

甘薯多糖的性质与开发利用

綦 峥*, 乐志威, 韩馥蕊, 冯雅杰, 杨 明

(哈尔滨商业大学药物工程技术研究中心, 哈尔滨 150076)

摘 要: 甘薯是我国主要的粮食作物之一, 不仅具有食用价值, 还具有预防心脑血管疾病、糖尿病和降低癌症风险等药用价值。多糖是一类复杂的高分子碳水化合物, 与蛋白质、核酸和脂类构成生命体的四大基本物质。甘薯多糖是由甘薯果实中分离出的一类有特殊生物活性的多糖, 具有抗肿瘤、抗氧化、降血糖、调节免疫等生物活性。食用含甘薯多糖的制品有利于提高我国居民健康水平, 然而目前, 我国对于甘薯多糖的开发利用率不高, 造成大量的功能性成分浪费, 限制了甘薯多糖产业的发展。本文综述了近年来国内外甘薯多糖的性质及其发展前景进行展望, 以期提高甘薯的综合利用价值, 为我国未被充分利用的大量甘薯提供其他可发展利用的可能性。

关键词: 甘薯多糖; 生物活性; 前景展望; 利用价值

Properties and exploitation of sweet potato polysaccharide

QI Zheng*, LE Zhi-Wei, HAN Fu-Rui, FENG Ya-Jie, YANG Ming

(Engineering Research Center for Medicine, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: Sweet potato is one of the main grain crops in China, which not only has edible value but also has medicinal value for preventing cardiovascular diseases, diabetes and reducing cancer risk. Polysaccharides are a type of complex high molecular carbohydrates, and it is one of 4 basic substances composed of life with proteins, nucleic acids and lipids constitute. Sweet potato polysaccharide is a kind of polysaccharide with special biological activity isolated from sweet potato fruit. It has biological activities such as anti-tumor, anti-oxidation, lowering blood sugar, and regulating immunity. The basic health level of Chinese residents can be improved by intake the products that containing sweet potato polysaccharides. However, development and utilization of sweet potato polysaccharides are poor at present, resulting in huge waste of functional ingredients, which leads to limited development of the sweet potato polysaccharide in industry. This paper reviewed the properties of sweet potato polysaccharides at home and abroad in recent years, and prospected their development prospects and provided the theoretical basis in order to improve the comprehensive utilization value of sweet potato and provide other possibilities for the development and utilization of a large number of underutilized sweet potato in China.

KEY WORDS: sweet potato polysaccharide; biological activity; prospect forecast; utilization value

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(LH2019D007)、黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(2020CX09)

Fund: Supported by the Heilongjiang Province Natural Science Foundation (LH2019D007), and the Heilongjiang Provincial Scientific Research Project of Basic Scientific Research (2020CX09)

*通信作者: 綦峥, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境科学与工程。E-mail: 18645039597@163.com

*Corresponding author: QI Zheng, Ph.D, Associate Professor, Harbin University of Commerce, Engineering Research Center for Medicine, Harbin 150076, China. E-mail: 18645039597@163.com

0 引言

甘薯(*Ipomoea batatas* L.), 别名红薯、地瓜或番薯, 属于旋花科。其含有多种营养物质, 包括蛋白质、碳水化合物、矿物质(钙、铁、钾和钠)、类胡萝卜素、膳食纤维、维生素(特别是维生素 C 和 B₆)、少量脂肪^[1]。甘薯是继水稻、小麦、马铃薯和玉米之后最重要的粮食作物^[2]。甘薯是世界上主要的粮食作物之一, 在所有热带和亚热带地区, 特别是亚洲、非洲和太平洋地区都有种植^[3], 亚洲和非洲地区占世界产量的 95%。在世界上种植的块根和块茎作物中, 甘薯仅次于木薯, 排名第二^[4-5]。在中国, 甘薯资源非常丰富, 种植面积和产量均位居世界第一^[6-7], 甘薯的产量如此庞大, 可食用之外的剩余价值并没有得到充分利用。本文旨在通过阐述其生理性质和目前研究现状为被浪费的甘薯提供其在医药以及保健方面应用的依据和参考。在中国, 甘薯根广泛用于淀粉制面条、烘焙食品、零食、糖果制品、淀粉糖浆、酒精和酿造业。除了在粮食安全方面发挥重要作用外, 它还因其营养丰富和健康促进的价值而被广泛种植^[8-9]。李时珍曾记载, 甘薯味甘平无毒, 具有健脾胃和补虚弱等功效^[10]。目前甘薯已成为我国主要农作物之一, 其中甘薯已成为保健品开发的热点食品。甘薯是一种用途极其广泛的蔬菜, 对儿童和成人的身体健康都非常有益。它不仅味甜, 而且对心血管健康、长寿、预防糖尿病和降低癌症风险都有好处。许多研究报道了甘薯的不同药用价值^[11-13]。因为甘薯的成分独特所以使得其有多种保健功效, 如抗氧化作用^[14]、保肝作用^[15]、抗炎作用^[16]、抗肿瘤作用^[17]、抗糖尿病作用^[18]、抗微生物作用^[19-20]、抗肥胖作用^[21]、抗衰老作用^[13]、改善记忆障碍^[22-23]等。这些特性被认为是植物化学物质的单一或综合作用的结果^[24]。甘薯在体外显示出相当高的 α -淀粉酶抑制特性, 这表明它们可作为糖尿病患者食品^[25]。甘薯以其独特的营养特性成为近年来研究的热点。

