

黄精多糖的药理作用研究进展

杨迎^{1,2}, 侯婷婷^{1,2}, 王威^{2,3}, 陈艳君^{2,3}, 刘东^{2,3*}

1. 安徽中医药大学, 安徽 合肥 230012

2. 安徽省中药资源保护与持续利用工程实验室, 安徽 六安 237012

3. 皖西学院 生物与制药工程学院, 安徽 六安 237012

摘要: 黄精是我国传统的药食两用中药, 有着数千年的药用历史, 具有补气养阴、健脾、润肺、益肾的功效。现代药理学研究表明, 黄精多糖在抗氧化、改善学习记忆能力、免疫调节作用、防治糖尿病、保护肾脏、保护肝脏、抗骨质疏松、抗肿瘤、抗炎抑菌、改善心肌细胞损伤、抗疲劳作用方面具有重要作用。对黄精多糖的药理作用进行了总结, 为进一步发掘黄精多糖的药用价值和养生保健价值提供参考。

关键词: 黄精多糖; 抗氧化; 免疫调节; 抗骨质疏松; 抗肿瘤; 药理作用

中图分类号: R285.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-5515(2022)03-0659-07

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2022.03.038

Research progress on pharmacological effects of polysaccharides from *Polygonati Rhizoma*

YANG Ying^{1,2}, HOU Ting-ting^{1,2}, WANG Wei^{2,3}, CHEN Yan-jun^{2,3}, LIU Dong^{2,3}

1. Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230012, China

2. Anhui Engineering Laboratory for Conservation and Sustainable Utilization of Traditional Chinese Medicine Resources, Lu'an 237012, China

3. College of Biological and Pharmaceutical Engineering, West Anhui University, Lu'an 237012, China

Abstract: *Polygonati Rhizoma* is a traditional Chinese medicine with a history of thousands of years, which has the functions of replenishing Qi and nourishing Yin, invigorating spleen, moistening lung and benefiting kidney. Modern pharmacological studies have demonstrated that *Polygonati Rhizoma* polysaccharides play important roles in antioxidant effect, improving learning and memory ability, immune regulation, prevention and treatment of diabetes, protection of kidney, protection of liver, anti-osteoporosis, anti-tumor, anti-inflammatory and antibacterial effect, improving myocardial cell damage, anti-fatigue effect. This paper reviews the pharmacological effects of *Polygonati Rhizoma* polysaccharides in order to provide reference for further exploring the medicinal value and health care value of *Polygonati Rhizoma* polysaccharides to provide reference.

Key words: *Polygonati Rhizoma* polysaccharides; antioxidant effect; immune regulation; anti-osteoporosis; anti-tumor; pharmacological effect

黄精为百合科黄精属植物滇黄精 *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl.、黄精 *P. sibiricum* Delar. ex Redoute 或多花黄精 *P. cyrtoneura* Hua 的干燥根茎。黄精生长于海拔 800~2 800 m 的林下、灌丛或山坡阴处, 春秋二季采挖, 为《中国药典》2020 年版一部收载品种。按其形状不同, 通常也称为“大黄精”、

“鸡头黄精”和“姜形黄精”^[1]。《名医别录》是黄精首次被记载的医学专著, 其记载: “主补中益气, 除风湿, 安五脏。久服轻身、延年、不饥”^[2]。黄精味甘、性平, 是我国传统的药食两用中药, 具有补气养阴、健脾、润肺、益肾的功效, 主治脾胃虚弱、体倦乏力、肾虚肺燥、劳嗽咳血、腰膝酸软、

收稿日期: 2021-12-19

基金项目: 安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2020A0628); 安徽省高校优秀青年人才支持计划项目(gxyqZD2020040); 西山药库研究院建设发展项目(0045021006); 皖西学院高层次人才科研启动资金项目(WGKQ2021026)

作者简介: 杨迎(1998—), 女, 硕士研究生, 主要从事天然产物研究与开发。E-mail: yangying172@foxmail.com

*通信作者: 刘东(1984—), 男, 副教授, 博士, 从事中药和天然产物及其纳米药物的制备及质量控制研究。E-mail: liudong3000@126.com

