

黄精多糖的生物活性及其药理作用综述

周建波, 李晶, 张梅*

(成都中医药大学 药学院, 四川 成都 611130)

摘要: 中医药在我国有悠久的历史, 为医学事业的发展作出了重大贡献。黄精是一种天然药用植物, 其具有多种成分, 其中多糖在以黄精为基础的方剂中发挥着重要作用。因此, 综述了黄精多糖的抗氧化、抗衰老、抗疲劳、抗菌和抗过敏及增强免疫力等方面的生物活性, 同时阐述其对阿尔茨海默病、糖尿病、血脂异常和动脉粥样硬化、骨质疏松、肿瘤等疾病的药理作用。

关键词: 中药材; 黄精; 多糖; 生物活性; 药理作用

中图分类号: R282.72 文献标识码: A 文章编号: 1674-5639 (2020) 03-0093-06

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2020.03.020

Overview on Biological Activity and Pharmacological Effects of Polysaccharide in *Polygonatum sibiricum*

ZHOU Jianbo, LI Jing, ZHANG Mei*

(College of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu, Sichuan, China 611130)

Abstract: Traditional Chinese medicine has a long history in China, and has made great contributions to the medical career. *Polygonatum sibiricum* is a kind of natural medicinal plant with many components among which Polysaccharide plays an important role in the formulation based on *Polygonatum sibiricum*. In this paper, we discussed its biological activity in antioxidant, anti-aging, anti-fatigue, antibacterial, anti-allergy, and immunity raising activities and its pharmacological effect on Alzheimer's disease, diabetes, Dyslipidemia, Atherosclerosis, Osteoporosis and cancer.

Key words: traditional Chinese medicine; *Polygonatum sibiricum*; polysaccharide; biological activity; pharmacological effect

2015年《中国药典》修订版规定, 黄精药材是黄精 (*Polygonatum sibiricum*, PS) 的干燥根茎。其来自百合科植物, 主要分布于北半球的温带地区, 如亚洲的中国、日本、韩国、印度等国, 以及欧洲和北美洲的一些国家^[1-3]。我国具有丰富的黄精资源, 且PS具有香甜的香气和口感, 已成为我国传统中草药、功能性食品和保健品^[4-6]。目前其许多药理应用和生物活性已被报道, 如抗氧化活性和抗衰老活性等。此外, 黄精还具有增强免疫力、神经保护、抗糖尿病、抗疲劳、抗癌、抗骨质疏松等作用^[1,7-9], 已被广泛用于治疗疲劳、虚弱、糖

尿病(DM)、咳嗽、消化不良、食欲不振、性功能障碍、背痛和剧烈疼痛等。有文献[1, 10]综述了PS的化学成分、生物活性和食品用途, 但是对黄精多糖的生物活性及其药理作用整理归纳较少。由于其多样的生物活性归因于多种成分的存在, 如生物碱、芳酮、甾体皂苷、木质素、氨基酸和多糖 (*Polygonatum sibiricum* polysaccharide, PSP)^[5,8,11-12], 而PSP被认为是黄精最重要的活性化合物之一^[13], 是其甜味的主要贡献来源, 它可使食物更容易被人们接受^[14]。目前, PSP广泛应用于心血管疾病和其他疾病的治疗^[15-20]。总之,

收稿日期: 2019-12-26

基金项目: 成都中医药大学科技发展基金资助项目(ZRQN1652); 成都中医药大学基金资助项目(20180621)。

作者简介: 周建波(1999—), 男, 四川南充人, 在读硕士, 主要从事中药化学研究。

*通讯作者: 张梅(1980—), 女, 四川成都人, 教授, 硕士生导师, 主要从事中药化学及中药质量标准研究,

E-mail: edutem_zhou@163.com.

