

太子参多糖的研究进展

王崇敏, 李 军*, 晋海军, 黄朝霞, 刘晓清

(贵州中医药大学中药民族药资源研究院, 贵阳 550025)

摘 要: 近年来中药多糖的生物活性备受关注, 研究也越来越深入。在现代研究中, 太子参多糖具有抗糖尿病、免疫调节、保护心肌等多种生物活性, 是太子参发挥功效及保健养身功能的最重要的物质基础成分。太子参多糖相关研究是解决太子参质量控制难题的关键, 现已成为太子参研究领域的热门。本文综述了太子参多糖的提取分离、结构组成、生理功效等方面的研究内容, 以期为太子参多糖的研究、开发与利用提供参考。
关键词: 太子参多糖; 提取分离; 结构组成; 生物活性; 生物合成

Research progress of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide

WANG Chong-Min, LI Jun*, JIN Hai-Jun, HUANG Zhao-Xia, LIU Xiao-Qing

(Resource Institute for Chinese & Ethnic Materia Medica of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: In recent years, the biological activity of traditional Chinese medicine polysaccharides has attracted much attention, and the research has become more and more in-depth. In modern research, *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide has many biological activities, such as anti-diabetes, immune regulation, myocardial protection, anti-oxidation, etc., which is the most important material component for *P. heterophylla* to exert its efficacy and health function. The research on *P. heterophylla* polysaccharide is the key to solve the quality control problem of *P. heterophylla*, and has become a hot spot in the research field of *P. heterophylla*. This article reviewed the research content of the extraction, separation, structural composition, and physiological functions of *P. heterophylla* polysaccharide, so as to provide reference for the research, development and utilization of *P. heterophylla* polysaccharide.

KEY WORDS: *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide; extraction and separation; structural composition; biological activity; biosynthesis

0 引 言

太子参系双子叶石竹科孩儿参属植物[*Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax et Hoffm]的干燥块根, 又名孩儿参、童参、异叶假繁缕, 主要为栽培品, 主产于贵州, 安徽, 河南、福建等地。太子参自 2002 年被国家批准列入

可用于保健食品物品名单以来, 其保健食用功能的适用性已在不断的研究应用中得到社会人群的广泛认可, 市场需求量也与日俱增。与人参、党参等补益中药的重要区别在于主要化学成分的不同, 人参的主要成分为人参皂苷, 而太子参的主要成分则为糖类。经现代药理学研究, 太子参多糖具有抗糖尿病、免疫调节、保护心肌等多方面的药理

基金项目: 国家自然科学基金项目(81860667)、贵州省基础研究计划项目(黔科合基础[2018]1010)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (81860667), and the Science and Technology Department of Guizhou Province (QKHJC[2018]1010)

***通信作者:** 李军, 博士, 副教授, 主要研究方向为植物分子生物学及分子生药学研究。E-mail: speker@163.com

***Corresponding author:** LI Jun, Ph.D, Associate Professor, Resource Institute for Chinese & Ethnic Materia Medica of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China. E-mail: speker@163.com

活性。目前,太子参多糖作为发挥太子参药用功效和保健食用功能的重要化学成分,在中药太子参的研究中具有举足轻重的地位。随着研究者对太子参多糖的广泛关注,太子参多糖的相关研究内容已不断丰富而深入,但至今仍缺乏系统的归纳总结。本文主要综述了太子参多糖在提取和分离纯化、结构组成、生物活性及生物合成方面的研究进展,以期对太子参多糖的研究、开发与利用提供参考。

1 太子参多糖的提取和分离纯化

1.1 太子参多糖的提取

太子参多糖的提取研究常利用苯酚-硫酸法测定其多糖含量,提取结果的评价指标通常是以葡萄糖计的多糖得率。为提高多糖收率,人们对太子参多糖提取实验进行了多方面的研究,而目前对太子参多糖的提取主要有以下 5 种方法: (1)水提醇沉法即热水提取法,在太子参多糖相关实验研究中最常使用,考察的因素主要有料液比、提取温度、提取时间、提取次数以及醇沉条件,该法最佳工艺的料液比在 1:9~1:20 (g/mL)、提取温度在 88.88~100.00 °C、浸提时间在 1.5~3.0 h、提取次数在 2~3 次,醇沉条件为醇终浓度 80%,多糖得率在 3.60%~21.71%^[1-4]; (2)超声波提取法可以破碎细胞,加速有效成分的扩散、传质与溶解,其工艺考察类似于水提醇沉法,超声功率也纳入主要的因素,该法最佳提取条件的料液比在 1:8~1:30 (g/mL)、提取温度在 40~80 °C、浸提时间在 20~115 min、提取次数在 3~4 次、超声功率 100 W,多糖得率为 2.48%~23.80%^[5-9]; (3)超高压技术提取法在常温下高压提取,避免了由热效应引起的有效成分结构改变、损失和生理活性降低等问题,该法最佳提取工艺为提取温度 55 °C、保压时间 6 min、提取压力 350 MPa、料液比 1:60 (g/mL),此时多糖得率为 37.56%^[10]; (4)蒸汽爆破技术提取法可以在细胞水平上有效改变和破坏太子参生物量的物理结构,其物理过程有利于多糖成分的溶解,从而提高多糖的提取率,该法最佳工艺为蒸汽压强 1.50 Mpa、稳压时间 46 s 和基质含水量 46%,此方法的多糖得率高达 39.32%^[11]; (5)酶提取法具有提取时间短、过程条件温和、对环境无污染等优点,而且酶提取法多糖得率较热水提取法和超声提取法高^[12],实验研究表明其最佳提取工艺为料液比 1:5 (g/mL),酶添加量 0.25 g、提取时间 2 h,提取次数 3 次,此条件下粗多糖得率为 28.90%^[13]。对太子参多糖提取方法的总结见表 1。

提取方法对太子参多糖提取结果有很大的影响且各具优势,总体上看,提取率高的提取技术却在经济上缺乏适用性,在实际选择应用时需根据已有设备、提取效率、能耗等因素综合考虑。今后太子参多糖大规模工业生产建议使用水提醇沉法或纤维素酶法,如果经济条件足够则可选择超高压技术或蒸汽爆破技术进行提取。各考察因素在不同的研究中影响程度差异较大,总体上,提取次数和提取时间均比料液比的影响大;提取温度影响最大,在实际操作中需严格把

