公司;雷磁 PHS-3C PH 计:上海仪电科学仪器股份有限公司;H1650-W 台式高速离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.2 试剂 中药白术购自北京同仁堂药店佛山分店;AB-8 大孔树脂、无水乙醇均为分析纯;D-甘露糖(批号:140651-201403)、鼠李糖(批号:111683-201502)、D-核糖(批号:140668-201302)、D-半乳糖醛酸(批号:111646-200301)、阿拉伯糖(批号:1506-200001)、D-木糖(批号:111508-200404)、果糖(100231-201305)对照品购自中国食品药品检定研究院;D-葡萄糖(批号:201705)、D-半乳糖(批号:201705)对照品购自上海瑞楚生物科技有限公司;1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮(PMP)、三氟乙酸(TFA)、盐酸、氢氧化钠、丙酮、正丁醇、异丙醇、乙酸乙酯、苯胺、二苯胺、磷酸均为分析纯;乙腈、甲醇均为色谱纯。

2 方法

2.1 白术多糖的制备及含量测定^[15] 将中药白术采用 L9(34) 正交试验设计优化水提醇沉淀的提取工艺,提取条件为提取温度 90 ℃、料液比 1:16,提取时间 1.5 h,重复提取 3 次。将提取的粗多糖经 AB-8 大孔树脂纯化浓缩,真空冷冻干燥即得精制多糖,采用苯酚-硫酸法测定多糖含量。

2.2 白术多糖分子量与化学均一性检测

2.2.1 色谱条件 岛津 DGU-20A 系列高效液相色谱仪;G1362A 示差折光检测器(RID);高效液相色谱柱:SB-806M HQ(8.0 mm×300 mm);TSK PWXL 保护柱(6.0 mm×40 mm);流动相:超纯水;流速:0.7 mL/min;柱温:35 ℃;进样量:5 μL。

2.2.2 进样溶液配制 分别称取 9 个 T-dextran 系列葡聚糖标准品(相对分子量 7000-700000 Da)各 2 mg,1 mL 去离子水溶解,离心(6000 rpm,5 min)后取上清液,采用相同方法分别配制白术多糖溶液。

HPLC-GPC 法测定多糖的数均分子量(Mn)、重均分子量(Mw)、Z 均分子量(Mz)。由岛津数据分析软件分析处理得出。根据多糖样品的色谱图判断多糖的化学均一性。

2.3 柱前衍生化 HPLC 法检测白术多糖的单糖组成

2.3.1 水解多糖样品 称得两份 50 mg 纯化后的多糖样品,分别放入不同的 10 mL 具塞试管与 2 mol/L 的三氟乙酸溶液 2 mL 混合均匀,置于 97 ℃ 水浴锅反应 8 h,然后用 4 mol/L NaOH 调节 PH 至中性,离心并过滤。

2.3.2 多糖与单糖样品衍生化 分别将 5 mg 的 D-甘露糖、D-半乳糖、D-核糖、鼠李糖、D-葡萄糖、阿拉伯糖 D-半乳糖醛酸定容于 25 mL 容量瓶中即可得到单糖标准品的混合样品。取 100 μL 混合单糖标准品、50 μL 的 0.3 mol/L NaOH 溶液、50 μL 的 0.5 mol/L PMP 甲醇溶液充分混合,水浴加热 30 min。冷却后加入 50 μL 的 0.3 mol/L HCl 中和溶液,分别以 1 mL 氯仿进行 3 次萃取,经 0.22 μm 微孔滤膜滤过,备用^[16]。用同样的方法进行衍生化处理白术多糖水解样品 100 μL。

2.3.3 色谱条件 Wondasil C18(250 mm×4.6 mm,

5 μm) 色谱柱;流动相为磷酸盐缓冲溶液(pH6.9)-乙腈(85:15);40 ℃柱温;1.0 mL/min 流速;20 μL 进样量;254 nm 检测波长。以混合单糖标准品和白术多糖水解样品的衍生化产物进行测定,得到分离良好的色谱峰。

2.3.4 方法学试验 精密度考察:取衍生化后的标准品连续进样 6 次,以峰面积的 RSD 值考察试验的仪器精密度;重复性考察:取衍生化后的白术多糖样品连续进样 6 次;稳定性考察:取白术多糖的衍生化产物分别于 0、2、4、8、16、24 h 进样。回收率考察:于样品中分别加入样品含量一半的 100%、120% 和 150% 的单糖标准品混合溶液进行测定。

