

## 三七叶多糖的提取分离及结构信息

钟思恩, 黄光球, 陈金仙, 薄胜涛, 张华林\*  
(岭南师范学院 化学化工学院, 广东 湛江 524048)

**[摘要]** 目的:研究三七叶多糖的提取、分离及初步结构信息。方法:采用单因素试验及正交试验优化三七叶多糖的提取工艺;树脂法及离子交换色谱、凝胶滤过色谱柱色谱法等方法进行纯化分离;纸色谱法和气-质联用色谱法分析单糖组成及骨架结构。结果:三七叶多糖的最佳提取工艺为提取温度 80 ℃,提取时间 1 h,料液比 1:12,提取次数 3 次。纯化分离后得到 1 个三七叶均一多糖 A<sub>1</sub>,主要由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖这 3 种单糖组成,其摩尔比为 1.00:1.56:1.17;主链主要由葡萄糖、半乳糖组成,支链由阿拉伯糖、半乳糖组成。结论:优化了三七叶多糖的热水提取工艺,并采用树脂新技术取代了传统的多糖脱色脱蛋白工艺,效果良好。此外三七叶多糖的单糖组成与三七(根)多糖一致。为三七中多糖成分的综合利用提供理论和实验依据。

**[关键词]** 三七叶;多糖;分离;纸色谱法;气-质联用色谱法

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)21-0050-05

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2016210050

**[网络出版地址]** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20160512.1623.032.html>

**[网络出版时间]** 2016-05-12 16:23

### Extraction, Separation and Structural Characterization of Polysaccharide from Leaves of *Panax notoginseng*

ZHONG Si-en, HUANG Guang-qiu, CHEN Jin-xian, BO Sheng-tao, ZHANG Hua-lin\*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the extraction, separation and preliminary structural characterization of the polysaccharide from the leaves of *Panax notoginseng*. **Method:** Single factor experiment and orthogonal experiment were adopted to optimize the extraction process of the polysaccharide from the leaves of *P. notoginseng*. Several methods such as resin method, ion exchange chromatography and gel permeation chromatography were used to purify and separate the polysaccharide. Paper chromatography and GC-MS were used to analyze the monosaccharide composition and the backbone structure of the polysaccharides. **Result:** The optimum extraction process was obtained as follows: extraction temperature of 80 ℃, extraction time of 1 h, solid to liquid ratio of 1:12, and extraction times of 3 times. Homogeneous polysaccharide A<sub>1</sub> was obtained after purification and separation, mainly composed of arabinose, glucose and galactose with the molar ratio of 1.00:1.56:1.17. The backbone chain was mainly composed of glucose and galactose and the branched chain was composed of arabinose and galactose. **Conclusion:** Hot water extraction technology of the polysaccharides from the leaves of *P. notoginseng* was optimized. Resin method was used to replace the traditional decolorization and deproteinization methods of polysaccharide, with good effect. In addition, monosaccharide composition of the polysaccharide from the leaves of

**[收稿日期]** 20150616(001)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81202435);广东省自然科学基金项目(2014A030307025);广东省高等学校高层次人才项目(QBS201502);广东省大学生创新创业训练计划项目

**[第一作者]** 钟思恩,从事天然药物成效成分研究,Tel:0759-31832455,E-mail:z\_sien@126.com

**[通讯作者]** \*张华林,博士,副教授,从事天然药物有效成分研究,Tel:0759-31832455,E-mail:zhanghualin303@163.com

*P. notoginseng* was consistent with that of the polysaccharide from the roots of *P. notoginseng*. The present paper provided theoretical and experimental basis for comprehensive utilization of the polysaccharide from *P. notoginseng*.