控;此外,pH 对提取结果的影响程度也较大,但只在极少的研究中作为考察指标,pH 可能会影响多糖的提取率、分子量、单糖组成和表观粘度等多方面的功能特性^[14],因此今后在太子参多糖提取优化工艺研究中 pH 建议纳入考虑。

1.2 太子参多糖的分离纯化

太子参粗多糖中往往含有蛋白质、色素、单糖、低聚糖、脂类、无机盐等杂质。粗多糖可以通过一系列分离纯化技术得到高质量分数的精制多糖,主要包括脱色、脱蛋白、透析以及组分分离过程。王慧娟等^[15]用水提醇沉法提取太子参多糖,并用 Sevage 法除蛋白制得粗多糖,经 Sephadex G100 凝胶柱层析对粗多糖进一步纯化、合并高浓度的多糖后,用透析膜除去金属离子得到太子参精制多糖,含量达 80%以上。在组分分离过程中,柱层析法是获取纯净和均质多糖的常用分级纯化方法,同时还具有脱色的作用。此外,也常采用乙醇分步沉淀法进行分级纯化,该方法利用多糖在有机溶剂中的溶解度很小的特点,选用不同浓度的乙醇进行多次沉淀,以获得不同级分的太子参多糖。太子参多糖分离纯化工艺的总结见表 2。采用的分离纯化方法不同,分离得到的太子参多糖的化学成分、分子量大小以及分子形状存在一定差异。

2 太子参多糖结构组成

多糖的单糖组成分析是进行多糖质量控制和获取多糖基本信息的重要环节。郭守斌^[18]采用水提醇沉法提取太子参多糖,硫酸水解后加入 1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮进行衍生化,采用柱前衍生超高效液相色谱法测定太子参多糖中单糖的衍生物,结果为不同产区太子参多糖由半乳糖、D-甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸 7 种单糖组成,贵州施秉县地区产太子参单糖含量最高。夏和先等^[19]采用盐酸甲醇水解粗多糖,采用三甲基硅烷柱前衍生、气相色谱-质谱法分析了太子参多糖的单糖组成,发现其主要含葡萄糖、果糖、甘露糖、半乳糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖、鼠李糖 7 种单糖,组培太子参中多糖含葡萄糖、鼠李糖的比例远高于野生太子参,而半乳糖、半乳糖醛酸则在野生太子参中含量较高。王慧娟等^[15]将太子参精制多糖置于高温强酸条件下水解,加入 1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮溶液衍生化后采用高效液相色谱法分析单糖组成,发现主要含葡萄糖、半乳糖、木糖、鼠李糖 4 种单糖。由此可见,种源、生长环境、衍生化方法以及多糖精制程度等因素会导致太子参多糖的单糖组成及比例不同。但总体上,太子参多糖主要由葡萄糖、葡萄糖醛酸、甘露糖、鼠李糖、半乳糖、半乳糖醛酸、阿拉伯糖、木糖等单糖组成。王慧娟等^[25]在前期研究的基础上进一步采用柱前衍生化-高效液相色谱法对太子参药材中的鼠李糖、葡萄糖、半乳糖及木糖进行测定,分别对液相色谱条件、多糖水解和衍生化条件进行了优化,所测单糖含量木糖>半乳糖>鼠李糖>葡萄糖。

表 1 太子参多糖提取方法研究情况
Table 1 Studies on extraction methods of *P. heterophylla* polysaccharide

提取方法	考察方式	考察因素	最佳提取工艺及因素影响程度排序	优点	缺点	提取得率/%	参考文献
水提醇沉	单因素+正交实验	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、提取次数(D)、醇沉条件(E)	A (1:9 g/mL)、B (3 h)、C (90 °C)、D (3 次)、E (醇沉浓度 80%); D>B>A>C			21.41±0.30	[1]
	单因素+正交实验	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、提取次数(D)	A (1:20 g/mL)、B (1.5 h)、C (100 °C)、D (3 次); C>D>B>A	提取时间短、提取效率高	提取率低于超声提取和超高压提取, 且周期长、耗能高	20.62	[2]
	正交实验设计	料液比(A)、提取时间(B)、提取次数(C)、pH (D)	A (1:18 g/mL)、B (3 h)、C (2 次)、D (8); D>B>C>A			4.68	[3]
	单因素+响应面法	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)	A (1:20 g/mL)、B (1.96 h)、C (88.88 °C); 未提及			3.60	[4]
	单因素+正交实验	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、提取次数(D)	A (1:20 g/mL)、B (40 min)、C (60 °C)、D (3 次); D>A>B>C			8.68	[5]
超声波提取或超声波辅助提取	单因素+响应面法	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、超声波功率(D)	A (1:26 g/mL)、B (65 min)、C (74 °C)、D (100 W); C>B>A		超声波功率过高会破坏多糖结构, 需要特定的提取设备	2.48	[6]
	正交实验设计	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、提取次数(D)	A (1:8 g/mL)、B (20 min)、C (50 °C)、D (4 次); B>C>D>A	提取时间短、能耗低、效率高、杂质溶出少		6.17	[7]
	正交实验设计	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、提取次数(D)	A (1:30 g/mL)、B (20 min)、C (40 °C)、D (3 次); B>D>C>A			23.80	[8]
	单因素+响应面法	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、乙醇浓度(D)	A (1:30 g/mL)、B (115 min)、C (80 °C)、D (30%); 未提及			6.01±0.03	[9]
	单因素+正交实验	料液比(A)、提取温度(B)、保压时间(C)、提取压力(D)	A (1:60 g/mL)、B (55 °C)、C (6 min)、D (350 MPa); B>C>D>A	提取时间短、能耗低、效率高、杂质溶出少、无污染、易分离纯化	能够影响如蛋白质、淀粉等生物大分子的立体结构, 需要特定的提取设备	37.56	[10]
蒸汽爆破技术提取	响应面法	蒸汽压强(A)、稳压时间(B)、基质含水量(C)	A (1.50 MPa)、B (46 s)、C (46%); 未提及	多糖成分溶解率高, 有利于提高多糖的提取率	需要特定的提取设备	39.32	[11]
纤维素酶法	正交实验	料液比(A)、提取时间(B)、提取温度(C)、酶添加量(D)	A (1:5 g/mL)、B (2 h)、C (3 次)、D (0.25 g); B>D>A	提取时间短、过程条件温和、对环境无污染	提取成本较高、多糖产物纯度较低	28.90	[13]