内热消渴等症。黄精中含有多糖、甾体皂苷、生物碱、蒽醌、木脂素、黄酮和氨基酸等多种成分^[3]。其中多糖是黄精的主要成分之一,《中国药典》2020 年版一部更是将黄精多糖作为评价黄精质量的标准。此外,现代药理学研究表明,黄精多糖具有抗氧化、改善学习记忆能力、降血糖、调节免疫力、抗肿瘤、保护肝肾、改善骨质疏松以及抗炎、抑菌等多种作用^[4-5]。因此,本文对黄精多糖抗氧化、改善学习记忆能力、免疫调节作用、防治糖尿病、保护肾脏、保护肝脏、抗骨质疏松、抗肿瘤、抗炎、抑菌、改善心肌细胞损伤、抗疲劳作用进行了总结,为进一步发掘黄精多糖的药用价值和养生保健价值提供参考。

1 抗氧化

Zhang 等^[6-7]从黄精中分离得到的 4 种多糖组分对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和 2,2'-联氮-二(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基均具有不同程度的清除能力;同时有体外研究发现黄精多糖对超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)自由基具有一定的清除能力,并且能显著降低羟基(OH)自由基的产生^[8-9]。黄精多糖随着质量浓度的增大而对 DPPH 自由基、OH 自由基和 $O_2^{\cdot-}$ 自由基的清除能力增大,并且对 Fe^{2+} 诱导的脂质过氧化反应具有一定的抑制作用^[10-12]。

黄精多糖不仅能清除对机体有害的自由基,而且能通过激活 SIRT1/AMPK/PGC-1 α 信号通路来减轻氧化应激进而保护细胞免受损伤。张玉琴等^[13-14]研究发现黄精多糖不仅能显著提高海马神经元 HT22 细胞的活性、增加超氧化物歧化酶(SOD)活力和谷胱甘肽(GSH)含量,还能有效降低丙二醛(MDA)水平、减少乳酸脱氢酶(LDH)的释放,提高 HT22 细胞中 SIRT1、p-AMPK 和 PGC-1 α 蛋白的表达,从而对 H_2O_2 诱导的 HT22 细胞氧化损伤发挥保护作用。

2 改善学习记忆能力

黄精多糖可通过减轻氧化应激、调节血脂、抗氧化、抗炎和调控多种 RNA 等多种途径来改善学习记忆能力。Zheng 等^[15]在研究黄精多糖对 D-半乳糖(D-Gal)诱导的大鼠衰老的作用时发现其能够上调肾皮质 Klotho mRNA、Klotho 蛋白的表达水平,抑制股骨 FGF-23 蛋白的表达,通过调节 Klotho-FGF23 内分泌轴、减轻氧化应激、平衡磷和钙的代谢来显著改善大鼠的学习记忆能力。刘露露等^[16]

利用 D-Gal sc 建立小鼠衰老模型发现黄精多糖能通过修复海马 CA1 区神经元损伤来改善衰老小鼠的空间记忆和学习水平。陆连第等^[17]发现黄精多糖可以改善血管性痴呆大鼠的学习记忆能力,其潜在机制可能与黄精多糖能够改变血流变学异常、调血脂、抗氧化和抗炎作用相关。唐伟等^[18]将黄精多糖作用于慢性脑缺血模型大鼠, Morris 水迷宫检测结果显示,黄精多糖组大鼠平均逃避潜伏期缩短、穿过原有平台次数增多,表明黄精多糖可以改善慢性脑缺血模型大鼠学习记忆能力。尼氏染色观察海马神经细胞损伤、电镜观察脑组织超微结构的结果均显示黄精多糖可以不同程度地改善大鼠大脑超微结构损伤。Zhang 等^[19]通过环状 RNA 相关的内源性竞争 RNA(competing endogenous, ceRNA)来确定黄精多糖对小鼠脑衰老过程的认知的保护作用,结果表明,在小鼠脑衰老过程中,黄精多糖可调控多种 ceRNA、miRNA 和 mRNA 参与应答过程。