2.3.5 线性试验 分别进样 1、2、4、6、8、10 μL 单糖标准品混合溶液,对各单糖用峰面积进行质量浓度回归。

2.3.6 各单糖的物质的量比^[17] 计算方法:按式①、②计算两种单糖之间的校正因子 $f_{1/2}$ 和这两种单糖的比例 $R_{1/2}$ 。

$$\textcircled{1} f_{1/2} = (A_2/m_2) / (A_1/m_1)$$

A_1 、 A_2 分别为混合标准品溶液中单糖 1、2 的峰面积, m_1 、 m_2 分别为标准品溶液中单糖 1、2 的质量浓度。

$$\textcircled{2} R_{1/2} = f_{1/2} \times (A'_1/A'_2)$$

A'_1 、 A'_2 分别为样品中单糖 1、2 的峰面积。

3 结果与分析

3.1 白术多糖制备和含量测定 最佳提取条件为:浸提时间 1.5 h、浸提温度 90 ℃、提取次数 3 次,之后抽滤、浓缩提取液,无水乙醇沉淀浓缩液 12 h,取沉淀物经真空干燥,得白术粗多糖。经 AB-8 大孔树脂纯化的白术多糖含量可达 91% 以上。

3.2 白术多糖分子量及化学均一性检测结果 经 HPLC-GPC 法检测,白术多糖的化学均一性良好,基本呈现单一峰形,见图 1。经测定,白术多糖中 $M_w \approx 3500$ 小分子多糖占其 97%, $M_w \approx 50000000$ 的大分子占其 3%;从多糖样品的聚合物分散性指数(PDI)可以看出白术多糖的 PDI 较小,分子量分布较均匀,结果见表 1。

表 1 白术多糖分子量分布结果

Tab 1 Results of molecular weight distribution of atractylodes macrocephala polysaccharide

样品名称	重均分子量 (M _w)	数均分子量 (M _n)	Z 均分子量 (M _z)	分子量所占比例	PDI (M _w /M _n)
白术多糖	51199434	22918205	109639814	3%	2.23
	3 476	929	9 491	97%	3.74

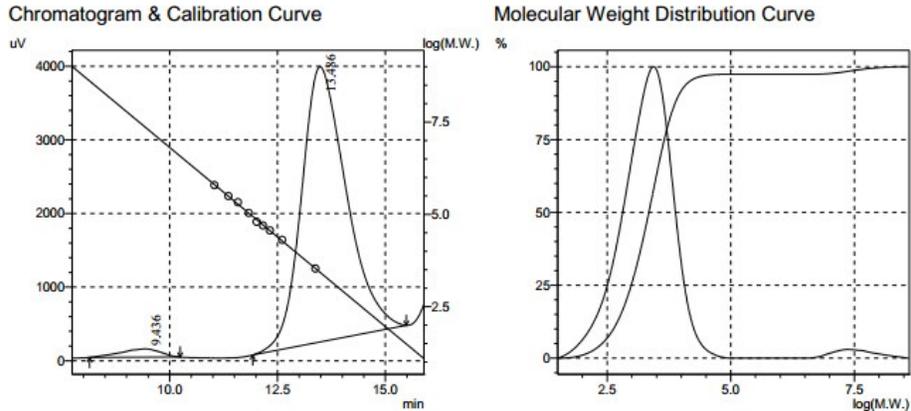


图 1 白术多糖 HPLC-GPC 色谱及分子量分布图

Fig 1 HPLC-GPC chromatography and molecular weight distribution of atractylodes macrocephala polysaccharides

3.3 柱前衍生化 HPLC 法检测白术多糖的单糖组成结果

3.3.1 方法学试验 精密度考察: D-甘露糖、D-核糖、鼠李糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖 RSD 值分别为 1.13%、0.90%、0.49%、0.70%、0.57%、1.53%、1.52%; D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖的 RSD 值分别为 0.38%、0.55%、1.34%、1.61%; 稳定性考察: D-甘露糖、D-

葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖 RSD 值分别为 0.46%、0.43%、0.69%、1.33%。表明样品溶液在 24 h 内稳定。回收率试验: 计算得 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖的平均回收率分别为 98.8%、98.5%、98.6%、97.2%; RSD 值为 1.40%、0.30%、0.68%、1.18%。