黄精在中医药和人们的生活中已被广泛使用，且黄精多糖在黄精成分中扮演着重要的角色。

1 黄精多糖的化学组成

通过对 PSP 的化学组成、成分测定、结构分析及功能活性测试研究^[21]，结果表明，PSP 由单糖组成，其主要包括甘露糖（Man）、半乳糖（Gal）、葡萄糖（Glc）、果糖（Fru）、阿拉伯糖（Ara）和半乳糖醛酸（Gala）、葡萄糖醛酸（Glcua）^[22]。有研究^[4-5]证实，PSP 粗提取物由碳水化合物（85.1% ~ 88.3%）、蛋白质（4.51% ~ 11.9%）和醛酸（1.79% ~ 7.47%）组成，包括不同质量分数的 Man（62.3% ~ 76.3%）、谷氨酸（15.2% ~ 20.3%）、Gal（4.35% ~ 15.3%）和 Ara（4.00% ~ 7.65%）^[23]。此外，还有研究^[24]显示，Gal 和鼠李糖（Rha）是 PSP 的主要成分，而 PSP 中 Man, Glc, Xyl（木糖）的含量较少。

2 生物活性

2.1 抗氧化活性与抗衰老

许多研究^[19,25-26]表明，PSP 能显著降低骨骼肌和血清中丙二醛（MDA）含量，降低自由基活性，增强超氧化物歧化酶（SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性。此外，PSP 不仅能增加小鼠脑细胞 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ -ATP 酶和 Ca^{2+} -ATP 酶活性，而且可以通过 Ca^{2+} 超载来预防衰老，也能降低脂质过氧化物（LPO）、脂褐素（LF）和 B 型单胺氧化酶（MAO-B）的水平，从而增强机体的抗损伤和抗衰老作用^[26-27]。李超彦等^[26]研究显示，PSP 还可通过改善肝线粒体的能量代谢，降低 DNA 聚合酶 γ mRNA 的表达，增强呼吸链酶复合物的活性而赋予抗衰老作用。宰青青等^[28]研究表明，PSP 可提高细胞端粒酶活性和血清抗氧化水平，保护衰老大鼠受损的内皮祖细胞（EPCs）。

2.2 抗疲劳功能

近年来，PSP 作为一种新的天然抗疲劳物质已受到许多研究者^[29-31]的关注。有研究^[32]证实，PSP 可能具有增加机能和抗疲劳功能。PSP 还可降低血乳酸和血清尿素氮，并促进肝脏糖原和肌肉糖原分解，减轻疲劳^[26,33]。研究^[19-20]表明，PSP 能明显延长小鼠游泳时间，提高小鼠的运动耐力，增强其抗疲劳作用。

2.3 免疫增强效应

大量研究^[7,19,21,34-37]显示，PSP 可以提高小鼠的免疫功能。吴柳花等^[19]研究表明，与环磷酰胺（CY）治疗组相比，PSP 治疗组表现出对 RAW264.7 巨噬细胞生成的刺激。此外，小鼠的脾脏和胸腺指数的恢复明显加快。PSP 不仅能增强 T 和 B 细胞增殖反应及腹腔巨噬细胞吞噬功能，还可恢复用环磷酰胺依赖治疗的白细胞介素 2（IL-2），8（IL-8），10（IL-10）及肿瘤坏死因子（TNF- α ）的水平。综上所述，由于免疫系统中最常见的变化是胸腺退化和 T 淋巴细胞减少，因此 PSP 可作为一种免疫刺激剂，用于保护 CY 治疗小鼠的免疫抑制^[7]。实验^[35]发现，涉及 CD_4^+ 和 CD_8^+ 亚群及其介导的免疫应答的总 T 细胞（ CD_3^+ ）的绝对数量显示出年龄依赖性下降。与对照组相比，在 CY 诱导的免疫抑制小鼠中，PSP 治疗显著逆转了胸腺和脾脏质量（重量）的下降^[35-36]。此外，PSP 能有效诱导 RAW264.7 小鼠巨噬细胞释放一氧化氮、肿瘤坏死因子、白细胞介素 1（IL-1 β ）和 6(IL-6)，激活自然杀伤细胞（NK）产生 TNF- α 和 INF- γ 、颗粒酶 B、穿孔素、NKG2D 及 FasL 等信号通路，诱导巨噬细胞和 NK 细胞的免疫增强效应^[37]。