表 2 太子参多糖的分离纯化及结构组成的研究情况
Table 2 Studies structural composition of *P. heterophylla* polysaccharide

命名	分离纯化手段	分子量/Da	单糖组成	参考文献
PF40	太子参粗多糖用 60%的乙醇沉淀后, 取上清液再加入 40%乙醇进行沉淀分离	(2.1~5.0)×10 ⁴	半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖	[16]
均一多糖	在 PF40 的基础上进一步分离纯化	2.2374×10 ⁴	葡萄糖	[17]
无	Sevage 法除蛋白		半乳糖、D-甘露糖、鼠李糖、阿拉伯糖、D-无水葡萄糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸	[18]
无	无水乙醇回流脱脂		阿拉伯糖、鼠李糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖、半乳糖醛酸和果糖	[19]
H-1-2	在 PF40 的基础上, 依次用 DEAE-纤维素 52 柱色谱法、Sephacryl S-300 丙烯葡聚糖凝胶柱分离	1.4×10 ⁴	葡萄糖	[20]
无	经除蛋白、Sephadex G-100 凝胶柱纯化、透析		鼠李糖、葡萄糖、半乳糖和木糖	[15]
太子参均一多糖 HP _{h-1-1}	在 PF40 的基础上, 依次用 DEAE-纤维素、葡聚糖凝胶柱分离	1.84×10 ⁴	葡萄糖	[21]
6 种太子参均一多糖: H-1-1、H-2-1、H-3-1、0.2M-1-1、0.2M-2-1、0.5M	在 PF40 的基础上, 经除蛋白, 依次用 DEAE-纤维素和不同排阻范围的葡聚糖凝胶柱分离	1.840×10 ⁴ 、1.495×10 ⁴ 、1.535×10 ⁴ 、3.855×10 ⁴ 、1.420×10 ⁴ 、5.545×10 ⁴	葡萄糖	[22]
0.5MSC-F	在 PF40 的基础上, 除蛋白后, 用 DEAE-纤维素 52 柱分离	4.8×10 ⁴	鼠李糖、半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖	[23]
太子参水溶性非淀粉多糖	加入 4 次 95%乙醇使浓缩溶液沉淀, 得到粗多糖, 再经 α-淀粉酶酶解	4.37×10 ⁴ 、1.70×10 ⁵	阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖、半乳糖醛酸	[24]

太子参多糖的相对分子质量为 3.0~212.0 kDa, 但有关太子参多糖糖苷键的研究鲜有报道, 且很少提及单糖之间是如何通过糖苷键进行连接的。近年来, 太子参活性多糖组分 PF40^[16]的发现为太子参多糖结构的深入解析拉开了序幕。从 PF40 中分离得到的结构研究较为明确的太子参均一多糖是太子参新型多糖 H-1-2, 其分子量为 1.4×10⁴ Da, 是一种葡聚糖, 主链具有 1,4-连接的葡萄糖和少量带有 1,6-连接的葡萄糖的支链^[20]。此外, 太子参水溶性果胶多糖 0.5MSC-F 也是从 PF40 中分离纯化得到的结构较为明确的活性成分, 其纯度高达 97.1%以上, 平均分子质量为 4.8×10⁴ Da, 由鼠李糖、半乳糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖 4 种单糖组成, 其中半乳糖醛酸是主要的单糖(含量高达 63.20%), 主链由 1,4-连接的半乳糖醛酸和一定数量嵌入骨架连接替代半乳糖醛酸的 1,2-连接的鼠李糖构成, 1,5-连接的阿拉伯糖以及 1,3 或 1,6-连接的半乳糖通过 1,2-连接的鼠李糖的 C-4 连接到分支链中^[23]。

3 太子参多糖的生物活性

太子参具益气健脾、生津润肺之功效, 其补益作用在老年或儿童食疗保健品中应用广泛。此外, 其气阴双补、益气健脾的作用是中医治疗消渴症(糖尿病)的重要

途径, 因此太子参也常应用于中医治疗糖尿病的处方中, 专治气阴两虚、燥热伤津型糖尿病^[22]。现代药理研究发现, 太子参多糖具有抗糖尿病、免疫调节、心肌保护等生物活性, 是太子参发挥功效作用的最重要的物质基础之一。

3.1 降糖作用

胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)是 2 型糖尿病发病的重要机理, 而物质代谢紊乱诱导的氧化应激是 IR 发生的关键诱因。目前发现很多中药多糖对糖尿病具有抗氧化、抗炎作用。太子参多糖对 2 型糖尿病有显著的治疗作用, 其作用机制主要集中在以下 3 个方面。其一, 能够降低肿瘤坏死因子的表达水平, 使得血浆游离脂肪酸水平下降, 从而缓解脂肪细胞、肌肉细胞的胰岛素抵抗^[26]; 其二, 通过增加消脂素水平^[26], 促进胰岛 β 细胞分泌胰岛素的能力, 提高胰岛素水平, 改善糖耐量。另外, 还可通过抑制糖苷酶活性^[27]或肝组织糖异生^[28], 延缓多糖转化为单糖, 从而也起到改善糖耐量的作用; 其三, 通过抗氧化应激或抗炎^[29-31]起到缓解各种原因引起的胰岛素抵抗的作用, 其中抗氧化可对胰腺病理组织有很好的改善作用^[29], 而抗炎对糖尿病足溃疡有治疗和淡化疤痕的作用^[32]。