甘薯对健康有益取决于其具有的甘薯多糖、甘薯多酚、膳食纤维、维生素和矿物质等活性物质。多糖(polysaccharide)是生命体正常活动所必须的活性物质, 且为由糖苷键链接成的糖链。多糖为至少 10 个以上的单糖分子组合而成的聚合糖大分子碳水化合物, 分子量可达数万到百万^[26]。多糖与蛋白质、核酸和脂类构成生命体的四大基本物质。其在自然界中分布极其广泛, 亦很重要, 有的可作为细胞壁的组成成分、有的可贮存养分、有的具有特殊生物活性。目前发现的天然多糖有高达 300 多种^[27], 甘薯多糖(sweet potato polysaccharide, SPP)是从甘薯中分离出的一种有特殊生物活性的多糖, 在抗肿瘤、抗氧化、降血糖血脂和免疫调节等方面都具备良好功效^[28-30]。本文将重点从 SPP 的生理性质和开发应用进行

综述, 为提高 SPP 的药用价值提供参考。

1 甘薯多糖的药用价值

1.1 抗肿瘤

肿瘤疾病一直威胁着人类的生命安全, 肿瘤的预防和救治也是世界共同面临的困难。多糖能够有效地抑制肿瘤活性, 它主要通过两条途径来抗肿瘤: 第一条途径是通过提高自身免疫功能来预防肿瘤疾病发生, 多糖能够促使免疫细胞和其他细胞因子的合成; 第二条是通过多糖自身对肿瘤细胞的毒性和通过影响肿瘤细胞的代谢直接和间接的杀死肿瘤细胞。SPP 对肿瘤细胞具有直接抑制作用。由鼠李糖、木糖、葡萄糖和半乳糖组成的多糖对人胃癌细胞株 SGC7901 和人结肠癌细胞株 SW620 的生长抑制作用最强^[31]。近年来, 赵国华等^[32-33]在甘薯内分离出来 1 种 SPP 为 SPPS-I-Fr-II, 研究表明, 此多糖在一定剂量上具有增强免疫力和抗肿瘤的功效。TIAN 等^[34]在分析 SPP 对于 B16 黑色素瘤和 Lewis 肺癌的抑制效果中做了多组不同剂量的实验, 实验结果显示 SPP 在高剂量组对 B16 黑色素瘤和 Lewis 肺癌均显著抑制。SPP 对 K562 乳腺癌细胞和 Hca-f 实体瘤细胞具有明显的抑制作用^[35], 而 SPP 对天然细胞(成纤维细胞)的抑制作用很小。紫心甘薯是甘薯的一种特有品种, 其成分含量以及生理活性都与甘薯十分相似。叶小利等^[36]通过 S₁₈₀ 荷瘤小鼠的研究, 表明紫心甘薯多糖(purple sweet potato polysaccharide, PSPP)对肿瘤的抑制率最高可达 40%。进一步实验还发现, PSPP 和 5-氟尿嘧啶(5-FU)联合使用的话能够提高肿瘤的抑制率, 并有效防止使用 5-FU 产生的副作用。小剂量多糖混合治疗组对肿瘤有抑制作用, 对 5-FU 引起的胸腺和脾脏重量萎缩有明显的保护作用, 对白细胞减少有拮抗作用。在此之后, 刘主等^[37-39]对荷瘤小鼠的胸腔指数和抑制率等多项指标进行了测定, 也验证了 SPP 在抗肿瘤上有着一定的作用。罗丽萍等^[40-41]在研究 SPP 抗肿瘤作用的同时对其作用机理也进行了探究, 结果表明, 甘薯多糖抑制肿瘤率可达 33.53%, 其通过调节免疫功能和抗氧化功能来抑制肿瘤发生。