2.4 抗菌和抗过敏

曹冠华等^[38]、Crews 等^[39]研究表明，PSP 对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌、沙门氏菌、副伤寒杆菌、葡萄球菌、链霉菌微球菌（AVS）和酿酒酵母均有抑菌作用。另一实验^[40]证实，PSP 对大肠杆菌（*E. coli*）的最低抑菌质量浓度（MIC）为 0.02 g/mL，对金黄色葡萄球菌和黄体葡萄球菌的最低抑菌质量浓度为 0.01 g/mL。此外，PSP 能抑制大肠杆菌、枯草杆菌和金黄色葡萄球菌，其 MIC 分别为 1.23, 0.98, 1.31 mg/mL。先前研究^[19]表明，PSP 还可以抑制二甲苯引起的耳朵肿胀，该作用的机制可能涉及降低血清中的炎症介质水平。

3 药理作用

3.1 阿尔茨海默病

许多研究^[39-41]证明，阿尔茨海默病（AD）的神经退行性发展是脑细胞的病理状态。体外研究^[4]表明，PSP 预处理能显著降低大鼠 PC12 细胞

(嗜铬细胞瘤细胞)凋亡率, 提高 BAX/BCL-2 比值, 抑制线粒体功能紊乱和细胞色素向胞浆内释放; 用 P13K 抑制剂预处理可消除 PSP 的保护作用。此外, PSP 可抑制 A_β25-35 诱导的 Caspase-3 活化, 提高 PC12 细胞磷酸化 AKT (P-AKT) 蛋白水平。因此, PSP 对 A_β25-35 诱导的 PC12 细胞凋亡的保护作用可能与 P13K/AKT 信号的增强有关, 提示 PSP 能减轻 A_β 诱导的 PC12 细胞神经毒性。另据报道^[42], PSP 可能对 AD 有潜在的治疗作用。

3.2 糖尿病

李超彦等^[26]研究显示, PSP 能降低四氯嘧啶 (ALX) 诱导的糖尿病 (DM) 小鼠血糖水平, 增加胸腺指数、脾脏指数和肝脏指数。同时, PSP 还能降低丙二醛 (MDA) 含量, 增强血清谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 和总超氧化物歧化酶 (T-SOD), 并增加 ALX 诱导的糖尿病小鼠肝组织数量。李志超等^[36]通过实验证实, PSP 对链脲佐菌素 (STZ) 诱导的糖尿病小鼠空腹血糖 (FGB)、糖化血清蛋白 (GSP)、总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG) 水平有显著影响, 其饮水量、进食量、尿量均为实验组低于对照组。此外, PSP 通过促进 Nrf-2 的表达, 减轻炎症细胞因子, 促进 IR-3T3-L1 脂肪细胞对葡萄糖的摄取, 有望成为治疗 T2DM 的潜在药物^[43]。许多研究^[26,44-45]表明, PSP 可降低 STZ 诱导的糖尿病大鼠血糖, 且有一定的保护作用, 其机制可能与其抑制胰岛细胞凋亡、Caspase-3 降低和抑制 iNOS mRNA 活性有关。此外, PSP 还可降低高脂血症动物的 TG 和 TC, 其机制可能与抗氧化、免疫调节或抑制炎症因子有关^[26]。

糖尿病最常见的微血管并发症之一是糖尿病视网膜病变 (DR)。用 PSP 治疗不仅可以减缓 DR 的进展, 而且可以通过降低 STZ 诱导的糖尿病小鼠的高血糖和减少氧化应激而影响白内障形成^[46]。黄精多糖对糖尿病性视网膜损伤具有剂量依赖性的保护作用。PSP 干预可上调 B 细胞淋巴瘤-2 因子的表达, 下调 Bcl-2 相关 X 蛋白、表皮生长因子、p38 丝裂原激活蛋白激酶、血管内皮生长因子和转化生长因子 β 蛋白的表达^[47]。除此之外, 与正常大鼠相比, 用 PSP 治疗的糖尿病大鼠的肠道菌群结构发生了显著变化。口服 PSP 可通过其对肠道微生物群的调节作用来预防 II 型糖尿病^[48]。另外, PSP 可降低血糖和血脂, 减轻 II 型糖尿病的脂肪肝

退行性病变, 这可能与 SREB-1C 和 SCD-1 蛋白的低表达有关^[49]。PSP 还可用于改善糖尿病患者心肌功能障碍, 其机制可能与促进骨形态发生蛋白 7 (BMP-7) 的表达, 以及转化生长因子-β1 (TGF-β1)/SMADS 信号通路有关^[48]。