近年来,太子参抗糖尿病活性多糖成分 H-1-2、0.5MSC-F 口服吸收进入循环系统的路径被陆续展开研究。CHEN 等^[20]发现 H-1-2 可以呈剂量依赖性的方式明显增加细胞对葡萄糖的摄取和消耗,可以增强葡萄糖在肌肉和脂肪细胞中的吸收和利用。FANG 等^[33]进一步研究 H-1-2 降血糖机制,发现其与 Sirt1 介导的抗氧化应激密切相关。此外,CHEN 等^[23]研究还发现 0.5MSC-F 可以显著增加胰岛素的分泌,并呈剂量依赖性,起到降血糖的作用。由此可见,活性太子参多糖降糖作用机制主要通过抗氧化应激,改善肌肉细胞和脂肪细胞对胰岛素的抵抗作用,以及修复胰岛 β 细胞损伤、促进胰岛素的分泌,从而起到抗糖尿病的作用,但具体作用的分子机制尚不清晰,有待进一步研究。

3.2 免疫调节作用

太子参多糖可以通过多途径、多层面对机体发挥免疫调节作用,尤其是非特异性免疫。近年来,研究表明在太子参非药用部位茎叶、须根中也存在免疫活性多糖,在畜牧研究方面,太子参茎叶中的多糖能提高断奶仔猪血清免疫指标^[34]和肠道免疫功能^[35]。此外,太子参茎叶多糖还能提高环磷酰胺(cyclophosphamide, CY)所致免疫抑制小鼠的免疫功能^[36]、促进小鼠免疫器官的发育^[37]、通过调控细胞因子 mRNA 表达来改变细胞因子分泌量^[38]等来进行免疫调节。太子参须根中多糖含量虽不及块根,但其同样保有免疫活性的价值。陈小英等^[39]对太子参须多糖的提取进行研究,发现其能通过提高巨噬细胞的免疫活性调节小鼠免疫功能,从而增强机体的抗炎能力。衣伟萌等^[40]研究发现,太子参须提取物能干预 CY 损伤、维持巨噬细胞的吞噬能力、促进 T 淋巴细胞增殖、拮抗 CY 造成的免疫球蛋白和补体分泌水平降低,从而对免疫抑制小鼠发挥免疫保护作用。付杨等^[41]研究发现太子参须散及其多糖均可改善脾虚大鼠的免疫功能。由此可见,目前太子参免疫活性研究多集中在非药用部位,扩大了太子参免疫活性多糖的来源,也为太子参茎叶、须根的开发应用提供了更多有利证据。此外,硒化修饰太子参多糖的方法可以显著提升其免疫活性^[42],促进太子参免疫活性多糖的开发应用,但具体的有效硒化方法有待进一步研究。

3.3 心肌保护作用

近年来,药理学研究发现炎症、抗氧化应激、心肌缺血缺氧等致病因素除了会引起心肌细胞损伤,可能还会引起心肌细胞凋亡。早期研究发现太子参多糖主要是保护心肌细胞坏死为主,陶玲等^[43]发现太子参多糖对急性心肌梗死诱发心肺损伤有治疗作用,可以保护心肌细胞坏死。然而,太子参多糖还可能以保护心肌细胞凋亡发挥作用。孙弼等^[44]研究了太子参多糖对缺血再灌注损伤模型大鼠心肌细胞凋亡的影响,更深一步探讨其是否对心肌细胞凋亡具有抑制作用及其可能的作用。值得注意的是,在太子参

多糖心肌保护作用的研究中,与糖尿病心肌病的病理生理机制存在一致性,太子参多糖很有可能通过相似的靶点和途径发挥治疗多种疾病的作用。

3.4 其他作用

太子参多糖还具有改善记忆的作用^[45]。此外,有研究发现太子参活性多糖 H-1-2 可以通过抑制缺氧诱导的 AGR2 表达来抑制胰腺癌^[46]。

4 太子参多糖生物合成的影响因素

太子参多糖含量因太子参种质、生长环境和生长发育的不同有很大差别,因此其生物合成同样受制于这 3 大影响因素。在种质方面,种质受生长环境变化的影响较大,太子参多糖含量栽培环境>野生环境^[47]>组培环境^[19],对太子参栽培区种质进行筛选和优化表明,SB-02、SB-03、XZ-01^[48],ZT-01、ZT-02^[49]、“柘参 3 号”^[50]、“施太 1 号”、S 品种^[51]等是高多糖品种筛选的潜在材料;在环境方面,不同产地的太子参多糖含量有着一定的差异^[52],与产区的土壤^[53]、气候^[54]、海拔高度^[55]等环境因素有关;在生长发育方面,太子参不同部位的多糖含量有明显的区别^[56],其多糖积累的最佳采收期主要与采收部位^[57]及生长环境^[58]和块茎膨大^[59]等有关。常规的太子参多糖积累最佳时期是 6、7 月,此段时间内随着采收期的推迟多糖含量会下降^[60]。太子参药材多糖含量与以上因素有极大的联系,这些因素之间往往相互影响,极为复杂且不可控。相较之下,人为因素在影响太子参药材多糖含量方面多可控,例如,在加工贮藏中,阴干的多糖含量最高,烘干最低^[60],随着贮藏时间延长,多糖含量降低^[47]。

太子参多糖作为次生代谢合成的天然化合物,具有种类繁多、生物合成机制复杂的特点。目前除了控制以上影响因素以调控太子参多糖生物合成外,最有效的方法是利用现代基因工程技术去研究其代谢通路相关基因。陈杰等^[61]通过基因技术克隆了太子参多糖合成酶基因,为研究太子参多糖生物合成的基因表达调控通路奠定基础。

5 结论与展望

太子参多糖是太子参发挥功效及保健养身功能的重要成分,其药用和食用价值在社会人群中已得到普遍认可。目前水提醇沉、超声波、超高压、蒸汽爆破以及纤维素酶等技术已被应用于太子参多糖的提取工艺研究,提取率分别高达 21.71%、23.80%、37.56%、39.32%、28.90%。太子参多糖的分离和纯化一般经由脱色、脱蛋白、透析脱盐以及组分分离等步骤。太子参多糖具有显著的抗糖尿病、免疫调节、心肌保护等多种主要的生物活性,其生物效应尤其是抗糖尿病活性与分子量和空间结构之间的关联已有初步研究成果。由于太子参多糖研究内容是太子参相关研