3.3.2 线性试验 对各单糖用峰面积进行质量浓度回归, 线性结果见表 2。

表 2 单糖标准曲线方程

Tab 2 Standard curve equation of monosaccharide

单糖	线性回归方程	r	线性范围/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)
D-甘露糖	$Y = 25712X - 172477$	0.9999	42.67 ~ 426.67
D-核糖	$Y = 25143X - 287602$	0.9999	59.73 ~ 597.33
鼠李糖	$Y = 17515X - 236222$	0.9998	46.83 ~ 468.29
D-半乳糖醛酸	$Y = 26440X - 272086$	0.9998	39.59 ~ 395.88
D-葡萄糖	$Y = 14266X - 324513$	0.9996	55.11 ~ 551.34
D-半乳糖	$Y = 28826X - 687770$	0.9990	57.78 ~ 577.80
阿拉伯糖	$Y = 32692X - 776789$	0.9993	61.87 ~ 618.67

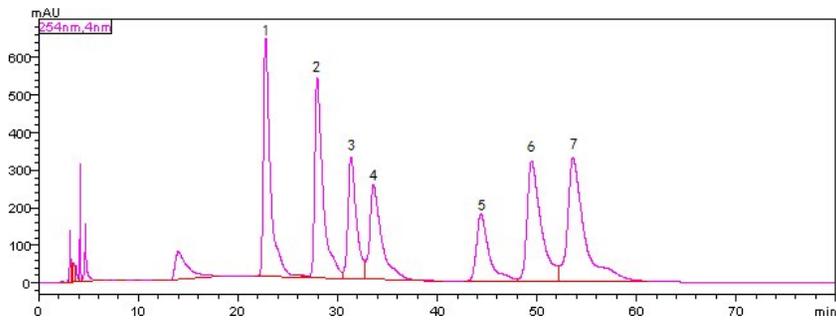
3.3.3 单糖对照品与白术多糖的 HPLC 分析色谱图 将单糖标准品混合样品与白术多糖的衍生化产物进行 HPLC 分析,结果显示:D-甘露糖、D-核糖、鼠李糖、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖的衍生化物分别在 22.76、27.95、31.34、33.59、44.38、49.47、53.62 min 左右出现吸收峰,见

图 2;对比白术多糖图谱,在部分相同的位置有吸收峰与其对应。可以确定白术多糖由 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖 4 种单糖组成,见图 3。
3.3.4 白术多糖的物质的量比 通过计算得出白术多糖中 D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、阿拉伯糖的物质的量比为 1 : 239 : 18.6 : 19.3,结果见表 3。

表 3 白术多糖中各单糖的物质的量比计算结果

Tab 3 The ratio of the amount of monosaccharide substance in atractylodes macrocephalaon polysaccharides

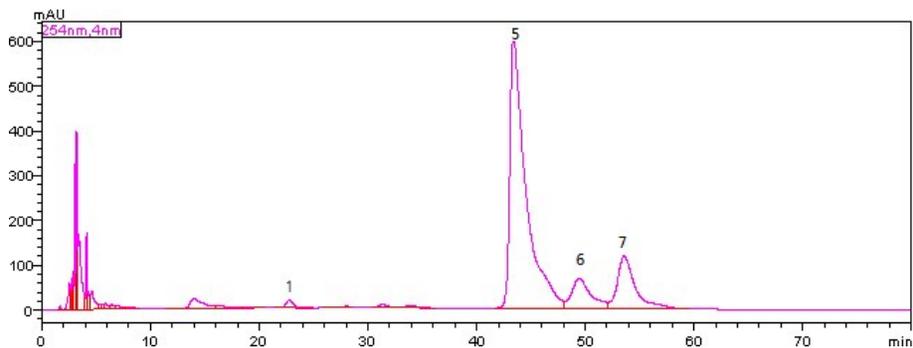
单糖	A	A'	m/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	物质的量比
D-甘露糖	16 427 654	912 375	42.67	1
D-葡萄糖	6 169 713	63 348 826	55.11	239
D-半乳糖	10 979 943	8 384 490	57.78	18.6
阿拉伯糖	18 496 160	13 676 045	61.87	19.3



1 D-甘露糖,2 D-核糖,3 鼠李糖,4 D-半乳糖醛酸,5 D-葡萄糖,6 D-半乳糖,7 阿拉伯糖
1 D-mannose, 2 D-ribose, 3 Rhamnose, 4 D-galactose uronic acid, 5 D-glucose, 6 D-galactose, 7 Arabia sugar

