

食源性植物多糖改善糖尿病引发肾损伤的研究进展

邵 然*

(河北北方学院附属第一医院, 张家口 075000)

摘 要: 糖尿病是一类由于胰岛素分泌缺陷或其生物作用受损而引起的代谢性疾病, 主要表现特征为高血糖。人体长期处于高血糖状态, 会导致各种组织和器官受损, 尤其是眼、肾、心脏、血管和神经等的慢性损伤或者功能障碍。植物多糖, 是植物细胞代谢产生的聚合度超过 10 个的聚糖。许多食源性植物多糖具有一定的生物活性, 能够调节血糖水平, 因此植物多糖在医学、食品和餐饮领域已得到了较为广泛的应用。本文对具有改善糖尿病引发肾损伤功能的食源性植物多糖的来源及功效进行整理, 综述了食源性植物多糖改善糖尿病肾损伤的作用机制, 并对未来食源性植物多糖在改善糖尿病肾损伤领域的应用前景进行展望。

关键词: 食源性植物多糖; 糖尿病; 血糖; 肾损伤

Research progress of food-derived plant polysaccharides in improving kidney damage caused by diabetes

SHAO Ran*

(The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

ABSTRACT: Diabetes is a type of metabolic disease caused by defective insulin secretion or impaired biological effects. The main manifestation of diabetes is hyperglycemia. Long-term high blood sugar in the human body can cause damage to various tissues and organs, especially chronic damage or dysfunction of the eyes, kidneys, heart, blood vessels and nerves. Plant polysaccharides are glycans with a degree of polymerization exceeding 10 produced by the metabolism of plant cells. Many food-derived plant polysaccharides have certain biological activities and can regulate blood glucose levels. Therefore, plant polysaccharides have been widely used in medicine, food and catering. This article summarized the sources and effects of food-based plant polysaccharides that could improve kidney damage caused by diabetes, summarized the mechanism of food-based plant polysaccharides in improving diabetic kidney damage, and prospected the future application prospect of foodborne plant polysaccharides in the field of improving diabetic kidney injury.

KEY WORDS: food-borne plant polysaccharides; diabetes; blood sugar; kidney damage

0 引 言

糖尿病是一种以慢性血糖水平升高、糖调节异常为典型特征的代谢紊乱性疾病, 临床主要表现为多食、多饮、

多尿和体重减轻等^[1]。糖尿病可导致各种并发症, 主要是由长期血糖代谢紊乱引起微血管病变、肾小球硬化, 从而引起肾功能的损伤或障碍^[2]。近年来, 随着生活水平的提高, 由于缺乏运动、肥胖、人口老龄化等原因, 全世界范

*通信作者: 邵然, 主要研究方向为食品营养。E-mail: qx9073@163.com

*Corresponding author: SHAO Ran, College of Medicine, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China. E-mail: qx9073@163.com

围内糖尿病患者发病人数持续增多,因糖尿病而导致肾损伤的患者人数也明显增多^[3]。相关数据表明,到 2025 年,糖尿病的发病率将达到全球人口的 6.5%^[4]。然而,医学界至今未发现能完全治疗糖尿病的有效方法,且目前主要采用的抗糖尿病药物如噻唑烷二酮类、美格列奈类、双胍类等具有比较严重的副作用^[5-6]。因此,副作用较小的植物多糖近年来在治疗糖尿病领域得到了较为广泛的研究^[7-9]。

植物多糖在植物中广泛存在,又称植物多聚糖,由醛糖或酮糖通过糖苷键连接而成,是植物细胞代谢产生的聚合度超过 10 个的天然高分子聚合物,它是植物体内重要的生物大分子,也是维持植物生命活动正常运转的基本物质之一^[10]。研究显示,许多食源性植物多糖具有生物活性,具有一定的保健作用,如免疫调节、抗肿瘤、降血糖、降血脂、抗辐射、抗菌、抗病毒、保护肝脏等^[11]。因此,食源性植物多糖在医学界、餐饮界和食品界等大众生活领域已经得到了广泛的应用。我国具有较为丰富的食源性植物资源,这为食源性植物多糖的研究和应用提供了良好的先决条件,大量研究证明食源性植物多糖具有治疗糖尿病和改善糖尿病引发肾损伤等效果^[12-14]。