有研究^[47,50]显示, PSP 可通过减少血糖和脂质及炎症反应, 对 I 型糖尿病心肌损伤产生保护作用, 还可通过降低糖和抑制纤维化来保护糖尿病大鼠的肾脏。

3.3 降血脂和抗动脉粥样硬化作用

在动脉粥样硬化模型中, PSP 的降血脂活性主要是由于 TC、低密度脂蛋白 (LDL-C) 和脂蛋白 (LP (A)) 的调节^[16]。龚莉等^[16]对内皮细胞 (ECS) 研究显示, PSP 不仅影响 ECS 的增殖, 而且保护 ECS 免受 H₂O₂ 和脂多糖 (LPS) 诱导的损伤和凋亡。总之, PSP 的抗动脉粥样硬化作用可能与其降血脂活性、改善主动脉形态功能和减少泡沫细胞数量有关。李友元等^[13]研究表明, PSP 能显著改善血脂、载脂蛋白和内皮功能障碍参数, 对高脂血症诱导的仓鼠动脉粥样硬化具有保护作用。孔瑕等^[51]研究表明, 黄精多糖可显著上调肝脏中 PPAR-α, PPAR-β mRNA 和蛋白表达量, 下调肝脏中 PPAR-γ, SREBP-1c, IL-6, TNF-α mRNA 的表达量, 具有抑制肝脏脂质氧化, 调节与脂类代谢相关基因和蛋白表达的作用, 进而起到防治高脂血症的功效。

3.4 抗骨质疏松作用

PSP 在体内具有抗骨质疏松作用并逆转骨丢失。研究^[52]表明, PSP 可抑制核因子-κB 配体 (RANKL) 诱导的破骨细胞的受体活化, 并在体内对 LPS 诱导的骨溶解起到预防性保护作用。PSP 还可通过 Wnt/β-catenin 通路阻止骨质疏松, 而不影响骨形态发生蛋白 (BMP) 信号通路。另外, PSP 通过增加碱性磷酸酶 (ALP) 活性和成骨细胞分化因子的表达 (如 RUNT 相关转录因子 (Runx2)、骨 GLA 蛋白 (BGP) 和成骨细胞的特征蛋白和主要标志物) 来增强骨髓间充质干细胞 (BMSCs) 的成骨分化^[52-53]。Peng 等^[8]研究表明, PSP 通过信号调节激酶 (ERK)/糖原合成酶 3β (GSK-3β)/β-连环蛋白信号通路促进成骨细胞分化和矿化。Han 等^[54]研究表明, PSP 可以通过增加 BMP 和碱性成纤维细胞生长因子 (BFGF) 来抑制去卵巢大鼠的

骨丢失和预防骨质疏松。

3.5 抗肿瘤作用

PSP 不仅能显著抑制 H22 移植瘤的生长，使细胞在 G0/G1 期停止，增加 Caspase-3, 8, 9 的表达，而且能抑制人乳腺癌细胞（MCF27）、肝癌细胞（HEPS）和小鼠艾氏腹水癌细胞（EAC）肿瘤肿块^[24,55]。有实验^[3]发现，PSP 能使人结直肠癌 HCT-8 细胞、人食管癌 ECA-109 细胞、人胃癌 HGC-27 细胞停留在 S 期促进其凋亡。He 等^[56]研究表明，PSP 能抑制 HeLa 细胞、人乳腺癌 Mda-mb-435 细胞、人白血病 HL-60 细胞和人肺癌 H14 细胞。此外，PSP 可以抑制与前列腺癌相关的成纤维细胞（CAFs）的生长，而不抑制正常成纤维细胞的生长，且 PSP 刺激前列腺 CAFs 自噬并抑制前列腺 CAF 生长，此项重要发现提示了一种新的抗前列腺癌的策略^[54]。还有研究^[57]显示，PSP 能明显抑制人食管癌细胞（Eca 109）细胞的增殖、侵袭和迁移，促进细胞凋亡，这可能与 PSP 通过调节 TLR 4 的表达而抑制 Eca 109 细胞 NF-κB 信号通路有关。