[Key words] leaves of *Panax notoginseng*; polysaccharide; separation; paper chromatography; gas chromatography-mass spectrometry

三七 *Panax notoginseng* 为五加科植物三七的干燥根和根茎,有止血散瘀、活血消肿、止痛等功效。三七始载于《本草纲目》,主产于云南、广西等地,栽培或野生,属于药食兼用的名贵中药材。其地上的茎、叶和花亦为药用部位,例如从三七叶中提取的三七叶总皂苷是传统中成药七叶神安片的主要原料,收载于 2015 年版《中国药典》一部。药理学研究表明,三七多糖具有免疫调节<sup>[1]</sup>,骨缺损修复<sup>[2]</sup>,抗微波辐射<sup>[3]</sup>,抗癌的作用<sup>[4]</sup>,属无毒级物质<sup>[5]</sup>,是重要的活性成分。然而目前三七多糖的研究主要集中在三七根<sup>[1-7]</sup>,甚少有三七叶多糖的报道,本文从三七叶中提取多糖,并进行纯化、分离和相关的结构信息研究,为综合利用三七叶多糖提供理论和实验依据。

## 1 材料

Gold S53 型紫外-可见分光光度计(上海棱光技术有限公司),TRACE DSQ 型气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)(美国 Thermo Finnigan),BS-100A 型自动部分收集器(上海沪西分析仪器厂有限公司),BS124S 型电子天平(北京赛多利斯),HH-ZK<sub>4</sub> 型四孔智能水浴锅(巩义市予华仪器有限责任公司),RE-52CS 型减压旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂)。三七叶购自文山市良一中药材有限公司,经岭南师范学院化学化工学院张华林副教授鉴定为五加科植物三七 *Panax notoginseng* 的干燥叶。对照品无水葡萄糖、阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、甘露糖、肌醇(批号分别为 110833, 111506, 111683, 100226, 140651, 131142, 供含量测定用),购自上海江莱生物科技有限公司。浓硫酸,苯酚,乙醇,甲醇,吡啶,邻苯二甲酸,酞吡啶,三氟乙酸(TFA),NaBH<sub>4</sub> 等试剂购自广州化学试剂厂,均为分析纯。树脂购自山东鲁抗树脂厂(DEAE-Sepharose CL-6B 购自瑞典 Pharmacia 公司)。

## 2 方法与结果

**2.1 三七叶多糖的提取工艺研究** 以三七叶多糖得率为指标,采用单因素试验和正交试验,对提取温度、提取时间、提取次数,料液比等关键工艺参数进行考察,确定最佳的提取工艺。

**2.1.1 温度对多糖得率的影响** 称取三七叶 5 g 共 5 份,加入蒸馏水 40 mL,固定提取时间(2 h),提

取次数(1 次),料液比(1:8),分别在 60,70,80,90,100 ℃ 水浴温度下提取。随着提取温度的升高,多糖得率增加,当水浴温度为 100 ℃ 时,多糖得率最大达到 14.99%。故本研究正交试验中提取温度考察的 3 个水平选择为 60,80,100 ℃。

**2.1.2 时间对多糖得率的影响** 称取三七叶 5 g 共 5 份,加入蒸馏水 40 mL,固定提取温度(100 ℃),提取次数(1 次),料液比(1:8),分别提取 0.5,1,2,3,4 h。提取时间从 0.5 h 增加至 2 h 时,多糖得率由 10.93% 升高到 14.24%。继续延长提取时间至 4 h,多糖得率变化不明显。故本研究正交试验中提取时间考察的 3 个水平选择为 0.5,1,2 h。

**2.1.3 次数对多糖得率的影响** 称取三七叶 5 g 共 4 份,加入蒸馏水 40 mL,固定提取温度(100 ℃),提取时间(2 h),料液比(1:8),分别提取 1,2,3,4 次。提取 1~3 次时,多糖得率由 17.53% 升高到 20.46%,提取 4 次,多糖得率变化不明显,表明提取 3 次能将多糖提取完全。故本研究正交试验中提取次数考察的 3 个水平选择为 1,2,3 次。