本文通过整理具有改善糖尿病引发肾损伤功能的食源性植物多糖,详细阐述了食源性植物多糖改善糖尿病肾损伤的来源、功效和作用机制,最终对未来食源性植物多糖在改善糖尿病肾损伤领域的研究重点和应用前景进行展望,为食源性植物多糖在糖尿病人特殊保健食品中的应用提供参考。

1 具有改善糖尿病引发肾损伤功能的食源性植物多糖

目前,许多食源性多糖都被实验证明具有降糖作用和改善糖尿病引发肾损伤的功能。我国食源性植物多糖来源广泛,日常生活中经常食用的百合、南瓜、苦瓜、铁皮石斛、山药、苦丁茶、黄秋葵、桔梗、枸杞、绿茶、猕猴桃、桑葚、魔芋等植物都是植物多糖来源。这些食源性植物多糖对于改善糖尿病肾损伤的作用效果主要有改善糖脂代谢、抑制氧化应激、降低血糖、提高葡萄糖耐受量以及抗氧化等。表 1 中整理了近年来文献中报道的食源性植物多糖改善糖尿病引发肾损伤的来源及作用效果。

2 食源性植物多糖改善糖尿病引发肾损伤的作用机制

肾损伤是糖尿病的并发症之一,其主要表现形式为持续性蛋白尿、基底膜增厚、肾小球滤过率下降^[31]。由糖尿病引起肾脏损伤的原因较为复杂。长期高血糖影响末梢循环,肾血管发生病变,肾小球硬化致使肾脏损害;糖尿病还会引起大量肾脏糖基化终末产物聚集,使得肾血流量和肾小球滤过率下降,最后导致蛋白尿排泄增多;血糖变异性可引起肾脏氧化应激以及炎性因子反应,进而加重肾脏破坏^[32-33]。近年来,大量研究表明,食源性多糖能够降低血糖、缓解糖尿病引发的肾损伤,食源性植物多糖改善糖尿病引发肾损伤的主要机制有:改善糖脂代谢、影响关键因子的表达、抑制氧化应激作用、改善机体免疫功能等^[34-36]。

表 1 具有改善糖尿病引发肾损伤功能的食源性植物多糖
Table 1 Food-borne plant polysaccharides with the function of improving kidney damage caused by diabetes

多糖来源	作用效果	参考文献
百合	提高己糖激酶、琥珀酸脱氢酶活性,促进葡萄糖摄取利用,抑制肝糖异生及糖原分解,减少肝糖输出,降低血糖水平	[15-16]
南瓜	抑制氧化应激、减少丙二醛的释放、提高超氧化物歧化酶活性	[17]
苦瓜	调节血脂代谢、提高葡萄糖耐受量、改善血液流变学指标	[18]
铁皮石斛	增加脂质转运和氧化代谢、平衡糖脂水平、缓解胰岛素抵抗、减少肾脏纤维化	[19]
山药	抑制氧化应激、减少丙二醛的释放、提高超氧化物歧化酶活性	[20-21]
苦丁茶	抑制 α -葡萄糖苷酶、提高葡萄糖耐受量、降低空腹血糖、调节糖脂代谢	[22]
黄秋葵	降低空腹血糖、改善脂代谢紊乱	[23-24]
桔梗	降低高糖和 H_2O_2 对血管内皮细胞的损伤、降低蛋白糖基化形成	[25]
软枣猕猴桃	提高葡萄糖耐受量、降低空腹血糖、调节糖脂代谢	[26]
绿茶	提高超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性、降低丙二醛含量、调节氧化-抗氧化系统平衡、调节糖脂代谢	[27-28]
桑葚	改善血糖水平、血脂指标、脂质过氧化水平和血清抗氧化状态	[29]
魔芋	改善糖脂代谢异常	[30]