4 小结

黄精作为一种具有广泛应用及发展前景的中药，在我国有着悠久的历史。目前，PS 的研究主要集中在其甾体皂苷和多糖方面。而 PSP 作为其最重要组成部分之一，其各种药理作用和生物活性已越来越受到研究者的关注。此外，PSP 可用于各种循环系统疾病的治疗，如老年痴呆症、低血脂、动脉粥样硬化、骨质疏松症、糖尿病和癌症等。PSP 的这些药理应用和生物活性与其结构有关。然而，目前对单体化合物的药理活性及其作用机制研究仍相对较少。因此，研究时应注意其提取及活性部位分析，并阐明其药效团的基础，为其进一步开发利用提供科学依据。

【参考文献】

- [1] ZHAO P, ZHAO C C, LI X, et al. The genus *Polygonatum*: A review of ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology [J]. *Journal of Ethnopharmacol*, 2017, 214: 274–291.
- [2] ZHANG H X, CAO Y Z, CHEN L X, et al. A polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* attenuates amyloid-β-induced neurotoxicity in PC12 cells [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 117: 879–886.
- [3] YELITHAO K, SURAYOT U, LEE J H, et al. RAW264.7 cell activating glucomannans extracted from rhizome of *Polygonatum sibiricum* [J]. *Preventive Nutrition and Food Science*, 2016, 21 (3): 245–254.
- [4] ZONG S, ZENG G, ZOU B, et al. Effects of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on the osteogenic differentiation of bone mesenchymal stem cells in mice [J]. *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*, 2015, 8 (6): 6169–6180.
- [5] LIU N, DONG Z H, ZHU X S, et al. Characterization and protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide against cyclophosphamide-induced immunosuppression in Balb/c mice [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 107: 796–802.
- [6] 焦勤, 陈黎明, 孙瑞泽, 等. 不同产地黄精主要化学成分比较及主成分分析 [J]. *中药材*, 2016, 39 (3): 519–522.
- [7] 时晓娟, 李朋收, 魏颖, 等. 黄精多糖提取工艺及药理作用研究进展 [J]. *中医药导报*, 2015 (23): 103–105.
- [8] PENG X M, HE J C, ZHAO J M, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide promotes osteoblastic differentiation through the ERK/GSK-3β/β-catenin signaling pathway in vitro [J]. *Rejuvenation Research*, 2018, 21 (1): 44–52.
- [9] CHOPIN J, DELLAMONICA G, BESSON E. C-galactosyl flavones from *Polygonatum multiflorum* [J]. *Phytochemistry*, 1977, 16: 199–211.
- [10] LIU L, DONG Q, DONG X T, et al. Structural investigation of two neutral polysaccharides isolated from rhizome of *Polygonatum sibiricum* [J]. *Carbohydr Polym*, 2007, 70: 304–309.
- [11] ZHU X, LI Q, LU F, et al. Antiatherosclerotic potential of rhizoma polygonati polysaccharide in hyperlipidemia-induced atherosclerotic hamsters [J]. *Drug Res*, 2015, 65: 479–483.
- [12] WANG S Q, WANG B, HUA W P, et al. De novo assembly and analysis of *Polygonatum sibiricum* transcriptome and identification of genes involved in polysaccharide biosynthesis [J]. *Int J Mol Sci*, 2017, 18 (9): 1950–1959.
- [13] 李友元, 邓洪波, 向大雄, 等. 黄精多糖的降血脂及抗动脉粥样硬化作用 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2005, 13 (4): 429–431.
- [14] YANG J X, WU S, HUANG X L, et al. Hypolipidem-