究的重中之重,关于太子参多糖的提取纯化、结构特征、药理活性及生物合成等基础研究必会不断深入而全面,相信未来太子参多糖在保健食品、药品方面会有广阔的开发和应用前景。

太子参多糖的构效关系和生物合成还有许多方面存在欠缺:(1)太子参多糖结构组成相关研究在单糖排列顺序、单糖之间的连接方式以及结构与生物活性的关联性等方面还不够深入,限制了太子参活性多糖的进一步研发,未来研究需在此方向进行深入挖掘,可重点关注太子参活性多糖的高级结构、活性中心和活性片段,更为准确地阐明其构效关系。(2)由于太子参多糖分子结构的复杂性,不同的提取纯化过程获得的太子参多糖的结构和生物活性有所不同。未来应进一步优化活性太子参多糖的提取和分离纯化流程,以确保太子参活性多糖的一致性和可重复性,为太子参多糖的结构、活性研究以及开发应用打下坚实的基础。(3)太子参多糖的生物合成不仅受种质、生长发育和环境等多种复杂因素的相互影响,其生物合成过程中还涉及单糖、双糖、纤维素、果胶等多种物质的合成及聚合,由一系列关键酶基因参与,因此阐明其生物合成机制具有一定的难度。未来需更深层次、分类揭示活性太子参多糖的合成机制,研究其分子调控的模式,为太子参进一步的开发与利用提供参考。

参考文献

- [1] 梁婷婷,周英,林冰,等.太子参多糖的水提醇沉工艺研究[J].山地农业生物学报,2013,32(1):79-82.
LIANG TT, ZHOU Y, LIN B, *et al.* Polysaccharide extraction from *Radix pseudostellariae* with water extracting-ethanol precipitation method [J]. J Mount Agric Biol, 2013, 32(1): 79-82.
- [2] 吴斌,谢勇,林秀洁,等.太子参粗多糖的提取及其除蛋白方法研究[J].福建农业学报,2013,28(6):589-592.
WU B, XIE Y, LIN XJ, *et al.* Extraction and deproteinization technology for crude polysaccharides in *Radix pseudostellariae* [J]. Fujian J Agric Sci, 2013, 28(6): 589-592.
- [3] 马世蓉,陈杰,曾忠良.正交实验优化太子参须多糖的提取工艺研究[J].现代盐化工,2018,45(2):108-110.
MA SR, CHEN J, ZENG ZL. Research on extraction and purification of polysaccharides from the fibrous root of *Pseudostellariae heterophylla* [J]. Mod Salt Chem Ind, 2018, 45(2): 108-110.
- [4] 檀新珠,陈语嫣,蔡旭滨,等.太子参茎叶多糖的提取及其对小鼠免疫活性的影响[J].中国兽医学报,2018,38(3):556-563.
TAN XZ, CHEN YY, CAI XB, *et al.* Extracting of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharides, effecting on the immunological activity in mice [J]. Chin J Vet Sci, 2018, 38(3): 556-563.
- [5] 王西龙,王允,毕研平,等.太子参多糖提取工艺优选[J].现代医药卫生,2006,(7):964-966.
WANG XL, WANG Y, BI YP, *et al.* Optimizing technology on the extraction of medicinal active component polysaccharide from *Radix pseudostellariae* [J]. Mod J Med Health, 2006, (7): 964-966.
- [6] 林志娟,陈永,尤丽彤,等.响应面法优化超声辅助提取太子参多糖工艺研究[J].天然产物研究与开发,2013,25(6):846-850.
LIN ZJ, CHEN Y, YOU LT, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction conditions of polysaccharides from *Radix pseudostellariae* by response surface methodology [J]. Nat Prod Res Dev, 2013, 25(6): 846-850.
- [7] 赵卫星.超声波提取太子参多糖工艺的优化[J].时珍国医国药,2012,23(8):1972-1973.
ZHAO WX. Optimization of extraction technology of polysaccharides from *Radix pseudostellariae* with ultrasonic [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2012, 23(8): 1972-1973.
- [8] 刘东,张春红,陈鑫,等.太子参多糖提取方法对比研究及工艺优化[J].安徽农业科学,2014,42(35):12469-12471.
LIU D, ZHANG CH, CHEN X, *et al.* Optimization of extraction process and contrastive study of polysaccharides from *Radix pseudostellariae* [J]. J Anhui Agri Sci, 2014, 42(35): 12469-12471.
- [9] 方文清,孔玉婷,安凤平,等.响应面法优化太子参渣中多糖提取工艺研究[J].免疫学杂志,2018,34(9):791-798.
FANG WQ, KONG YT, AN FP, *et al.* Optimization of response surface method for polysaccharides extraction from *Radix pseudostellariae* residues [J]. Immunol J, 2018, 34(9): 791-798.
- [10] 潘兴桥,李建萍,荆旭慧,等.超高压技术提取太子参多糖的工艺研究[J].宁夏农林科技,2012,53(11):93-95.
PAN XQ, LI JP, JING XH, *et al.* Study on technology of extracting polysaccharides from *Radix pseudostellariae* by ultra high pressure [J]. Ningxia J Agric Forest Sci Technol, 2012, 53(11): 93-95.
- [11] PAN UQ, ZHANG ZK, ZHANG YD, *et al.* Optimization of steam explosion process condition for extracting polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* by response surface methodology [J]. Agric Sci Technol, 2020, 21(2): 41-46.
- [12] 阙永军,施萍萍,蒋畅,等.不同提取方法对太子参多糖含量的影响[J].中国民族民间医药,2019,28(14):41-43.
KAN YJ, SHI PP, JIANG C, *et al.* Effect of different extraction methods on content of polysaccharide from *Pseudostellariae heterophylla* [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2019, 28(14): 41-43.
- [13] 李玲,杨兴月,王俊丽,等.纤维素酶法提取太子参块根粗多糖工艺的优化[J].食品工程,2021,(2):30-32.
LI L, YANG XY, WANG JL, *et al.* Optimization of the extraction process of crude polysaccharides from *Pseudostellariae radix* tuber roots by cellulase [J]. Food Eng, 2021, (2): 30-32.
- [14] BAI LL, ZHU PL, WANG WB, *et al.* The influence of extraction pH on the chemical compositions, macromolecular characteristics, and rheological properties of polysaccharide: The case of okra polysaccharide [J]. Food Hydrocolloid, 2020, 102: 105586.
- [15] 王慧娟,乔杨,晏薇娜,等.太子参多糖的提取纯化及其单糖组分的鉴定[J].贵州大学学报(自然科学版),2017,34(3):25-29.
WANG HJ, QIAO Y, YAN WN, *et al.* Extraction, purification and monosaccharide composition analysis of polysaccharides from *Radix pseudostellariae* [J]. J Guizhou Univ (Nat Sci Ed), 2017, 34(3): 25-29.
- [16] HU J, PANG WH, CHEN JL, *et al.* Hypoglycemic effect of polysaccharides with different molecular weight of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. BMC Complem Altern Med, 2013, 13(1): 1-9.
- [17] 史文涛,庞文生,胡娟.高效凝胶色谱法测定太子参均一多糖分子量