2.1 改善糖脂代谢

糖脂代谢紊乱是糖尿病的主要特征, 表现为血糖、血脂水平偏高。许多食源性植物多糖具有修复和保护胰岛细胞的功能, 从而促进胰岛素分泌和增强胰岛素敏感性以降低血糖水平, 一些食源性植物多糖还能调节糖脂代谢关键酶活性、抗脂质过氧化、抑制胆固醇的肠内吸收等作用共同改善糖脂代谢水平, 以此来改善糖尿病引起的肾损伤^[37-39]。肖遐等^[16]研究发现, 百合多糖能够显著提高 I 型糖尿病模型大鼠体内的己糖激酶和琥珀酸脱氢酶活性, 从而促进组织对于葡萄糖的摄取, 同时百合多糖具有抑制肝糖异生及糖原分解的作用, 使得肝糖输出减少、血糖下降。刘丹奇等^[28]以小鼠糖尿病模型(二甲双胍作为阳性对照)研究了白茶、绿茶和红茶粗制多糖的降血糖作用, 发现粗制茶多糖对小鼠的空腹血糖、胰岛素抵抗指数、葡萄糖耐量和胰腺组织病变情况都产生一定影响, 白茶、绿茶、红茶多糖能够分别使空腹血糖下降 47.0%、47.8% 和 36.7%, 同时茶多糖还可以改善小鼠葡萄糖耐量, 其中绿茶效果最为明显。阮凌^[30]探讨了魔芋多糖对 2 型糖尿病大鼠的糖脂代谢水平的影响, 实验结果表明, 魔芋多糖组大鼠的血糖和胰岛素水平显著性降低($P < 0.05$), 总胆固醇水平和总甘油三酯水平也有显著降低($P < 0.05$), 说明魔芋多糖能够对大鼠的糖脂代谢进行调节。

2.2 影响关键因子的表达

糖尿病引起肾损伤的发病机制较为复杂, 研究表明, 许多关键因子如肾脏转化生长因子 β (kidney transforming growth factor β , TGF- β)、肿瘤坏死因子 α (tumor necrosis factor α , TNF- α)、蛋白激酶 C(protein kinase C, PKC)和血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)等的表达是导致肾损伤的主要原因, 因此通过抑制这些因子的表达, 能够起到改善肾损伤的作用^[40-42]。食源性植物多糖能够对 TGF- β 、TNF- α 、PKC、VEGF 等体内关键因子的表达进行抑制, 进而缓解糖尿病引起的肾损伤。彭晓珊^[43]运用免疫组化方法研究了黄芪对糖尿病大鼠的肾脏保护作用, 黄芪多糖能够通过抑制糖尿病大鼠肾脏转化生长因子 β 的表达, 使得糖尿病小鼠的肾小球基底膜增厚程度明显缓解($P < 0.05$), 同时肾小球病变程度也得到缓解。李菁菁^[44]采用免疫组化法探究了枸杞多糖对糖尿病模型大耳白兔的肾皮质中炎症相关因子表达的影响, 发现枸杞多糖可下调肿瘤坏死因子 α 的表达, 抑制炎症细胞向肾小球迁移和黏附, 进而减轻肾脏组织的炎症反应, 改善糖尿病引起的肾损伤。李静等^[45]研究了芦荟多糖对血管内皮生长因子表达的影响, 通过免疫印迹法检测 VEGF 蛋白的表达, 结果表明给药组 VEGF 蛋白的表达均显著降低($P < 0.05$)。