图 2 单糖对照品 HPLC 分析色谱图

Fig 2 HPLC chromatogram of monosaccharide control article



1 D-甘露糖,5 D-葡萄糖,6 D-半乳糖,7 阿拉伯糖
1 D-mannose,5 D-glucose, 6 D-galactose, 7 Arabia sugar

图 3 白术多糖 HPLC 分析色谱图

Fig 3 HPLC chromatogram of atractylodes macrocephalaon polysaccharides

4 讨论与结论

4.1 方法条件优化

4.1.1 提取工艺优化 中药白术采用 L9(34) 正交试验设计优化水提醇沉淀的提取工艺,得出的最佳提取条件为提取温度 90 ℃、料液比 1:16、提取时间 1.5 h,重复提取 3 次;通过与三氟三氯乙烷法、Sevag 法、酶法、三氯乙酸法、透析膜透析法等方法对比后,最终选择纯化效果最好的“AB-8 大孔树脂法”进行纯化。

4.1.2 分子量测定方法的选择 通过与黏度法、光散射法和超速离心沉降速度法等方法对比以后,选择用 GPC 法测定白术多糖的分子量是因为 GPC 法相比之下测定更加精确,操作便捷,可以根据相关软件快速准确地分析实验结果。

4.1.3 白术多糖单糖组成方法的选择 在用高效液相色谱法分析多糖组成及其含量时,由于多糖和单糖都不具有紫外吸收,无法直接对其进行测定,所以一般采用凝胶色谱柱与示差折光检测器或蒸发光散射检测器等仪器,这些方法不仅灵敏度低、基线噪音大、柱温对结果影响较大、测定过程中易发生单糖转化并且这些仪器与色谱柱价格高昂。因此本试验先对 YPF-P 进行水解和衍生化处理,再采用高效液相色谱法(HPLC)分析其单糖组成及其物质比,此方法不仅可以准确高效地测定白术多糖的单糖组成还极大地降低了检测成本。

4.2 结论 通过对白术多糖的分子量测定,可以了解白术多糖的分子量大小以及分子量分布情况。通过柱前衍生化 HPLC 法对白术多糖进行单糖组成种类和物质的量比的测定,可以实现对白术多糖准确的定性定量。试验通过对白术多糖的分子量大小与分布情况以及单糖组成分析,对白术多糖进行了定性定量的考查。试验建立的方法稳定性高、重复性好、样品用量少、容易操作。研究为白术多糖实现质量控制提供了一种可靠的定性定量的新思路。

参考文献:

[1] 曹岗,张晓炎,丛晓东,等. 白术多糖的研究进展[J]. 北京联

合大学学报(自然科学版), 2009, 23(03): 14-18.

Cao G, Zhang X Y, Cong X D, *et al.* The research progress of polysaccharides from *Atractylodes macrocephala koidz* [J]. Journal of Beijing Union University (Natural Sciences), 2009, 23(03): 14-18.

[2] 张利平,梁晓美,叶伟霞. 白术提高机体免疫功能的研究进展[J]. 中国中医药科技, 2014, 21(05): 598-599 [J].

Zhang L P, Liang X M, Ye W X, *et al.* Advances in the study of *Atractylodes macrocephala* on improving immune function Chinese [J]. Journal of Traditional Medical Science and Technology, 2014, 21(05): 598-599 [J].

[3] 常云亭,孙吉兰,邱世翠,等. 白术对小白鼠免疫功能的影响[J]. 滨州医学院学报, 2003, (05): 350-351.

Chang Y T, Sun J L, Qiu S C, *et al.* Effects of *Atractylodes macrocephala* on the immune function of mice [J]. Journal of Binzhou Medical University, 2003, (05): 350-351.

[4] 年立全. 益气健脾中药提取物对大鼠应激性溃疡及多胺影响的研究[D]. 广州中医药大学, 2013.

Nian L Q. Study on the effect of Yiqi Jianpi herb extract on stress ulcer in rats and polyamine [D]. Traditional Chinese Medicine University Of Guangzhou, 2013.

[5] 石娜,苏洁,杨正标,等. 白术多糖对 D-半乳糖致衰老模型小鼠的抗氧化作用[J]. 中国新药杂志, 2014, 23(05): 577-581,584.