- [J]. 中国民族民间医药, 2015, 24(2): 20, 30.
- SHI WT, PANG WS, HU J. Determination of molecular size of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide by HPGPC [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2015, 24(2): 20, 30.
- [18] 郭守斌. 柱前衍生超高效液相色谱法分析太子参多糖中单糖的组成[J]. 中国现代医学杂志, 2016, 26(23): 37–41.
- GUO SB. Analysis of monosaccharide composition of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharides by pre-column derivatization ultra performance liquid chromatography [J]. China J Mod Med, 2016, 26(23): 37–41.
- [19] 夏和先, 陈乃东, 姚厚军, 等. 不同种源的太子参多糖含量及其单糖组成 GC-MS 研究[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(4): 542–546.
- XIA HX, CHEN ND, YAO HJ, *et al.* Contents and mono-saccharide compositions of polysaccharides from different origins of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Nat Prod Res Dev, 2016, 28(4): 542–546.
- [20] CHEN JL, PANG WS, SHI WT, *et al.* Structural elucidation of a novel polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* and stimulating glucose uptake in cells and distributing in rats by oral [J]. Molecules, 2016, 21(9): 1233.
- [21] 杨斌, 庞文生, 胡娟. 太子参均一多糖的分离与表征[J]. 中国民族民间医药, 2017, 26(4): 11–12.
- YANG B, PANG WS, HU J. Isolation and characterization of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2017, 26(4): 11–12.
- [22] 栗园. 太子参抗 T2DM 活性部位均一多糖的分离、结构表征及其吸收特征研究[D]. 福州: 福建中医药大学, 2018.
- LI Y. Study on the separation, structure characterization and absorption of anti-T2DM polysaccharides in *Radix pseudostellariae* [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2018.
- [23] CHEN JL, PANG WS, KAN YJ, *et al.* Structure of a pectic polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* and stimulating insulin secretion of INS-1 cell and distributing in rats by oral [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 106: 456–463.
- [24] DENG Y, HAN BX, HU DJ, *et al.* Qualitation and quantification of water soluble non-starch polysaccharides from *Pseudostellaria heterophylla* in China using saccharide mapping and multiple chromatographic methods [J]. Carbohydr Polym, 2018, 199: 619–627.
- [25] 王慧娟, 乔杨, 张敏, 等. HPLC 法测定太子参药材中多糖水解产物单糖的含量[J]. 中国民族民间医药, 2021, 30(15): 36–42.
- WANG HJ, QIAO Y, ZHANG M, *et al.* Content determination of monosaccharides in polysaccharide hydrolysate from *Radix pseudostellariae* by HPLC [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2021, 30(15): 36–42.
- [26] 居靖, 夏伦祝, 徐先祥. 太子参多糖对糖尿病大鼠降糖作用机制的研究[J]. 中国基层医药, 2010, (14): 1909–1910.
- JU J, XIA LZ, XU XX. The mechanism of *Pseudostellaria* polysaccharides decreasing leptin level on diabetic rats [J]. Chin J Prim Med Pharm, 2010, (14): 1909–1910.
- [27] 徐锦龙, 徐爱仁, 应景艳, 等. 太子参多糖对实验性糖尿病大鼠血糖及胰岛素的影响[J]. 中华中医药学刊, 2012, 30(2): 423–424.
- XU JL, XU AIR, YING JY, *et al.* Effect of *Pseudostellaria* polysaccharides on glucose and in sulin metabolism on diabetic rats [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2012, 30(2): 423–424.
- [28] 倪受东, 夏伦祝, 徐先祥, 等. 太子参多糖对四氧嘧啶糖尿病小鼠的治疗作用[J]. 安徽医药, 2010, 14(5): 521–522.
- NI SD, XIA LZ, XU XX, *et al.* Effect of *Pseudostellaria* polysaccharides in diabetic mice by alloxan [J]. Anhui Med Pharm, 2010, 14(5): 521–522.
- [29] 徐先祥, 黄玉香, 夏伦祝, 等. 太子参多糖对糖尿病小鼠抗氧化能力与胰腺病理的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 392–393.
- XU XX, HUANG YX, XIA LZ, *et al.* Effect of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharides on anti-oxidation capacity and pancreatic pathology of diabetic mouse [J]. Sci Technol Food Sci, 2012, 33(24): 392–393.
- [30] 王琪, 柴单单, 吴晓华, 等. 太子参多糖减轻高脂诱导的小鼠肝脏胰岛素抵抗[J]. 中国病理生理杂志, 2015, 31(4): 685–689.
- WANG Q, CHAI DD, WU XH, *et al.* *Radix pseudostellariae* polysaccharide attenuates high fat diet induced hepatic insulin resistance in mice [J]. Chin J Pathophysiol, 2015, 31(4): 685–689.
- [31] 杨含艳. 太子参多糖及姜黄素激活 Nrf2 缓解胰岛素抵抗作用机制研究[D]. 福州: 福建中医药大学, 2015.
- YANG HY. Mechanistic studies of *Pseudostellariae* polysaccharide and curcumin in activating Nrf2 to alleviate insulin resistance [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2015.
- [32] 王林莉, 庞文生, 胡娟. 太子参多糖治疗大鼠糖尿病足溃疡研究[J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(3): 13–17.
- WANG LL, PANG WS, HU J. Study on the treatment of diabetic foot ulcer with polysaccharide from *Pseudostellaria heterophylla* in rats [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2020, 29(3): 13–17.
- [33] FANG ZH, DUAN XC, ZHAO JD, *et al.* Novel polysaccharide H-1-2 from *Pseudostellaria heterophylla* alleviates type 2 diabetes mellitus [J]. Cell Physiol Biochem, 2018, 49(3): 996–1006.
- [34] 蔡旭滨, 陈凌峰, 吴晓晴, 等. 太子参茎叶多糖联合枯草芽孢杆菌对断奶仔猪生长性能及免疫功能的影响[J]. 家畜生态学报, 2017, 38(11): 32–37.
- CAI XB, CHEN LF, WU XQ, *et al.* Effects of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharide combined with *Bacillus subtilis* on growth performance, immune function and biochemical index in weaned piglets [J]. J Domest Anim Ecol, 2017, 38(11): 32–37.
- [35] 陈凌峰, 蔡旭滨, 檀新珠, 等. 太子参茎叶多糖对断奶仔猪肠道免疫功能、肠黏膜形态结构及盲肠内容物菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(3): 1012–1020.
- CHEN LF, CAI XB, TAN XZ, *et al.* Effects of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharide on intestinal immune function, intestinal mucosal morphology and cecum contents flora of weaned piglets [J]. Chin J Anim Nutr, 2017, 29(3): 1012–1020.
- [36] 檀新珠, 陈语嫣, 陈赛红, 等. 太子参茎叶多糖对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(12): 2134–2140.
- TAN XZ, CHEN YY, CHEN SH, *et al.* Effects of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharide on immune function of immunosuppressed mice [J]. Nat Prod Res Dev, 2017, 29(12): 2134–2140.
- [37] 檀新珠, 吴晓晴, 吕明其, 等. 太子参茎叶多糖对小鼠免疫器官指数和血清免疫球蛋白、补体含量的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, 46(5): 590–594.
- TAN XZ, WU XQ, LV MQ, *et al.* Effect of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharides on immune organ index and immunoglobulin, complement in serum of mice [J]. J Fujian Univ Agric Forest (Nat Sci Ed), 2017, 46(5): 590–594.
- [38] 檀新珠, 陈赛红, 陈俊宇, 等. 太子参茎叶多糖对小鼠脾淋巴细胞因子