2.3 抑制氧化应激作用

氧化应激与糖尿病密切相关, 高血糖可能会通过葡萄糖氧化和线粒体电子传递等通路释放大量活性氧, 从而诱导产生氧化应激, 氧化应激会造成细胞的损伤, 引起肾脏病变。由此可见糖尿病中存在氧化应激作用, 而氧化应激作用又会加重糖尿病及其并发症, 因此抑制氧化应激作用能够有效的缓解糖尿病及其引发的肾损伤等并发症^[46-48]。宋丽君^[17]观察南瓜多糖对实验性糖尿病氧化应激能力的影响。糖尿病大鼠在经历 8 周灌胃后其血清中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性显著升高($P < 0.05$), 丙二醛含量明显减少($P < 0.01$), 说明南瓜多糖能够抑制氧化应激作用。金蕊等^[20]研究了山药粗多糖对链脲佐菌素诱导的 I 型糖尿病大鼠的肾脏氧化应激损伤的影响, 与对照组相比, 山药粗多糖组在连续灌胃 4 周后, 其肝脏脂质过氧化产物丙二醛水平显著降低($P < 0.05$), 肾脏谷胱甘肽过氧化物酶活性显著增加, 说明山药多糖对肾脏氧化应激作用有抑制作用。周欢等^[49]研究了枸杞多糖对大鼠肾间质纤维化和氧化应激反应的影响。通过单侧输尿管梗阻(UUO)建立肾间质纤维化模型大鼠, 分别对假手术组、UUO 模型组和治疗组进行灌胃对照实验, 发现枸杞多糖能够改善单侧输尿管梗阻大鼠肾组织的病理损伤, 减少肾组织中丙二醛的释放, 提高总超氧化物歧化酶水平, 抑制单侧输尿管梗阻大鼠肾脏组织中氧化应激状态。

2.4 改善机体免疫力

糖尿病患者由于胰岛素的绝对或相对不足导致代谢紊乱, 引起蛋白质和脂质合成障碍, 导致机体内的抗体、巨噬细胞、淋巴因子、溶菌酶等免疫物质的分泌减少, 从而影响机体的免疫应答反应。食源性植物多糖能够提高淋巴细胞和巨噬细胞的数量和功能, 同时提高机体血清免疫球蛋白水平, 具有增强机体免疫力的作用。因此, 对于糖尿病患者而言, 食源性植物多糖是良好的免疫调节剂。庄伟等^[50]通过建立 RAW264.7 巨噬细胞的免疫模型, 探究了黑木耳多糖在免疫功能方面的活性, 发现黑木耳多糖可以促进巨噬细胞的增殖, 增强巨噬细胞的吞噬作用, 显著诱导细胞因子 IL-6、TNF- α 的释放, 从而说明黑木耳能够增强机体免疫力的功效。张浩等^[51]研究富硒青钱柳多糖对糖尿病模型小鼠免疫力的影响, 对高脂饮食加链脲佐菌素诱导小鼠糖尿病模型进行灌胃, 期间监测免疫器官指数及小鼠脾淋巴细胞转化指数, 结果表明连续富硒青钱柳多糖灌胃 42 d 后, 小鼠的免疫器官指数和脾淋巴细胞转化指数发生显著性降低($P < 0.01$), 这说明富硒青钱柳多糖能够显著降低糖尿病小鼠的免疫力。通过 1 型糖尿病大鼠模型探讨树莓果肉多糖的免疫调节作用, 发现树莓果肉多糖可以明显降低大鼠血清中的干扰素- γ 、白细胞介素-2、免疫球蛋白 A(IgA)、E(IgE)、G(IgG)和 M(IgM), 能一定程度改善胰岛

β 细胞的损伤。由此可见, 树莓果肉多糖能够通过调节机体免疫来改善糖尿病引发肾损伤。

3 结束语

糖尿病肾损伤是糖尿病最主要的微血管并发症之一, 也是糖尿病患者致死的重要原因。近年来, 国内外越来越多的研究表明, 许多食源性植物多糖具有良好的生物活性, 能够通过改善糖脂代谢、影响关键因子的表达、抑制氧化应激作用、改善机体免疫功能等机制改善和缓解糖尿病引发的肾损伤。同时, 食源性植物多糖来源广泛、易于制备、成本较低, 因此在医学和食品科学领域都具有较为广阔的应用前景。但是目前研究人员对于食源性植物多糖改善糖尿病肾损伤的作用机制研究和探讨仍旧不够深入, 大多报道为动物实验研究, 而临床实验较为罕见。因此应进一步针对食源性植物多糖对糖尿病肾损伤改善作用的机制进行深入研究, 并重视食源性植物多糖在临床应用的研究。