1.2 抗氧化

已知的植物多糖的抗氧化作用主要通过以下几种方式: (1)直接将活性氧清除; (2)通过络合产生活性氧赖以生存的金属离子; (3)加快超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的释放; (4)增强抗氧化酶的活性。抗氧化剂主要是通过以下 2 种途径达到抗氧化的作用: 一是直接将游离的自由基清除干净, 二则是增强自身抗氧化系统的检测强度, 在自由基的源头进行控制。田春宇等^[42-43]以荷瘤小鼠为研究对象, 探究 SPP 对羟自由基和活性氧自由基的影响, 并检测了 SOD 和过氧化反应产物丙二醛

(malondialdehyde, MDA)的含量。结果表明,在体外实验中发现 SPP 能够清除羟自由基和活性氧自由基;在荷瘤小鼠体内实验结果表明,肿瘤生长慢的小鼠测得的 SOD 活性强,MDA 的含量较低,而肿瘤生长快的小鼠测得 SOD 的活性差,MDA 的含量较高,表明 SPP 具有显著的抗氧化作用。高秋萍等^[44]建立了链脲佐菌素干预糖尿病大鼠的模型,对糖尿病大鼠的肝脏进行抗氧化指标研究,结果表明,在适当补充 PSPP 之后,大鼠的各项指标均得到提升,他们推测,PSPP 使糖尿病大鼠的血糖降低,从而导致抗氧化酶糖基化降低,加强了抗氧化酶的活性,达到了清除体内自由基的作用。

1.3 降血糖

正常情况下人体内血糖、血脂是呈现一个动态平衡,而平衡的意义在于可以稳定地为细胞代谢提供能源物质。一旦平衡被打破,机体可能会患各种心血管疾病。因此为了预防因为血糖失衡所带来的各种疾病,将血糖血脂控制在正常范围内是非常重要的。高秋萍^[45]通过对糖尿病大鼠注射 SPP 的实验发现与糖尿病组大鼠相比实验组的大鼠体重随浓度增加而增加、摄水量随着浓度增加而减少、以及高浓度血糖诱导下产生的 MDA 含量下降,实验结果显示糖尿病大鼠在给药后的血糖浓度有所下降。表明 SPP 具有一定的降血糖、血脂的功能,可以作为糖尿病人的药食制品。

1.4 免疫调节

免疫调节是机体维持自身生理功能稳定的一个自我调节机制,是机体识别和排除抗原性异物的一个过程,而具有生物活性的多糖可以激活免疫细胞在不同程度上对机体的免疫系统起调节作用。ZHAO 等^[46]的实验研究发现,在 3 种不同剂量(50、150 和 250 mg/kg)的 PSPP 影响下,低剂量组的淋巴细胞数量和血清 IgG 浓度显著增加,而中高剂量组的所有免疫指标都有所上升,说明不同浓度的 PSPP 对小鼠的免疫系统有不同程度的调节作用。还有研究表明,薯蓣多糖可以通过促进巨噬细胞的吞噬功能增强小鼠的非特异性免疫和特异性体液免疫^[41]。

1.5 其他

除了以上 4 种主要的药用价值,SPP 还具有抗疲劳、抗炎、抗菌等功能。赵婧等^[47]通过 PSPP 与 SPP 的对比试验发现,SPP 能使运动后的肝糖原和肌糖原含量提升,肝组织的 SOD 活力提高,MDA 降低。说明 SPP 具有抗疲劳作用,并且 PSPP 的效果优于 SPP。CHEN 等^[48]从甘薯中提取了稀碱溶性甘薯多糖(alkali-soluble sweet potato polysaccharide, ASPP)并对其进行研究,发现 ASPP 能够抑制脂多糖处理的 RAW264.7 巨噬细胞中促炎因子表达水平,提高抗炎因子的表达。还有研究表明 SPP 在偏酸性条件下