- ic activity and antiatherosclerotic effect of polysaccharide of *Polygonatum sibiricum* in rabbit model and related cellular mechanisms [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2014, 2015 (3): 1–6.
- [15] 陈辉, 冯珊珊, 孙彦君, 等. 3种药用黄精的化学成分及药理活性研究进展 [J]. 中草药, 2015, 46 (15): 2329–2338.
- [16] 龚莉, 向大雄, 隋艳华. 黄精心血管活性部位的筛选 [J]. 中药新药与临床药理, 2007, 18 (4): 301–302.
- [17] 王慧, 袁德培, 曾楚华, 等. 黄精的药理作用及临床应用研究进展 [J]. 湖北民族学院学报(医学版), 2017, 34 (2): 58–60.
- [18] 马怀芬, 方欢乐, 刘卓越. 黄精多糖抗疲劳作用的研究 [J]. 现代交际, 2017 (9): 190.
- [19] 吴柳花, 吕圭源, 李波, 等. 黄精对长期超负荷游泳致阴虚内热模型大鼠的作用研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39 (10): 1886–1891.
- [20] 韦新宇. 黄精益阴汤治疗原发性高血压疗效观察 [J]. 实用中医药杂志, 2016, 32 (9): 862.
- [21] 朱巧, 邓欣, 张树冰, 等. 黄精多糖的提取工艺、组分分析与含量测定研究进展 [J]. 中南药学, 2017, 15 (11): 1586–1590.
- [22] TANG C, YU Y M, QI Q L, et al. Steroidal saponins from the rhizome of *Polygonatum sibiricum* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2018, 21 (3): 1–10.
- [23] 徐兵兵, 于勇杰, 吴帆, 等. 黄精多糖研究综述 [J]. 中国野生植物资源, 2015, 34 (4): 38–41.
- [24] 陆建平, 张静, 张艳贞. 黄精多糖的功能活性及应用前景 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4 (1): 273–278.
- [25] 王艳, 董鹏, 金晨钟, 等. 黄精多糖组成及其抗氧化活性分析 [J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38 (5): 2191–2199.
- [26] 李超彦, 周媛媛, 辛庆锋, 等. 黄精多糖对自然更年期大鼠超氧化物歧化酶、丙二醛及血脂的影响 [J]. 中国老年学杂志, 2013, 33 (24): 6215–6216.
- [27] HONG C T, HUANG J K, WANG H Y, et al. Antioxidant and antifatigue activities of *Polygonatum Alte-lobatum* Hayata rhizomes in rats [J]. Nutrients, 2014 (11): 5327–5337.
- [28] 宰青青, 秦臻, 叶兰. 黄精对自然衰老大鼠内皮祖细胞功能及端粒酶活性的影响 [J]. 中国中西医结合杂志, 2016 (12): 72–77.
- [29] NI W H, GAO T T, WANG H L, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 150 (2): 529–535.
- [30] ZHAI Z H, LI Z X, JI Z L, et al. Protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides on apoptosis, inflammation, and oxidative stress in nucleus pulposus cells of rats with the degeneration of the intervertebral disc [J]. International Journal of Polymer Science, 2019, 72 (3): 1–7.
- [31] 石娟, 赵煜, 雷杨, 等. 黄精粗多糖抗疲劳抗氧化作用的研究 [J]. 时珍国医国药, 2011, 22 (6): 1409–1410.
- [32] LINTON P J, DORSHKIND K. Age-related changes in lymphocyte development and function [J]. Nature Immunolog, 2004, 5: 133–139.
- [33] WEISKOPF D, WEINBERGER B, GRUBECK-LOEBENSTEIN B. The aging of the immune system [J]. Transplant International, 2009, 22 (11): 1041–1050.
- [34] SHEN J, LIU L, QIAN J. Effects of polygonatum polysaccharide on immunological activity of immunosuppressive mouse model [J]. Drug Eval Res, 2012, 35: 328–331.
- [35] 傅圣斌, 钱建鸿, 陈乐意, 等. 黄精多糖的提取及其对小鼠免疫活性的影响 [J]. 中国食品学报, 2013, 13 (1): 68–72.
- [36] 李志涛, 孙金旭, 朱会霞, 等. 黄精多糖的提取及其抑菌性研究 [J]. 食品研究与开发, 2017, 38 (15): 36–38.
- [37] TABARSA M, YOU S, ABEDI M, et al. The activation of RAW264.7 murine macrophage and natural killer cells by glucomannogalactan polysaccharides from *Tornabea scutellifera* [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 219: 368–377.
- [38] 曹冠华, 李泽东, 赵荣华, 等. 生黄精多糖与制黄精多糖抑菌效果比较研究 [J]. 食品科技, 2017, 42 (9): 202–206.
- [39] CREWS L, MASLIAH E. Molecular mechanisms of neurodegeneration in Alzheimer's disease [J]. Hum Mol Genet, 2010, 19: 12–20.
- [40] MACCIONI R B, MUÑOZ J P, BARBEITO L. The molecular bases of Alzheimer's disease and other neurodegenerative disorders [J]. Arch Med Res, 2001, 32: 367–381.
- [41] 程肖蕊, 周文霞, 张永祥, 等. 阿尔茨海默病发病机制及防治药物研究思考 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2017, 31 (12): 1129–1141.
- [42] 公惠玲, 李卫平, 尹艳艳, 等. 黄精多糖对链脲菌素糖尿病大鼠降血糖作用及其机制探讨 [J]. 中国