参考文献

- 陈伍, 赵胜, 周向军, 等. 糖尿病肾脏病的发病机制研究进展[J]. 医学综述, 2020, 26(21): 4302-4307.
CHEN W, ZHAO S, ZHOU XJ, *et al.* Research progress on the pathogenesis of diabetic nephropathy [J]. *Med Rev*, 2020, 26(21): 4302-4307.
- VLAD I, POPA AR. Epidemiology of diabetes mellitus: A current review [J]. *Roman J Diabet Nutr Metabol Dis*, 2012, 19(4). DOI: 10.2478/v10255-012-0050-0
- DISDIER OM, RODRÍGUEZ LA, PÉREZ PR, *et al.* The public health burden of diabetes: A comprehensive review [J]. *Puerto Rico Health Sci J*, 2001, 20(2): 123.
- 吕若琦. 最新版“全球糖尿病地图”里的中国景象[J]. 江苏卫生保健, 2020, (2): 56.
LU RQ. The Chinese scene in the latest edition of "global diabetes map" [J]. *Jiangsu Health Care*, 2020, (2): 56.
- FREEMAN JS. The increasing epidemiology of diabetes and review of current treatment algorithms [J]. *J Am Osteopath Ass*, 2010, 110(S7): eS2.
- 李希国, 柳青, 许帮林. 社区门诊糖尿病患者药物应用分析[J]. 中国医院用药评价与分析, 2015, 15(5): 618-621.
LI XG, LIU Q, XU BL. Analysis of drug application in diabetic patients in community outpatient clinics [J]. *Evaluat Anal Drug Use Chin Hosp*, 2015, 15(5): 618-621.
- 肖瑞希, 陈华国. 植物多糖降血糖作用及机制研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 254-260.
XIAO RX, CHEN HG. Research progress on the hypoglycemic effect and mechanism of plant polysaccharides [J]. *Food Sci*, 2019, 40(11): 254-260.
- 刘婷, 周欣, 赵超, 等. 植物多糖对肾损伤干预效果及作用机制研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, (40): 23-24.
LIU T, ZHOU X, ZHAO C, *et al.* Research progress on the intervention effect and mechanism of plant polysaccharides on renal injury [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, (40): 23-24.
- 周雯, 庄蕾, 吴森. 植物多糖在 II 型糖尿病降血糖作用方面的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, (29): 48-49.
ZHOU W, ZHUANG L, WU S. Research progress of plant polysaccharides in lowering blood sugar of type II diabetes [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, (29): 48-49.
- MALIKOVA MK, KRISTALLOVICH EL, RAKHIMOV DA. Plant polysaccharides [J]. *Chem Nat Compound*, 1997, 33(5): 527-529.
- LIU J, WILLF RS, XU C. A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications [J]. *Bioact Carbohyd Diet Fibre*, 2015, 5(1): 31-61.
- 陈萍, 郑颖龄, 邓旭, 等. 植物多糖对糖尿病肾病肾脏转化生长因子 β 及蛋白表达影响的研究进展[J]. 黑龙江医药, 2014, 27(1): 40-43.
CHEN P, ZHENG YL, DENG X, *et al.* Research progress on the effect of plant polysaccharides on the expression of transforming growth factor β and protein in diabetic nephropathy [J]. *Heilongjiang Med*, 2014, 27(1): 40-43.
- 孟祥云, 郭树明, 杨丽霞. 中药植物多糖对 2 型糖尿病胰岛素抵抗的作用机制研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(8): 220-225.
MENG XY, GUO SM, YANG LX. Research progress on the mechanism of Chinese herbal plant polysaccharides on insulin resistance in type 2 diabetes [J]. *Chin J Exp Form*, 2017, 23(8): 220-225.
- 刁玉林, 姜威, 朱婷, 等. 天然植物多糖抗糖尿病研究进展[J]. 国际药学研究杂志, 2011, 38(4): 275-279.
DIAO YL, JIANG W, ZHU T, *et al.* Research progress of natural plant polysaccharides against diabetes [J]. *Int J Pharm Res*, 2011, 38(4): 275-279.
- 吴雄. 百合多糖对 I 型糖尿病大鼠的降血糖作用研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
WU X. Study on the hypoglycemic effect of lily polysaccharide on type I diabetic rats [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2013.
- 肖遐, 吴雄, 何纯莲. 百合多糖对 I 型糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 209-213.
XIAO X, WU X, HE CL. The hypoglycemic effect of lily polysaccharide on type 1 diabetic rats [J]. *Food Sci*, 2014, 35(1): 209-213.
- 宋丽君. 南瓜多糖对糖尿病大鼠血糖、血脂及氧化应激能力的影响[J]. 中国应用生理学杂志, 2015, 31(1): 65-66, 71.
SONG LJ. Effects of pumpkin polysaccharides on blood glucose, blood lipids and oxidative stress in diabetic rats [J]. *Chin J Appl Physiol*, 2015, 31(1): 65-66, 71.
- 张炳武. 苦瓜多糖对 2 型糖尿病患者血糖、血脂及血液流变学影响的临床研究[C]. 2015 年全国医院药学(药学监护)学术会议, 2015.
ZHANG BW. Clinical study on the effects of balsam pear polysaccharides on blood glucose, blood lipids and hemorheology in patients with type 2 diabetes [C]. 2015 National Academic Conference on Hospital Pharmacy (Pharmaceutical Care), 2015.
- 曾杰. 铁皮石斛多糖对 II 型糖尿病小鼠心脏和肾脏并发症改善作用及机制的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
ZENG J. Research on the improvement effect and mechanism of *Dendrobium officinale* polysaccharide on heart and kidney complications in type 2 diabetic mice [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- 金蕊, 程银祥, 韩凤梅, 等. 山药多糖对 I 型糖尿病大鼠血糖血脂及肝肾氧化应激的影响[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 298-302.
JIN R, CHENG YX, HAN FM, *et al.* Effects of yam polysaccharides on