3 免疫调节作用

体内外研究表明,经环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠灌胃给予黄精多糖后,发现黄精多糖能显著增加小鼠胸腺指数、脾脏指数、胸腺细胞协同刀豆蛋白刺激指数和脾细胞协同刀豆蛋白刺激指数,并呈现良好的剂量正相关性。此外,黄精多糖对脾细胞增殖和单核巨噬细胞的吞噬能力具有一定的促进作用,并且可以明显改善环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠各项免疫功能指标,参与了免疫功能的保护,并对正常小鼠也具有一定的免疫调节作用^[20-22]。

Liu 等^[23]发现黄精多糖还可以通过增强 T 细胞、B 细胞的增殖反应和腹腔巨噬细胞的吞噬能力发挥免疫调节作用。Shu 等^[24]以环磷酰胺诱导的免疫抑制状态鸡动物模型为研究对象,发现黄精多糖能够提高免疫抑制状态鸡的生长性能,并且对维持免疫器官的结构和功能发挥重要作用,其主要是通过促进 T 细胞增殖,抑制脾脏、胸腺和法氏囊细胞凋亡,上调 IL-2、IL-6 和 IFN- γ 基因的表达来实现的。此外,石娟等^[25]应用耳肿胀法来测定小鼠的免疫功能,发现黄精多糖能够剂量相关性地增加小鼠的耳肿胀程度、溶血素水平和碳粒廓清指数,发挥免疫增强作用。

4 防治糖尿病

黄精多糖可通过抑制氧化应激反应、调节 PI3K/AKT 信号通路从而改善糖尿病的临床症状来防治糖尿病。王艺等^[26-27]应用链脲佐菌素(STZ)

建立糖尿病大鼠模型,发现黄精多糖能显著改善糖尿病大鼠生化指标和胰岛细胞形态,减少胰岛细胞的凋亡,从而增加胰岛素水平,还可以改善糖尿病大鼠多饮、多食、多尿和体质量减轻的临床症状,其机制可能与黄精多糖降低大鼠的氧化应激反应有关。对于高糖高脂饲料喂养联合腹腔注射 STZ 诱导的糖尿病模型大鼠,黄精多糖可以显著降低大鼠空腹血糖、血脂、总胆固醇、低密度脂蛋白和游离脂肪酸水平,使大鼠各项指标趋于正常水平,对糖尿病大鼠具有降血糖、改善胰岛素抵抗的作用^[28]。此外,ig 糖尿病模型小鼠 120、240、480 mg/kg 黄精多糖,均可使小鼠体质量增加,血糖、24 h 尿微量白蛋白、血清肌酐 (SCr) 和尿素氮 (BUN) 水平降低,表明黄精多糖可通过改善肾损伤来防治糖尿病^[29]。

黄精多糖还可以通过激活 PI3K/Akt 信号通路调节糖脂代谢来防治糖尿病的发生发展。Li 等^[30-31]研究发现黄精多糖能通过上调胰岛素受体底物 IRS-1 和 PI3K、AKT 蛋白的表达水平来改善小鼠糖脂代谢紊乱和胰岛素耐受,从而对糖尿病的发生发展发挥防治作用。

5 保护肾脏

黄精多糖可通过抗氧化、抗炎、调节 p38 MAPK/ATF2 信号通路来发挥肾脏保护作用。研究发现,黄精多糖可以降低顺铂诱导的肾损害模型大鼠 SCr、BUN 和肾组织匀浆中 MDA 含量,明显升高肾组织匀浆中 SOD 和 GSH-Px 水平,表明黄精多糖对肾脏具有一定的保护作用,其机制可能与黄精多糖的抗氧化活性有关^[32]。此外,对于肌肉注射庆大霉素引起的急性肾损伤模型大鼠,灌胃给予不同剂量黄精多糖后发现,黄精多糖可以显著降低急性肾损伤大鼠的肾脏指数、SCr 和 BUN 水平,抑制 p38 MAPK/ATF2 信号通路和炎症因子 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 的产生,并降低肾组织中早期急性肾毒性生物标志物中性粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白 (NGAL) 或肾损伤分子-1 (KIM-1) mRNA 的水平^[33]。付婷婷等^[34]在糖尿病模型大鼠中发现黄精多糖能够显著降低糖尿病大鼠 24 h 尿蛋白,抑制肾脏中纤维化因子升高,具有明显的肾脏保护作用。而对于大强度运动导致肾损伤的大鼠给予黄精多糖干预后发现,黄精多糖能够增加肾组织中抗氧化酶 SOD 和 GSH-Px 的活性,并且对肾小球的滤过功能具有改善作用,清除过量的自由基,维持系统中