**2.1.4 料液比对多糖得率的影响** 称取三七叶 5 g 共 5 份,加入蒸馏水 40 mL,固定提取温度(100 ℃),提取次数(3 次),提取时间(2 h),分别按料液比 1:8,1:10,1:12,1:14,1:16 加入蒸馏水进行提取。以 1:8,1:10,1:12 液料比提取时,多糖得率变化不明显,用 12 至 16 倍量溶剂时,多糖的得率从 13.07% 升高到 18.08%。故本研究正交试验中料液比考察的 3 个水平选择为 1:12,1:14,1:16。

**2.1.5 正交试验** 根据单因素试验结果,选取温度、时间、料液比、次数作为考察因素,以三七叶多糖得率为指标,按 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 设计正交试验,对三七叶多糖提取工艺进行优化。正交试验因素水平表见表 1。

表 1 三七叶多糖提取工艺正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test of leaves of *Panax notoginseng* polysaccharide

| 水平 | A 温度 /℃ | B 时间 /h | C 料液比 /倍 | D 次数 /次 |
|----|---------|---------|----------|---------|
| 1  | 60      | 0.5     | 1:12     | 1       |
| 2  | 80      | 1       | 1:14     | 2       |
| 3  | 100     | 2       | 1:16     | 3       |

由直观分析可知,影响三七叶多糖得率的因素顺序为  $D > B > C > A$ ,即提取次数 > 提取时间 > 料液比 > 提取温度;方差分析结果表明因素  $D$  具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),为重要的影响因素。确定最佳工艺条件为  $A_2B_2C_1D_3$ ,即最佳方案为提取温度为  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ,提取时间为  $1\text{ h}$ ,料液比为  $1:12$ ,提取次数为  $3$  次。见表 2,3。

表 2 热水提取工艺正交试验

Table 2 Results of orthogonal test of hot water extraction technology

| No. | A 温度 / $^\circ\text{C}$ | B 时间 /h | C 料液比 /倍 | D 次数 /次 | 多糖得率 /% |
|-----|-------------------------|---------|----------|---------|---------|
| 1   | 1                       | 1       | 1        | 1       | 10.93   |
| 2   | 1                       | 2       | 2        | 2       | 14.08   |
| 3   | 1                       | 3       | 3        | 3       | 15.92   |
| 4   | 2                       | 1       | 2        | 3       | 16.75   |
| 5   | 2                       | 2       | 3        | 1       | 12.84   |
| 6   | 2                       | 3       | 1        | 2       | 14.49   |
| 7   | 3                       | 1       | 3        | 2       | 7.31    |
| 8   | 3                       | 2       | 1        | 3       | 19.57   |
| 9   | 3                       | 3       | 2        | 1       | 13.32   |

表 3 热水提取工艺正交试验方差分析

Table 3 Result of variance analysis of orthogonal experiment of hot water extraction technology

| 方差来源  | SS     | F      | F 临界值  | P       |
|-------|--------|--------|--------|---------|
| A(误差) | 2.834  | 1.000  | 19.000 |         |
| B     | 24.028 | 8.478  | 19.000 | $>0.05$ |
| C     | 16.173 | 5.707  | 19.000 | $>0.05$ |
| D     | 55.404 | 19.550 | 19.000 | $<0.05$ |

注: $f$ 均为 2, $F$ 临界值为 19.000。

按照上述正交试验所确定的最佳热水提取条件进行 3 次重复试验。结果多糖得率为  $(21.04 \pm 0.56)\%$ ,RSD 2.6%,表明该工艺可重复,多糖得率较高。