- 中药杂志, 2009, 34 (9): 1149–1154.
- [43] CAI J L, ZHU Y L, ZUO Y J, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide alleviates inflammatory cytokines and promotes glucose uptake in high-glucose- and high-insulin-induced 3T3-L1 adipocytes by promoting Nrf2 expression [J]. Molecular Medicine Report, 2019, 20 (4): 3951–3958.
- [44] WANG Y, QIN S, PEN G, et al. Original research: Potential ocular protection and dynamic observation of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide against streptozocin-induced diabetic rats' model [J]. Exp Biol Med, 2017, 242 (1): 92–101.
- [45] YAN H, LU J, WANG Y, et al. Intake of total saponins and polysaccharides from *Polygonatum kingianum* affects the gut microbiota in diabetic rats [J]. Phytomedicine, 2017, 26: 45–54.
- [46] 赵宏丽, 许燕, 赵红岩, 等. 黄精多糖对 2 型糖尿病大鼠 SREBP-1c 和 SCD-1 蛋白表达的影响 [J]. 中药药理与临床, 2015, 31 (1): 106–109.
- [47] WANG Y, LAN C J, LIAO X, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide potentially attenuates diabeticretinal injury in a diabetic rat model [J]. Journal of Diabetes Investigation, 2019, 10 (4): 915–924.
- [48] 张忠英, 王国贤, 陈婷婷, 等. 黄精多糖对糖尿病大鼠心肌纤维化影响 [J]. 中国公共卫生, 2016, 32 (6): 807–810.
- [49] 陈婷婷, 王国贤, 付婷婷, 等. 黄精多糖对 I 型糖尿病大鼠心肌炎症的保护作用 [J]. 中药药理与临床, 2015, 31 (4): 86–90.
- [50] 付婷婷, 王国贤, 陈婷婷, 等. 黄精多糖对糖尿病肾病大鼠肾脏的保护作用 [J]. 中药药理与临床, 2015, 31 (4): 123–126.
- [51] 孔瑕, 刘娇娇, 李慧, 等. 黄精多糖对高脂血症小鼠脂代谢相关基因 mRNA 及蛋白表达的影响 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43 (18): 3740–3747.
- [52] DU L, NONG M N, ZHAO J M, et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide inhibits osteoporosis by promoting osteoblast formation and blocking osteoclastogenesis through Wnt/β-catenin signalling pathway [J]. Scientific Reports, 2016, 6 (2): 285–292.
- [53] NAKAMURA T, HANADA K, TAMURA M, et al. Stimulation of endosteal bone formation by systemic injections of recombinant basic fibroblast growth factor in rats [J]. Endocrinology, 1995, 136: 1276–1284.
- [54] HAN S Y, HU M H, QI G Y. Polysaccharides from polygonatum Inhibit the proliferation of prostate cancer-associated fibroblasts [J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2016, 17 (8): 3829–3833.
- [55] 江华. 黄精多糖的抗肿瘤活性研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2010 (6): 85–86.
- [56] HE C T, LI W. Research progress on pharmacological efficacy of polysaccharide [J]. J New Chin Med, 2014, 46: 196–199.
- [57] ZHOU W Z, HONG J, ZHU J, et al. Effects of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides (PSP) on human esophageal squamous cell carcinoma (ESCC) via NF-κB signaling pathway [J]. International Journal of Polymer Science, 2019, 82 (8): 1–9.