NO 平衡,从而发挥对肾损伤的正向调理作用^[35]。

6 保护肝脏

黄精多糖主要通过抗氧化来对力竭训练导致的肝损伤、酒精性肝损伤和 CCl₄ 诱导的肝损伤发挥一定的保护作用。黎健民^[36]在研究黄精多糖对小鼠力竭训练导致的肝损伤的保护作用时发现,黄精多糖对肝脏的保护作用可能与其可以显著降低肝损伤小鼠肝组织中自由基的含量、提高小鼠肝组织中抗氧化酶活性、维持小鼠肝组织中一氧化氮系统的平衡、增加线粒体膜内 Na⁺,K⁺-ATP、Ca²⁺,Mg²⁺-ATP 活性从而保证细胞膜离子的正常运转有关。Wang 等^[37]采用大剂量乙醇建立酒精性肝损伤小鼠模型研究发现,黄精水提物可以明显抑制乙醇诱导的转氨酶活性、总胆红素 (TBIL) 和三酰甘油 (TG) 升高,并且降低肝脏氧化应激水平和减轻肝组织的病理损伤。同时黄精水提物能够显著提高 Nrf2 及其下游抗氧化基因 mRNA 和相关蛋白的表达,促进 Nrf2 在小鼠肝脏中的核易位。韩春杨等^[38-39]在研究黄精多糖对 CCl₄ 诱导的大鼠肝损伤的保护作用时发现,黄精多糖可以改善多个肝功能指标,并且不同剂量的黄精多糖对肝损伤大鼠的肝组织具有不同程度的改善作用。

7 抗骨质疏松

近年来,已有多项研究表明黄精多糖对骨细胞的生长分化具有一定的干预作用。刘超等^[40]在研究黄精多糖对肿瘤坏死因子 α (TNF- α) 作用的大鼠成骨细胞增殖和凋亡的影响时发现,黄精多糖可以通过上调 miR-212 的表达来促进成骨细胞增殖,并抑制其凋亡。张磊等^[41]通过向切除卵巢的大鼠灌胃黄精多糖发现,黄精多糖能够通过增加切除卵巢大鼠的骨密度,减少骨微结构的破坏,促进成骨分化相关基因的表达而抑制破骨分化相关基因的表达来改善切除卵巢导致的大鼠骨质疏松。叶松庆等^[42]选用摘卵巢后手术折断股骨干的大鼠为研究对象来探究黄精多糖对骨质疏松性骨折以及骨修复的调节作用,结果表明黄精多糖可能通过调控骨修复、骨代谢因子来提高骨质疏松性骨折大鼠的骨密度、生物力学性能,从而抑制骨质疏松的发展。体外研究表明,黄精多糖在 25 mg/L 或 2.59、5.19 μ mol/L 能够明显促进成骨细胞分化相关基因碱性磷酸酶、Runx2、骨钙素的表达,增加成骨细胞的活性,并且可以通过 Wnt/ERK/GSK-3 β / β -catenin 信号通路促进体外成骨细胞分化和矿化^[43-45]。