- 含量及对细胞因子和转录因子 mRNA 表达量的影响[J]. 中国兽医学, 2018, 48(1): 124–129.
- TAN XZ, CHEN SH, CHEN JY, *et al.* Effects of *Radix pseudostellariae* stem and leaf polysaccharide on contents of cytokines and mRNA expression of cytokines and transcription factors in spleen lymphocytes of mice [J]. Vet Sci China, 2018, 48(1): 124–129.
- [39] 陈小英, 曾晏萍, 刘汉儒, 等. 太子参须多糖粗提物对小鼠免疫功能的调节作用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 56–64.
- CHEN XY, ZENG YP, LIU HR, *et al.* Effects of crude polysaccharides from *Radix pseudostellariae* on immunoregulation function in mice [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2020, 42(4): 56–64.
- [40] 衣伟萌, 陈赛红, 闵思明, 等. 太子参须提取物对免疫抑制小鼠免疫保护作用的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(5): 837–844.
- YI WM, CHEN SH, MIN SM, *et al.* Study on the immunoprotective effects of *Radix pseudostellariae* fibrous root extraction in immunosuppressed mice [J]. Nat Prod Res Dev, 2020, 32(5): 837–844.
- [41] 付杨, 张涵雨, 安志龙, 等. 太子参须散及其多糖对脾虚大鼠免疫功能的影响[J]. 中兽医医药杂志, 2021, 40(4): 12–15.
- FU Y, ZHANG HY, AN ZL, *et al.* Effects of *Pseudostellaria heterophylla* fibrous root powder and the polysaccharide on immune function of spleen efficiency rats [J]. Chun J Tradit Chin Vet Med, 2021, 40(4): 12–15.
- [42] 宋玉龙, 丘富安, 吴秀钦, 等. 硒化修饰太子参多糖对免疫损伤小鼠的免疫保护作用[J]. 中国兽医学, 2017, 37(7): 2163–2180.
- SONG YL, QIU FAN, WU XQ, *et al.* Immunoprotection effect of selenium *Radix pseudostellariae* polysaccharide on immune injured mice [J]. Chin J Vet Sci, 2017, 37(7): 2163–2180.
- [43] 陶玲, 彭佼, 范晓飞, 等. 太子参粗多糖对大鼠急性心肌梗死诱发心肺损伤的保护作用[J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(8): 2079–2082.
- TAO L, PENG J, FAN XF, *et al.* Protective effects of crude polysaccharides from *Radix pseudostellariae* on rat experimental cardiopulmonary injury induced by acute myocardial infarction *in vivo* [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2012, 27(8): 2079–2082.
- [44] 孙弼, 宛蕾, 林晓坚, 等. 太子参多糖对缺血再灌注损伤模型大鼠心肌细胞凋亡的抑制作用研究[J]. 中国药房, 2018, 29(16): 2175–2179.
- SUN B, WAN L, LIN XJ, *et al.* Study on the inhibitory effects of *Pseudostellaria heterophylla* polysaccharide on myocardial apoptosis of ischemia-reperfusion injury model rats [J]. China Pharm, 2018, 29(16): 2175–2179.
- [45] 李志华. 太子参多糖对东莨菪碱所致小鼠记忆障碍的改善作用[J]. 泰山医学院学报, 2009, 30(9): 673–675.
- LI ZH. Effects of *Pseudostellaria* polysaccharide on mice with learning and memory acquisition impairment induced by scopolamine [J]. J Taishan Med Coll, 2009, 30(9): 673–675.
- [46] SUN HW, SHI KQ, QI K, *et al.* *Pseudostellaria heterophylla* extract polysaccharide H-1-2 suppresses pancreatic cancer by inhibiting hypoxia-induced AG2 [J]. Mol Ther Oncolytics, 2020, 17: 61–69.
- [47] 强静, 房克慧, 刘训红, 等. 太子参多糖含量分析及其动态研究[J]. 时珍国医国药, 2009, 20(9): 2238–2240.
- QIANG J, FANG KH, LIU XH, *et al.* Study on the dynamic change of polysaccharide content in *Radix pseudostellariae* [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2009, 20(9): 2238–2240.
- [48] 杨昌贵, 江维克, 周涛, 等. 不同种源太子参中多糖和氨基酸含量的比较研究[J]. 中国现代中药, 2014, 16(1): 32–37.
- YANG CG, JIANG WK, ZHOU T, *et al.* Comparative analysis of polysaccharide and amino acid content in different provenances of *Pseudostellaria heterophylla* from Guizhou province [J]. Mod Chin Med, 2014, 16(1): 32–37.
- [49] 熊厚溪, 周涛, 江维克, 等. 基于表型性状和药材品质的 8 个贵州太子参品系的筛选与评价[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(21): 4197–4204.
- XIONG HX, ZHOU T, JIANG WK, *et al.* Breeding on eight strains of *Pseudostellaria heterophylla* based on phenotypic traits and quality in Guizhou province [J]. China J Chin Mater Med, 2014, 39(21): 4197–4204.
- [50] 林巧美, 庞文生, 曾洁, 等. 福建柘荣不同品种太子参浸出物及多糖含量测定[J]. 中国民族民间医药, 2019, 28(3): 21–23.
- LIN QM, PANG WS, ZENG J, *et al.* Experimental study on the extracts and polysaccharides of different varieties of *Pseudostellaria heterophylla* from Zherong, Fujian province [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2019, 28(3): 21–23.
- [51] 肖承鸿, 周涛, 江维克, 等. 太子参新品种“施太 1 号”药材品质比较研究[J]. 中药材, 2017, 40(3): 511–517.
- XIAO CH, ZHOU T, JIANG WK, *et al.* Comparative study on medicinal quality of *Pseudostellaria heterophylla* new variety “Shitai No.1” [J]. J Chin Med Mater, 2017, 40(3): 511–517.
- [52] 宋李桃, 刘贵先, 林洲, 等. 不同产地太子参多糖含量测定和对小鼠抗应激作用研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2014, 16(3): 25–27.
- SONG LT, LIU GX, LIN Z, *et al.* Experimental study on anti-stress function and content determination of *Radix pseudostellariae* from different habitats [J]. J Liaoning Univ Tradit Chin Med, 2014, 16(3): 25–27.
- [53] 康传志, 周涛, 江维克, 等. 土壤基本养分及无机元素对栽培太子参药材质量的影响[J]. 中药材, 2015, 38(4): 674–678.
- KANG CZ, ZHOU T, JIANG WK, *et al.* Effect of basic soil nutrients and inorganic elements on quality of *Pseudostellaria heterophylla* root [J]. J Chin Med Mater, 2015, 38(4): 674–678.
- [54] 刘帮艳. 不同有机质含量的壤土环境对两种太子参生长、产量与品质的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- LIU BY. Effects of different organic matter content of the soil environment on the growth, yield and quality of two kinds of *Radix pseudostellariae* [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018.
- [55] 罗忠圣, 黄秀萍, 周镁, 等. 贵阳市商品太子参多糖的提取及含量测定[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6251–6253.
- LUO ZS, HUANG XP, ZHOU M, *et al.* Extraction and content determination of polysaccharide in Guiyang commercial available *Radix pseudostellariae* [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(14): 6251–6253.
- [56] 罗国海, 盛柳青, 张秋霞, 等. 太子参药材主根与参尾的多糖含量比较[J]. 中国中医药信息杂志, 2006, (11): 50–51.
- LUO GH, SHENG LQ, ZHANG QX, *et al.* Comparison of the content of polysaccharide in the body and in the root of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2006, (11): 50–51.
- [57] 丁春花, 林培玲, 曾建伟, 等. 太子参块根和参须中多糖及总皂苷含量的测定[J]. 福建中医药大学学报, 2012, 22(3): 40–43.
- DING CH, LIN PL, ZENG JW, *et al.* Determination of polysaccharides and total saponins in root tuber and fibrous root of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. J Fujian Univ Tradit Chin Med, 2012, 22(3): 40–43.
- [58] 闫亮, 秦民坚, 贺定翔, 等. 太子参多糖及皂苷的积累动态研究[J]. 现