## 2.2 三七叶多糖的分离

**2.2.1 醇沉** 取三七叶提取后的滤液,蒸发浓缩,离心,上清液搅拌下加 2~3 倍体积的 95% 乙醇,使含醇量达 60%~70%,静置 24 h,离心,收集沉淀物,得到黄黑色三七叶粗多糖。

**2.2.2 树脂脱色脱蛋白** 以脱色率、脱蛋白率、多糖保留率为指标,筛选 D941 等 7 种树脂,考察三七叶多糖溶液在不同浓度,不同 pH,不同流速对树脂动态吸附效果的影响。三七叶多糖最佳的树脂脱色脱蛋白工艺为采用树脂 D941 进行脱色脱蛋白,三七叶多糖溶液的质量浓度为  $10.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,溶液 pH 为 5,流速为  $2\text{ BV}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在此工艺条件下,脱色率达 92.35%,脱蛋白率为 89.11%,多糖保留率

为 85.55%。

**2.2.3 活性炭脱色精制** 取脱色脱蛋白后的多糖,加入  $3\%(\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$  活性炭, $60\text{ }^\circ\text{C}$  水浴加热 1 h,趁热过滤,得到浅黄色的多糖滤液。

**2.2.4 透析除杂** 经过上述的步骤后,所得到的粗多糖进行透析处理,除去小分子杂质。

**2.2.5 离子交换色谱** 精制后的三七叶多糖用少量的去离子水加热溶解,离心 ( $3\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 3 min),取上清液上样。配制  $0.3\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 洗脱溶液 180 mL,等度洗脱,控制流速为  $0.75\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,试管收集洗脱液,每管 3.0 mL。硫酸-苯酚法显色,紫外-可见分光光度计逐管检测,以管数为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制洗脱曲线图。依据洗脱曲线图,合并多糖组分,透析袋透析(4 次,每次 6 h),透析袋内液浓缩,冷冻干燥。得到 2 个主要的多糖组分,分别命名为 A、B 部位,见图 1。

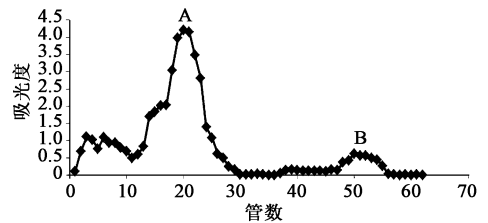


图 1 三七叶多糖离子交换色谱 DEAE-Sepharose CL-6B 柱色谱  
Fig. 1 Chromatogram of polysaccharide from leaves of *Panax notoginseng* by DEAE-Sepharose CL-6B column

**2.2.6 凝胶滤过色谱** 取 A 部位用 Sephadex G-100 凝胶滤过色谱柱进一步分离。称取 A 部位,蒸馏水加热溶解,离心 ( $3\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , 3 min),取上清液上样。用去离子水 120 mL 等度洗脱,流速为  $0.45\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,试管收集洗脱液,每管 3.0 mL。硫酸-苯酚法显色,紫外-可见分光光度计逐管检测,以管数为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制相关的洗脱曲线图。依据洗脱曲线图,合并多糖组分,浓缩,冷冻干燥。A 部位多糖经过凝胶色谱分离纯化后,得到一个峰形对称的单峰,为均一多糖,命名为  $A_1$  部位,见图 2。

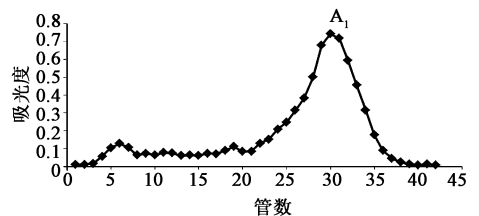


图 2 三七叶多糖  $A_1$  部位 Sephadex G-100 凝胶滤过色谱柱色谱  
Fig. 2 Chromatogram of polysaccharide  $A_1$  from leaves of *Panax notoginseng* by Sephadex G-100 column

### 2.3 纸色谱法分析单糖组成

**2.3.1 供试品溶液制备** 称  $A_1$  部位 10.0 mg, 加入  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 TFA 溶液 1 mL 溶解, 密封, 沸水浴水解 3 h, 冷却, 反复加入甲醇, 旋转蒸发仪  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  减压浓缩, 除掉多余的 TFA 溶液。残余物加去离子水 1 mL 溶解, 即得供试液。