Shi N, Su J, Yang Z B, *et al.* Antioxidant effect of polysaccharides from *Atractylodes macrocephala* in D-galactose-induced aging mice [J]. Chinese Journal of New Drugs, 2014, 23(05): 577-581,584.

[6] 陈冰冰. 白术的药理学研究进展[J]. 内蒙古中医药, 2012, 31(10): 101-102.

Chen B B. Progress in pharmacological research of rhizome *Atractylodes macrocephala* [J]. Nei Mongol Journal of Traditional Chinese Medicine, 2012, 31(10): 101-102.

[7] 单俊杰,田庚元. 白术糖复合物 AMP-B 的理化性质及降血糖活性的研究[J]. 药学学报, 2003, (06): 438-441.

Shan J J, Tian G Y. Studies on Physico-chemical properties and hypoglycemic activity of complex polysaccharide AMP-B from *Atractylodes macrocephala koidz* [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2003, (06): 438-441.

[8] 李燕,陈素红,吉星,等. 白术多糖对自发性 2 型糖尿病小鼠血糖及相关指标的影响[J]. 中国试验方剂学杂志, 2015, 21(10): 162-165.

Li Y, Chen S H, Ji X, *et al.* Effects of polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* on blood glucose and related indicators

- in spontaneous type 2 diabetes db/db mice [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2015, 21 (10): 162-165.
- [9] Zhang Y Q, Xu S B, Lin Y C, *et al.* Antagonistic effects of 3 sesquiterpene lactones from *Atractylodes macrocephala koidz* on rat uterine contraction in vitro [J]. Acta Pharmacol Sin, 2000, 21 (1): 91-96.
- [10] 周 剑, 苏德春, 宋国权. 白术多糖对 H22 肝癌小鼠抗肿瘤作用试验研究[J]. 亚太传统医药, 2015, 11 (17): 9-10.
Zhou J, Su D C, Song G Q. Anti-Tumor effect of polysaccharide of *Atractylodes macrocephala* on H22 liver cancer mice [J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2015, 11 (17): 9-10.
- [11] 宿廷敏, 王敏娟, 阮时宝. 白术的化学成分及药理作用研究概述[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2008, (02): 32-35.
Su T M, Wang M J, Ruan S B. A research review of chemical constituents and pharmacological action of *Atractylodes macrocephala* [J]. Journal of Guiyang College Natural Sciences, 2008, (02): 32-35.
- [12] 汤新慧. 白术多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 中医研究, 1998, (02): 9-11.
Tang X H. Effects of *Atractylodes macrocephala* polysaccharides on immune function in mice [J]. Traditional Chinese Medicinal Research, 1998, (02): 9-11.
- [13] Mori H, Xu Q, Sakamoto O, Uesugi Y. Mechanisms of antitumor activity of aqueous extracts from Chinese herbs and their immunopharmacology properties[J]. Japanese Journal of Pharmacology. 1989, 49 (3): 423-432.
- [14] Lee J C, Lee K Y, Son Y O, *et al.* Stimulating effects on mouse splenocytes of glycoproteins from the herbal medicine *Atractylodes macrocephala Koidz*[J]. Phytomedicine, 2007, 14 (6): 390-395.
- [15] 徐叔云, 卞如濂, 陈 修. 药理试验方法学[M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2002, 220-228.
Xu S Y, Bian R L, Chen X. Pharmacological Test Methodology [M]. 3 Edition. Beijing: People's Health Publishing House, 2002, 220-228.
- [16] 王少杰, 巴 娟, 张勇军, 等. 柱前衍生化 HPLC 法测定玉屏风复合多糖的单糖组成[J]. 中国兽医杂志, 2018, 54 (04): 83-86.
Wang S J, Ba J, Zhang Y J, *et al.* Analysis of monosaccharide compositions of *Yupingfeng* polysaccharides by HPLC pre-column derivatization [J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2018, 54 (04): 83-86.
- [17] 梁 军, 夏永刚, 杨炳友, 等. 柱前衍生化-HPLC 法分析麻黄多糖 ESP-B1 的单糖组成[J]. 中草药, 2011, 42 (10): 1985-1988.
Liang J, Xia Y G, Yang B Y, *et al.* Analysis of monosaccharide compositions of ESP-B1 from *Ephedrae herba* by HPLC pre-column derivatization [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2011, 42 (10): 1985-1988.

(编辑:陈希)