8 抗肿瘤

现代研究发现黄精多糖对多种肿瘤具有抑制作用。研究表明,黄精多糖 100、400 mg/kg 对 MFC 胃癌荷瘤模型小鼠进行干预能降低小鼠肿瘤质量,其作用机制可能与 TLR4/NF- κ B 信号通路有关。同时,黄精多糖能增加 NK 细胞活性和脾淋巴细胞增殖刺激指数,增加小鼠血清中 TNF- α 、IL-2 和 IL-6 水平,并且抑制小鼠脾脏中 TLR4、MyD88、NF- κ B mRNA 的表达^[46]。体内外研究证实,黄精多糖可能通过调控 TLR4-MAPK/NF- κ B 信号通路来增强免疫,从而发挥抗肿瘤作用^[47]。黄精多糖还可能通过维持骨髓造血和淋巴样再生来辅助三阴乳腺癌治疗,发挥持久的抗肿瘤作用^[48]。对于人宫颈癌 HeLa 细胞,黄精多糖可以上调凋亡基因 Bak、CytC、Puma 和 caspases-3 及相关蛋白的表达,而下调抗凋亡基因 Bcl-2、Bcl-xL、Bcl-2 蛋白的表达,从而促进癌细胞凋亡发挥抗肿瘤作用^[49]。

黄精多糖不仅可以通过自身发挥抗肿瘤活性,还可以通过与药物联用来增强其抗肿瘤效果。段华等^[50-51]建立肝癌 H22 移植瘤模型小鼠,发现单独使用黄精多糖和黄精多糖与低剂量顺铂联合使用都能显著降低小鼠的肿瘤质量,并随着黄精剂量增大抑瘤率逐渐升高,其机制可能是通过激活 caspase 系统来诱导细胞凋亡,并通过影响肿瘤细胞的生长周期来抑制细胞增殖。

9 抗炎、抑菌

黄精多糖可通过 TLR4/MyD88/NF- κ B 信号通路、AMPK 信号通路来发挥抗炎作用。对于急性肺损伤大鼠,黄精多糖可以降低大鼠支气管肺泡灌洗液中炎症因子 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 和 IL-8 水平以及其相关 mRNA 的表达,其作用机制可能是通过 TLR4/Myd88/NF- κ B 通路来抑制炎症反应^[52]。Liu 等^[53]研究发现黄精多糖可以通过激活 AMPK 信号通路来发挥抗炎作用。对于高糖刺激的 ARPE-19 细胞,黄精多糖显著抑制细胞中促炎细胞因子的分泌,并且具有剂量相关性^[54]。以抑菌圈的直径为评价指标,研究发现黄精多糖对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、鼠伤寒沙门氏菌、藤黄球菌和枯草芽孢杆菌都具有明显的抑制作用,并且抑菌圈直径随着黄精浓度增大而增大^[7, 55-56],表明黄精多糖抑菌作用具有一定的剂量相关性。

10 改善心肌细胞损伤

黄精多糖可能通过多种信号通路来改善心肌

细胞损伤。Zhu 等^[57]在研究黄精多糖对大鼠心肌细胞的保护作用时发现,高剂量的黄精多糖可能通过抗氧化应激、抗炎和抑制心肌细胞凋亡来提高急性心力衰竭大鼠的心肌功能,对阿霉素诱导的大鼠急性心力衰竭具有保护作用。尹新军等^[58]在研究自身免疫性心肌炎大鼠时发现,黄精多糖可能通过激活 JAK/STAT3 信号通路来减轻大鼠心肌纤维化变性,抑制氧化应激和炎症反应。安晏等^[59]给予急性心肌梗死模型大鼠不同剂量的黄精多糖,发现黄精多糖可能是通过抗氧化、调控凋亡和 Wnt/ β -catenin 通路相关蛋白的表达来改善心肌损伤。有研究表明,黄精多糖可能通过促进心肌中 BMP-7 的表达,并通过 TGF- β 1/Smads 信号通路来改善糖尿病大鼠心肌纤维化程度^[60]。

11 抗疲劳

杜小琴等^[61]通过小鼠负重游泳实验探索黄精多糖对小鼠的抗疲劳作用时发现,黄精多糖可以显著延长小鼠负重游泳时间和耐缺氧时间,降低血清乳酸含量、BUN、SOD、GSH-Px 和 MDA 水平,提高肌糖原、肝糖原和肌 ATP 含量。同时黄精多糖明显增加小鼠肌纤维横截面面积,提高骨形成蛋白 BMP-2、磷酸化 Smad1、Runt 相关转录因子 2 (Runx2) 和骨钙素 (OC) 蛋白的表达水平^[62],提示黄精多糖可能通过调节骨钙素信号通路来发挥抗疲劳作用。