**2.3.2 对照品溶液制备** 分别称取对照品阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖各 5 mg, 加去离子水 1 mL 溶解, 即得。

**2.3.3 色谱条件** 展开剂为乙酸乙酯-吡啶-冰乙酸-水(5:5:1:3), 显色剂为苯胺-邻苯二甲酸试剂(称取苯胺 0.93 g 和邻苯二甲酸 1.66 g 溶于水饱和和正丁醇 100 mL)。

**2.3.4 纸色谱法分析** 分别吸取供试液、对照品溶液, 点样于色谱滤纸上(5 cm × 10 cm)。在展开槽中使用展开剂预饱和 15 min, 展开, 晾干, 显色,  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  干燥至斑点清晰。观察斑点  $R_f$  值, 初步判断该三七叶多糖由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖组成。

### 2.4 GC-MS 分析单糖组成

**2.4.1 多糖样品的处理** 称取  $A_1$  部位 10 mg, 加入  $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  TFA 溶液 1 mL 溶解, 密封, 沸水浴水解 4 h, 冷却, 反复加入甲醇, 旋转蒸发仪  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  减压浓缩, 除掉多余的 TFA 溶液, 干物加去离子水 2 mL 溶解。

**2.4.2 对照品的处理** 分别称取对照品阿拉伯糖、鼠李糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖各 5 mg, 加去离子水 2 mL 溶解。

**2.4.3 衍生** 供试液及对照品分别加入肌醇 5.0 mg,  $\text{NaBH}_4$  30 mg 室温反应 2 h, 间歇振荡。用少量乙酸中和至没有气泡产生, 反复加入甲醇, 旋转蒸发仪减压浓缩, 加入乙酸酐 1 mL, 吡啶 1 mL, 密封, 沸水浴 1 h, 用  $\text{CHCl}_3$  萃取后, GC-MS 分析<sup>[8]</sup>。

**2.4.4 色谱条件** DP-5 毛细管柱(0.25 mm × 30 m, 0.25  $\mu\text{m}$ ), 载气  $\text{He}_2$ , 流速  $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 质谱四极杆温度  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 离子源温度  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , 加速电压 6 kV, 电子能量 70 eV, 扫描范围  $m/z$  20 ~ 600, 分辨率 600, 程序升温从  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  开始以  $5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  升温至  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

**2.4.5 GC-MS 分析** 单糖对照品 GC 色谱图中(图 3A), 鼠李糖、阿拉伯糖、肌醇、甘露糖、葡萄糖、半乳糖的保留时间分别为 5.59, 5.77, 8.47, 8.87, 8.96, 9.13。参照单糖对照品保留时间及质谱数据, 从三七叶多糖 GC 色谱图中(图 3B)鉴别出阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖这 3 种单糖。用肌醇作内标物, 根据内

标法计算出, 阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖的摩尔比为 1.00:1.56:1.17。结合纸色谱分析, 可确定三七叶多糖  $A_1$  的单糖组成为阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖。

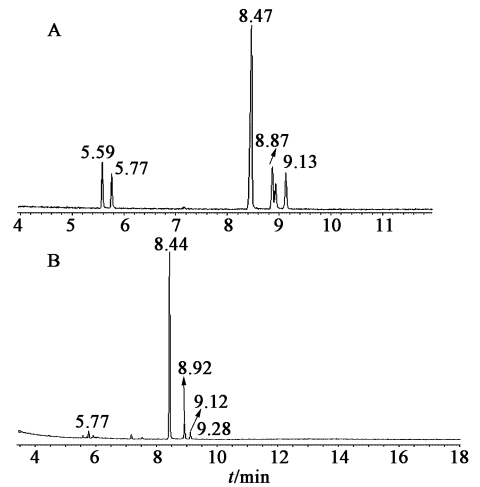


图 3 单糖对照品(A), 三七叶多糖(B)气相色谱

Fig. 3 Gas chromatogram of monosaccharide references (A) and polysaccharide from leaves of *Panax notoginseng* (B)