代中药研究与实践, 2005, (6): 10–13.

YAN L, QIN MJ, HE DX, *et al.* Accumulative trends of polysaccharides and saponins from *Pseudostellaria heterophylla* in different seasons [J]. Res Pract Chin Med, 2005, (6): 10–13.

- [59] 韩超. 太子参中有效成分的分离纯化、结构鉴定、及其指纹图谱研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2006.

HAN C. The isolation, purification and structure identification of the effective components in *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax and the study of the fingerprinting [D]. Xiamen: Xiamen University, 2006.

- [60] 吴玉香, 王汉琪, 沈少炎, 等. 不同处理对太子参产量及活性成分的影响[J]. 福建农业学报, 2017, 32(1): 51–55.

WU YX, WANG HQ, SHEN SY, *et al.* Effect of harvest, processing and cropping on productivity and active ingredient content of *Pseudostellaria heterophylla* [J]. Fujian J Agric Sci, 2017, 32(1): 51–55.

- [61] 陈杰, 郑伟, 肖承鸿. 太子参多糖合成关键酶基因的克隆、序列分析及对赤霉素的响应[J]. 中药材, 2020, 43(1): 28–33.

CHEN J, ZHENG W, XIAO CH. Cloning and sequence analysis of key enzyme genes for polysaccharide synthesis of *Pseudostellaria*

heterophylla and the response to gibberellin [J]. J Chin Med Mater, 2020, 43(1): 28–33.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介

王崇敏, 硕士研究生, 主要研究方向为中药、民族药资源分类鉴定和质量控制。
E-mail: 3464471705@qq.com

李 军, 博士, 副教授, 主要研究方向为植物分子生物学及分子生药学研究。
E-mail: speker@163.com