12 结语

黄精有着数千年的用药历史,是我国传统的药食两用中药。黄精多糖作为黄精中研究较多的活性成分因其广泛的药理作用逐渐受到人们的重视。现代药理学研究表明,黄精多糖对于提高学习记忆能力、防治骨质疏松、抗糖尿病、抗肿瘤、调节免疫、延缓衰老、保护肝肾、抗炎抑菌、改善心肌细胞损伤和调节脂质代谢等具有重要作用,其发挥药理作用主要是通过调节相关信号通路、减轻氧化应激反应、减少机体自由基累积和抗炎等途径实现的。

虽然黄精多糖具有多种药理活性,但目前应用于临床的黄精多糖制剂以及市场上的黄精多糖产品类型较少。黄精多糖结构组成复杂,目前对于不同分子组成的黄精多糖的相关药理作用机制研究仍不深入。同时黄精炮制过程中多糖的组成变化以及黄精多糖结构修饰后对药理作用的研究都相对较少。因此,在今后的研究中,可以对不同组成的黄精多糖进行分离纯化,进一步阐明不同黄精多糖

的药理活性及其作用机制,从而推动黄精多糖新型治疗剂、功能性食品或佐剂的开发应用,为黄精产品的开发利用提供必要的科学依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 319-320.
- [2] 孙晓生. 《名医别录》六大特点及食疗养生应用 [J]. 新中医, 2011, 43(3): 118-119.
- [3] 任洪民, 张金莲, 邓亚玲, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS 的多花黄精酒制前后化学成分分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(4): 110-121.
- [4] Cui X, Wang S, Cao H, et al. A review: The bioactivities and pharmacological applications of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides [J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 1170.
- [5] Zhao X, Patil S, Qian A, et al. Bioactive compounds of *Polygonatum sibiricum*-Therapeutic effect and biological activity [J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2022, 22(1): 26-37.
- [6] Zhang H, Cai X T, Tian Q H, et al. Microwave-assisted degradation of polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* and antioxidant activity [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(4): 754-761.
- [7] Li L, Thakur K, Liao B Y, et al. Antioxidant and antimicrobial potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtoneura* Hua [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 114: 317-323.
- [8] 宫江宁, 云成悦, 吴婕, 等. 黄精多糖的提取优化及抗氧化活性研究 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2019, 37(3): 18-23.
- [9] 原丽容, 叶艺璐. 黄精多糖体外抗氧化作用研究 [J]. 海峡药学, 2020, 32(2): 18-21.
- [10] 汪涛, 周新群, 孙君社, 等. 低共熔溶剂提取黄精多糖工艺优化及抗氧化活性研究 [J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(6): 111-120.
- [11] 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.
- [12] 周东月, 关敬, 付博, 等. 黄精多糖提取工艺优化及体外抗氧化研究 [J]. 安徽农业科学, 2021, 49(13): 180-183.
- [13] 张玉琴, 刘垚君, 王欣垚, 等. 黄精多糖对 H_2O_2 诱导 HT22 细胞氧化损伤的保护作用 [J]. 江西中医药大学学报, 2021, 33(2): 92-95.
- [14] 刘垚君, 张玉琴, 方雅玲, 等. 黄精多糖调控 SIRT1/AMPK/PGC-1 α 信号通路改善 H_2O_2 诱导的 HT22 细胞氧化损伤 [J]. 中国现代应用药理学, 2021, 38(16): 1952-1957.
- [15] Zheng S. Protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on D-galactose-induced aging rats model [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 2246.
- [16] 刘露露, 李洪宇, 苑广信. 黄精多糖对 D-半乳糖诱导衰老小鼠学习和记忆水平的影响 [J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2021, 22(2): 192-197.
- [17] 陆连第, 段伟松, 赵玉, 等. 黄精多糖对血管性痴呆模型大鼠干预作用的实验研究 [J]. 中药材, 2018, 41(9): 2212-2215.
- [18] 唐伟, 王威, 谭丽阳, 等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆能力及脑组织超微结构影响 [J]. 中国中医药科技, 2017, 24(2): 173-176.
- [19] Zhang Z, Yang B, Huang J, et al. Identification of the protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on D-galactose-induced brain ageing in mice by the systematic characterization of a circular RNA-associated ceRNA network [J]. *Pharm Biol*, 2021, 59(1): 347-366.
- [20] 邓旭坤, 段欢, 刘钊, 等. 黄精多糖对环磷酰胺诱导小鼠免疫抑制的影响 [J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2018, 37(2): 49-53.