- blood glucose, blood lipids and liver and kidney oxidative stress in type 1 diabetic rats [J]. *J Hubei Univ (Nat Sci Ed)*, 2016, 38(4): 298–302.
- [21] 李新萍, 周书琦, 徐丽丽, 等. 山药多糖的提取及其对糖尿病小鼠的影响研究[J]. *黑龙江医药*, 2018, 31(1): 20–22.
- LI XP, ZHOU SQ, XU LL, *et al.* The extraction of yam polysaccharide and its effect on diabetic mice [J]. *Heilongjiang Med*, 2018, 31(01): 20–22.
- [22] 于淑池, 陈文, 杭瑜瑜, 等. 海南苦丁茶多糖的降血糖功效评价[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(4): 161–164.
- YU SC, CHEN W, HANG YY, *et al.* Evaluation of the hypoglycemic efficacy of Hainan Kudingcha polysaccharide [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(4): 161–164.
- [23] 冯冠英, 宋晓雪, 徐志立, 等. 黄秋葵对糖尿病小鼠的降血糖作用[J]. *转化医学电子杂志*, 2017, 4(11): 44–47.
- FENG GY, SONG XX, XU ZL, *et al.* The hypoglycemic effect of okra on diabetic mice [J]. *Elect J Translat Med*, 2017, 4(11): 44–47.
- [24] 张灵敏, 王玲, 贾奥, 等. 黄秋葵水提取物对 2 型糖尿病大鼠糖脂代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(3): 355–358, 363.
- ZHANG LM, WANG L, JIA A, *et al.* Effects of water extract of okra on glucose and lipid metabolism in type 2 diabetic rats [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2016, 37(3): 355–358, 363.
- [25] 陈美娟, 金嘉宁, 蒋层层, 等. 桔梗有效部位对糖尿病大鼠微血管病变干预作用研究[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2013, 15(2): 23–25.
- CHEN MJ, JIN JN, JIANG CC, *et al.* Study on the intervention effect of the effective parts of *Platycodon grandiflorum* on the microvascular disease of diabetic rats [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2013, 15(2): 23–25.
- [26] 刘延吉, 刘金凤, 田晓艳, 等. 软枣猕猴桃多糖降血糖降血脂活性研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2012, 31(1): 86–89.
- LIU YJ, LIU JF, TIAN XY, *et al.* Study on the hypoglycemic and hypolipidemic activity of *Actinidia chinensis* polysaccharides [J]. *J Food Biotechnol*, 2012, 31(1): 86–89.
- [27] 贾亮亮, 金桂兰, 彭官良, 等. 茶多糖对糖尿病肾病小鼠肾脏氧化应激损伤的保护作用研究[J]. *中南药学*, 2018, 16(10): 1388–1392.
- JIA LL, JIN GL, PENG GL, *et al.* Protective effects of tea polysaccharides on oxidative stress injury in the kidneys of diabetic nephropathy mice [J]. *Zhongnan Pharm*, 2018, 16(10): 1388–1392.
- [28] 刘丹奇, 任发政, 侯彩云. 几种茶多糖对糖尿病模型小鼠血糖的影响[J]. *中国食物与营养*, 2020, 26(1): 59–64.
- LIU DQ, REN FZ, HOU CY. The effect of several tea polysaccharides on blood sugar in diabetic mice [J]. *Chin Food Nutr*, 2020, 26(1): 59–64.
- [29] 王强, 王睿, 王存, 等. 桑葚多糖调节血糖代谢及体外抗氧化效果研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(11): 260–264.
- WANG Q, WANG R, WANG C, *et al.* Study on the effects of mulberry polysaccharides on blood glucose metabolism and in vitro antioxidant effects [J]. *Food Sci*, 2014, 35(11): 260–264.
- [30] 阮凌. 魔芋多糖对改善 2 型糖尿病大鼠糖脂代谢异常的机制研究[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(6): 88–92.
- RUAN L. Research on the mechanism of konjac polysaccharides on improving glucose and lipid metabolism in type 2 diabetic rats [J]. *Jiangxi J Agric*, 2020, 32(6): 88–92.
- [31] AYODELE OE, ALEBIOSU CO, SALAKO BL. Diabetic nephropathy—a review of the natural history, burden, risk factors and treatment [J]. *J Nat Med Ass*, 2004, 96(11): 1445.