**2.5 部分酸水解** 称取  $A_1$  部位 80 mg, 加  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  TFA 溶液 1 mL 溶解, 密封, 沸水浴水解 4 h, 冷却, 反复加入甲醇, 旋转蒸发仪减压浓缩, 除掉多余的 TFA 溶液, 残渣加蒸馏水 4 mL 溶解, 离心( $5000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 3 min), 得沉淀物 A。上清液置透析袋(3500 Da), 去离子水透析(4次, 每次 6 h), 收集袋外液 B 及袋内液。袋内液浓缩, 加甲醇沉淀, 离心, 得到沉淀物 C 及上清液 D。取 A, B, C, D 浓缩, 冷冻干燥, 按照 2.4.3 项下操作, 采用 GC-MS 分析各单糖组成。

多糖的水解由内因和外因决定, 外因主要是指酸水解的条件, 包括酸浓度、酸用量、水解时间等; 内因是多糖的结构组成, 例如单糖构型、苷键连接位置、取代基的存在等。本试验控制了水解条件, 支链比主链容易水解, 片段 A, C 来之于主链, B, D 来自于支链<sup>[9-10]</sup>。三七叶多糖部分酸水解试验结果见表 4。葡萄糖在 A, B, C 三个片段中存在, 阿拉伯糖仅存在于片段 B, 半乳糖存在于片段 A, C, D。推断多糖  $A_1$  的主链主要由葡萄糖和半乳糖组成, 支链主要由阿拉伯糖和半乳糖组成。

### 3 讨论

对于多糖的脱色脱蛋白处理, 文献报道的方法有活性炭脱色, Seavage 试剂脱蛋白, 三氯乙酸法脱色脱蛋白等<sup>[11-13]</sup>。上述传统工艺技术存在明显的缺陷, 一是操作步骤较多、过程繁琐, 二是需要使用大量的三氯甲烷、正丁醇、三氯乙酸等有机溶剂, 存在

表 4 三七叶多糖部分酸水解试验

Table 4 Results of partial acid hydrolysis of polysaccharide from leaves of *Panax notoginseng*

| 样品 | 葡萄糖 | 半乳糖 | 阿拉伯糖 | 鼠李糖 | 甘露糖 |
|----|-----|-----|------|-----|-----|
| A  | +   | +   | -    | -   | -   |
| B  | +   | -   | +    | -   | -   |
| C  | +   | +   | -    | -   | -   |
| D  | -   | +   | -    | -   | -   |

注：“+”表示可检出结果；“-”表示不可检出结果。

生产的危险。基于树脂具有吸附容量大、工艺步骤简单、有机溶剂使用量少以及能同时脱色脱蛋白的优点,本文筛选合适的树脂对三七叶多糖进行脱色脱蛋白处理,取代传统工艺技术,取得了良好的除杂效果。

盛卸晃等<sup>[6]</sup>采用阴离子交换色谱及凝胶滤过色谱分离技术从三七根中获得均一多糖 PNPS II b,结构分析表明该多糖主要由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖组成。本试验对三七叶多糖的结构信息进行初步分析,发现三七叶多糖主要由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖这 3 种单糖组成(摩尔比为 1.00:1.56:1.17),其主链主要由葡萄糖和半乳糖组成;支链由阿拉伯糖和半乳糖组成。表明三七叶多糖和三七根多糖的单糖组成基本一致。此外,刘岩等<sup>[14]</sup>分析了三七植物不同部位多糖的含量,发现根为 45.0%,茎叶为 20.0%,茎叶含量约为根含量的一半。本试验从三七叶中获得的多糖得率为 21.40%,与文献报道接近。三七为多年生植物,三七叶可以多次采集,因此三七叶资源丰富,并且相对于三七根,三七叶价格低廉。综合上述因素,三七叶多糖应该具有三七根多糖相同的开发利用价值。