- [21] Chen Z, Liu J, Kong X, et al. Characterization and immunological activities of polysaccharides from *Polygonatum sibiricum* [J]. *Biol Pharm Bull*, 2020, 43(6): 959-967.
- [22] Wang Y, Liu N, Xue X, et al. Purification, structural characterization and *in vivo* immunoregulatory activity of a novel polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 160: 688-694.
- [23] Liu N, Dong Z, Zhu X, et al. Characterization and protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide against cyclophosphamide-induced immunosuppression in Balb/c mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 107: 796-802.
- [24] Shu G, Xu D, Zhao J, et al. Protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on cyclophosphamide-induced immunosuppression in chickens [J]. *Res Vet Sci*, 2021, 135: 96-105.
- [25] 石娟, 邓兴安, 周玲, 等. 黄精粗多糖对正常小鼠免疫功能的影响 [J]. 中国现代应用药理学, 2011, 28(1): 18-21.
- [26] 王艺, 彭国庆, 江新泉, 等. 黄精多糖对糖尿病大鼠模型的保护机制研究 [J]. 中医药导报, 2017, 23(2): 8-16.
- [27] 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* (Maywood), 2017, 242(1): 92-101.
- [28] 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.
- [29] 刘智君, 徐锦, 梁志敏, 等. 滇黄精多糖对低浓度链脲佐菌素所致的糖尿病肾病小鼠的影响 [J]. 中医药导报, 2021, 27(1): 12-15.
- [30] Li R, Tao A, Yang R, *et al.* Structural characterization, hypoglycemic effects and antidiabetic mechanism of a novel polysaccharides from *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl [J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 131: 110687.
- [31] 汪光军, 李九九, 何立峰, 等. 黄精多糖预防小鼠糖脂代谢紊乱的作用研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7829-7836.
- [32] 李超彦, 周媛媛, 赵克芳, 等. 黄精多糖对顺铂致肾损害大鼠的肾功能和抗氧化指标的影响 [J]. 中国老年学杂志, 2014, 34(21): 6120-6121.
- [33] Han C, Sun T, Liu Y, *et al.* Protective effect of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides on gentamicin-induced acute kidney injury in rats via inhibiting p38 MAPK/ATF2 pathway [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 151: 595-601.
- [34] 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.
- [35] 华岩. 黄精多糖对大强度运动大鼠肾脏损伤的调理作用 [J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2020, 41(1): 50-54.
- [36] 黎健民. 黄精多糖对力竭训练小鼠肝组织损伤的保护作用 [J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5): 1036-1041.
- [37] Wang G, Fu Y, Li J, *et al.* Aqueous extract of *Polygonatum sibiricum* ameliorates ethanol-induced mice liver injury via regulation of the Nrf2/ARE pathway [J]. *J Food Biochem*, 2021, 45(1): e13537.
- [38] 韩春杨, 杨明川, 杨致生, 等. 黄精多糖的提取及其对 CCL₄ 致大鼠肝损伤的保护作用 [J]. 浙江农业学报, 2018, 30(4): 537-547.
- [39] 丁杰英, 李嘉斌, 郑妮. 滇黄精多糖对四氯化碳所致肝损伤大鼠氧化因子、凋亡因子的影响 [J]. 广西医科大学学报, 2020, 37(10): 1766-1771.
- [40] 刘超, 徐飞, 吴涛, 等. 黄精多糖对 TNF- α 作用的大鼠成骨细胞增殖、凋亡影响及其机制研究 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2020, 26(8): 1147-1153.
- [41] 张磊, 曾高峰, 宗少晖, 等. 黄精多糖防治绝经后骨质疏松症的分子机制 [J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(4): 493-498.
- [42] 叶松庆, 李永全. 黄精多糖对骨质疏松性骨折大鼠骨修复及骨代谢因子的影响 [J]. 中国临床药理学杂志, 2019, 35(18): 2128-2131.
- [43] 农梦妮, 曾高峰, 宗少晖, 等. 黄精多糖调控骨髓间充质干细胞向成骨细胞分化 [J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(15): 2133-2139.