- [32] MAEDA S. Review: Genetics of diabetic nephropathy [J]. *Therapeut Adv Cardiovascul Dis*, 2008, 2(5): 363–371.
- [33] MARKETOU NP, CHROUSOS GP, KANAKA GC. Diabetic nephropathy in type 1 diabetes: A review of early natural history, pathogenesis, and diagnosis [J]. *Diabet Metabol Res Rev*, 2016, 33(2): 571–582.
- [34] XIAO ZQ, WANG YL, YUE YD, *et al.* Preventive effects of polysaccharides from *Liriope spicata* var. *prolifera* on diabetic nephropathy in rats [J]. *Int J Biol Macromol*, 2013, (61): 114–v120.
- [35] VAISHNUDEVI D, VISWANATHAN P. Seaweed polysaccharides - new therapeutic insights against the inflammatory response in diabetic nephropathy [Z]. 2017.
- [36] HE CY, LI WD, GUO SX, *et al.* Effect of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* on streptozotocin-induced diabetic nephropathy in mice [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2006, 8(8): 705–711.
- [37] YU L, LIU J, ZHANG J, *et al.* Effect of nano yam polysaccharide on the blood glucose and blood lipid in rats [J]. *Pakist J Pharm Sci*, 2020, 33(1): 481–487.
- [38] LI F, LI Q, GAO D, *et al.* Preparation and antidiabetic activity of polysaccharide from *Portulaca oleracea* L. [J]. *Af J Biotechnol*, 2009, 8(4): 569–573.
- [39] 李晓冰, 裴兰英, 陈玉龙, 等. 山药多糖对链脲菌素糖尿病大鼠糖脂代谢及氧化应激的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2014, 34(2): 420–422.
- LI XB, PEI LY, CHEN YL, *et al.* The effect of yam polysaccharides on glucose and lipid metabolism and oxidative stress in streptozotocin-diabetic rats [J]. *Chin J Gerontol*, 2014, 34(2): 420–422.
- [40] 李晓梅, 范瑛, 汪年松. 糖尿病肾病与生物标志物的研究进展[J]. *世界临床药物*, 2020, 41(10): 783–790.
- LI XM, FAN Y, WANG NS. Research progress of diabetic nephropathy and biomarkers [J]. *World Clin Drugs*, 2020, 41(10): 783–790.
- [41] CHEN W, LI YM, YU MH. Astragalus Polysaccharides: An effective treatment for diabetes prevention in NOD mice [J]. *Exp Clin Endocrinol Diabet*, 2008, 116(8): 468–474.
- [42] 张熙, 郑俊威, 潘雪莲, 等. 黄芪多糖通过抑制炎症因子改善糖尿病大鼠肾损伤[J]. *湖北医药学院学报*, 2020, 39(5): 438–442, 533.
- ZHANG X, ZHENG JW, PAN XL, *et al.* Astragalus polysaccharides improve kidney damage in diabetic rats by inhibiting inflammatory factors [J]. *J Hubei Med Coll*, 2020, 39(5): 438–442, 533.
- [43] 彭晓珊. 黄芪多糖与三七皂苷配伍对糖尿病大鼠肾脏保护作用的研究[D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2015.
- PENG XS. Study on the protective effect of astragalus polysaccharides and panax notoginseng saponins on the kidneys of diabetic rats [D]. Changsha: Hunan University of Traditional Chinese Medicine, 2015.
- [44] 李菁菁. 枸杞多糖对 DN 兔肾脏组织炎症损伤及其相关机制的影响[D]. 武汉: 武汉大学, 2014.
- LI JJ. The effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on inflammatory injury and related mechanisms of DN rabbit kidney tissue [D]. Wuhan: Wuhan University, 2014.
- [45] 李静, 陈力, 王丹, 等. 芦荟多糖与大黄素配伍对人舌鳞状癌细胞活力及 VEGF 表达的影响[J]. *中医药通报*, 2019, 18(1): 59–62.
- LI J, CHEN L, WANG D, *et al.* The effect of aloe polysaccharide and emodin on the viability and VEGF expression of human tongue squamous carcinoma cells [J]. *Bull Tradit Chin Med*, 2019, 18(1): 59–62.