随着分子生物学的发展,植物多糖的研究日渐深入,研究表明植物多糖在免疫、抗肿瘤、降血糖、抗自由基、抗辐射、抗病毒延缓衰老方面有明显的效果<sup>[15]</sup>,是重要的活性物质。长期以来,三七总皂苷、三七叶总皂苷等人参皂苷类成分被视为三七的有效成分,收载于 2010 年版《中国药典》一部。而多糖在上述皂苷类成分水提醇沉、大孔吸附树脂富集等提取、分离过程中作为“非药效成分”被废弃,造成资源的极大浪费。本试验对三七叶多糖的提取工艺进行优化,并初步分析其一级结构,今后继续完成二级、三级结构以及构效、量效的分析,最终实现三七叶多糖的变废为宝、开发与利用。

[参考文献]

[1] 陈新霞,顾呈华,杨明晶,等. 三七多糖对小鼠免疫功能调节的研究[J]. 江苏预防医学,2007,18(3):10-12.

[2] 姜文茹,毕良佳,赵尔颀. 三七多糖复合自固化磷酸钙人工骨修复骨缺损的实验研究[J]. 中国中医药科技,2008,15(5):355-356.

[3] 陈为,张友成,周苗苗,等. 三七多糖对微波辐射大鼠血清氧化指标的影响研究[J]. 中国辐射卫生,2009,18(2):184-185.

[4] Sasaki R, Tsunoda S, Matano Y, et al. Antitumor polysaccharides from *Panax notoginseng* roots; Jpn Kokai Tokkyo Koho A, JP02268120[P];1990-11-01.

[5] 顾龙龙,陈彤,张莹,等. 三七多糖的研究进展[J]. 华西药学杂志,2015,30(1):117-119.

[6] 盛卸晃,王健,郭建军,等. 三七多糖的分离纯化及理化性质研究[J]. 中草药,2007,38(7):987-989.

[7] 温拥军,蒋琼凤,郭浪. 响应面法优化内部沸腾法提取三七多糖[J]. 食品工业科技,2013,34(23):260-263.

[8] 尚庆坤,李德谦,玄玉实,等. 气相色谱-质谱法分析研究野生菱角壳中多糖化合物的单糖组成[J]. 分析化学,2005,33(1):73-76.

[9] Tong H B, Liang Z Y, Wang G Y. Structural characterization and hypoglycemic activity of a polysaccharide isolated from the fruit of *Physalis alkekengi* L. [J]. Carbohydr Polym, 2008, 71(2):316-323.

[10] Luo D. Identification of structure and antioxidant activity of a fraction of polysaccharide purified from *Dioscorea nipponica* Makino [J]. Carbohydr Polym, 2008, 71(4):544-549.

[11] Zhang H L, Li J, Li G, et al. Structural characterization and anti-fatigue activity of polysaccharides from the roots of *Morinda officinalis* [J]. Int J Biol Macromol,2009,44(3):257-261.

[12] 何传波,陈玲,李琳,等. 巴戟天多糖脱蛋白方法的研究[J]. 食品科技,2005(6):25-27.

[13] 何传波,李琳,汤凤霞,等. 巴戟天中一种多糖的分离与结构表征[J]. 高等学校化学学报,2009,30(12):2391-2395.

[14] 刘岩,范开,李龙军. 三七多糖的含量测定方法及不同部位多糖的含量变化研究[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(19):118-120.

[15] 陈旋,张翼,张剑波. 植物多糖的研究进展[J]. 中国新药杂志,2007,16(13):1000-1005.

[责任编辑 顾雪竹]