- [44] Liu J, Li T, Chen H, *et al.* Structural characterization and osteogenic activity in vitro of novel polysaccharides from the rhizome of *Polygonatum sibiricum* [J]. *Food Funct*, 2021, 12(14): 6626-6636.
- [45] Peng X, He J, Zhao J, *et al.* *Polygonatum sibiricum* polysaccharide promotes osteoblastic differentiation through the ERK/GSK-3 β / β -Catenin signaling pathway in vitro [J]. *Rejuvenation Res*, 2018, 21(1): 44-52.
- [46] 吕品田, 段昕波. 黄精多糖对 MFC 胃癌荷瘤小鼠抑瘤及免疫调节作用 [J]. 中成药, 2020, 42(8): 2169-2172.
- [47] Long T, Liu Z, Shang J, *et al.* *Polygonatum sibiricum* polysaccharides play anti-cancer effect through TLR4-MAPK/NF- κ B signaling pathways [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 111: 813-821.
- [48] Xie Y, Jiang Z, Yang R, *et al.* Polysaccharide-rich extract from *Polygonatum sibiricum* protects hematopoiesis in bone marrow suppressed by triple negative breast cancer [J]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 137: 111338.
- [49] Li L, Thakur K, Cao Y Y, *et al.* Anticancerous potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtoneura* Hua in Human cervical cancer Hela cells [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 148: 843-850.
- [50] 段华, 王保奇, 张跃文. 黄精多糖对肝癌 H22 移植瘤小鼠的抑瘤作用及机制研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2014, 25(1): 5-7.
- [51] 李超彦, 周媛媛, 王福青. 黄精多糖联合低剂量顺铂对小鼠 H22 肝癌移植瘤生长的抑制及其抗氧化损伤作用 [J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(5): 1038-1040.
- [52] Liu T Y, Zhao L L, Chen S B, *et al.* *Polygonatum sibiricum* polysaccharides prevent LPS-induced acute lung injury by inhibiting inflammation via the TLR4/Myd88/NF- κ B pathway [J]. *Exp Ther Med*, 2020, 20(4): 3733-3739.
- [53] Liu B, Tang Y, Song Z, *et al.* *Polygonatum sibiricum* F. Delaroche polysaccharide ameliorates HFD-induced mouse obesity via regulation of lipid metabolism and inflammatory response [J]. *Mol Med Rep*, 2021, 24(1): 501.
- [54] Wang W, Li S, Song M. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide inhibits high glucose-induced oxidative stress, inflammatory response, and apoptosis in RPE cells [J]. *J Recept Signal Transduct Res*, 2021: 1-8.
- [55] 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.

- [56] 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.
- [57] Zhu X, Wu W, Chen X, *et al.* Protective effects of *Polygonatum sibiricum* polysaccharide on acute heart failure in rats [J]. *Acta Cir Bras*, 2018, 33(10): 868-878.
- [58] 尹新军, 王贝贝, 李新建, 等. 黄精多糖对自身免疫性心肌炎大鼠 JAK/STAT 通路及心肌纤维化的影响 [J]. 免疫学杂志, 2021, 37(1): 26-32.
- [59] 安晏, 李雨松, 颜晓静. 黄精多糖对急性心肌梗死模型大鼠心肌损伤的改善作用 [J]. 中国药房, 2021, 32(13): 1572-1577.
- [60] 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.
- [61] 杜小琴, 梁正杰, 夏炎, 等. 多花黄精炮制品与生品不同提取物抗运动疲劳作用的比较 [J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(1): 26-30.
- [62] Shen W D, Li X Y, Deng Y Y, *et al.* *Polygonatum cyrtonema* Hua polysaccharide exhibits anti-fatigue activity via regulating osteocalcin signaling [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 175: 235-241.

[责任编辑 解学星]