- [46] 罗珊, 宋立群, 马晓鹏, 等. 肾间质纤维化氧化应激相关信号通路与中医药研究进展[J]. 中医学报, 2020, 48(12): 79–84.
LUO S, SONG LQ, MA XP, *et al.* Research progress on oxidative stress related signaling pathways in renal interstitial fibrosis and traditional Chinese medicine [J]. *J Tradit Chin Med*, 2020, 48(12): 79–84.
- [47] 任春久, 张瑶, 崔为正, 等. 氧化应激在 2 型糖尿病发病机制中的作用研究进展[J]. 生理学报, 2013, 65(6): 664–673.
REN CJ, ZHANG Y, CUI WZ, *et al.* Research progress in the role of oxidative stress in the pathogenesis of type 2 diabetes [J]. *Acta Physiol*, 2013, 65(6): 664–673.
- [48] 舒毅, 钟历勇. 氧化应激与糖尿病[J]. 东南大学学报(医学版), 2005, (1): 64–67.
SHU Y, ZHONG LY. Oxidative stress and diabetes [J]. *J Southeast Univ (Med Ed)*, 2005, (1): 64–67.
- [49] 周欢, 田娜, 吴丽华, 等. 枸杞多糖缓解单侧输尿管梗阻模型大鼠肾损伤及氧化应激反应[J]. 中华肾脏病杂志, 2018, 34(5): 377–384.
ZHOU H, TIAN N, WU LH, *et al.* Lycium barbarum polysaccharides alleviate renal injury and oxidative stress in rats with unilateral ureteral obstruction [J]. *Chin J Nephrol*, 2018, 34(5): 377–384.
- [50] 庄伟, 屈咪, 赵迪, 等. 黑木耳多糖的结构组成及其免疫活性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(2): 205–210.
ZHUANG W, QU M, ZHAO D, *et al.* Study on the structural composition and immunological activity of black fungus polysaccharide [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(2): 205–210.
- [51] 张浩, 陈伟鸿, 马方励, 等. 富硒青钱柳多糖对糖尿病模型小鼠血糖、血脂和免疫力的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 228–232.
ZHANG H, CHEN WH, MA FL, *et al.* The effect of selenium-enriched Cyclocarya polysaccharides on blood glucose, blood lipids and immunity in diabetic mice [J]. *Food Sci*, 2017, 38(17): 228–232.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

邵 然, 主要研究方向为食品营养。
E-mail: qx9073@163.com