具有较稳定的抗菌作用,可以增加食品的耐热性使其不易变质^[49]。

2 甘薯多糖的研究现状

由于目前 SPP 还停留在实验研究阶段,并没有完整的 SPP 产品应用于保健和医药行业,故发展前景非常大。JI 等^[50]通过研究 PSPP 对人癌细胞增殖的影响发现,PSPP 对人不同的癌细胞具有不同的剂量依赖性的抑制作用。实验结果显示,在 125 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 浓度的 PSPP 对人乳腺癌细胞 MCF-7 剂量依赖性抑制作用约为 25%;对人结肠癌细胞 LOVO 约为 30%;对人肝癌细胞约 24%。但是对人胃癌细胞 SGC-7901 和 HGC-27 的抑制作用非常弱,即使在最高浓度 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时 PSPP 对人胃癌细胞 SGC-7901 和 SGC-27 的抑制作用也不过 4%。并且 500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 PSPP 对人的正常肝细胞 LO2、人正常结肠上皮细胞 NCM460、人正常乳房上皮细胞系 MCF-10A 没有抑制作用。在最高浓度 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时 LO2、MCF-10A 和人胃黏膜上皮细胞 GES-1 的细胞毒性大约为 8.6%、4.8%和 9.1%。其中 125 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时对 GES-1 的细胞毒性大约为 6.4%。表明 PSPP 的安全剂量范围广,并可以用于治疗人类肝癌,结肠癌和乳腺癌,但对胃癌治疗效果并不好。

3 结束语

甘薯可以作为一种可持续生产作物进一步开发,可作为增强营养和特殊需求人员的食品产品,促进人类健康。SPP 具有抗氧化、抗衰老、抗菌、降血糖等多种生理活性和生物可降解性,是生物医学领域的新兴成分。由于多糖具有低毒多活性,因此在 SPP 的研究和应用中无疑具有重要的意义和前景。与其他多糖相比,SPP 的研究还不够深入,还有非常大的发展潜力。为了能够充分利用被浪费的甘薯产量,SPP 的综合利用还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] VAMOUNGNE K. Nutritional components of sweet potato and nanoemulsion of β -carotene [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [2] MOTSA NM, MODI AT, MABHAUDHI T. Influence of agro-ecological production areas on antioxidant activity, reducing sugar content, and selected phytonutrients of orange-fleshed sweet potato cultivars [J]. Food Sci Technol Camp, 2015, 35: 32-37.
- [3] 张嘉欣, 张嘉琪, 李育军, 等. 甘薯营养与加工研究进展[J]. 长江蔬菜, 2019, (2): 31-34.
ZHANG JX, ZHANG JQ, LI YJ, et al. Progress on nutrition and processing of sweet potato [J]. J Changjiang Veg, 2019, (2): 31-34.
- [4] ELSHEIKHA AF, RAY RC. Potential impacts of bio-processing of sweet potato: Review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2017, 57: 455-471.
- [5] 陆建珍, 汪翔, 秦建军, 等. 我国甘薯种植业时空布局分析及产业发展建议[J]. 天津农业科学, 2020, 26(3): 53-62.

- LU JZ, WANG X, QIN JJ, *et al.* A report on spatiotemporal layout of sweet potato planting and industry development suggestions in China [D]. Tianjin Agric Sci, 2020, 26(3): 53–62.
- [6] 乔汉楨, 宋爽, 邵会敏, 等. 甘薯多糖的提取工艺、生理功能及应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41: 321–325, 332.
- QIAO HZ, SONG S, SHAO HM, *et al.* Advances in extraction technology, biological activity and application of sweet potato polysaccharide [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41: 321–325, 332.
- [7] RASHID MT. Influence of ultrasound and osmotic pretreatments on drying kinetics and bioactive composition of sweet potatoes (*Ipomea Batatas* L.) [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2019.
- [8] LEE YM, BAE JH, KIM JB, *et al.* Changes in the physiological activities of four sweet potato varieties by cooking condition [J]. Korean J Nutr, 2012, 45: 12–19.
- [9] 汤丽琴, 徐玉娟, 唐道邦, 等. 4种甘薯的营养成分分析[J]. 食品工业, 2020, 41: 336–339.
- TANG LQ, XU YJ, TANG DB, *et al.* Analysis of the nutritional content of four sweet potatoes [J]. Food Ind, 2020, 41: 336–339.
- [10] 李时珍. 本草纲目[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1997.
- LI SZ. Compendium of materia medica [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1997.
- [11] 张婷, 陈小伟, 张琪, 等. 紫薯功能性与其食品开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39: 315–319, 324.
- ZHANG T, CHEN XW, ZHANG Q, *et al.* Research progress of functional and product development of purple sweet potatoes [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39: 315–319, 324.
- [12] 罗丹, 木泰华, 孙红男. 甘薯茎叶多酚分离纯化及降血糖活性研究进展[J]. 核农学报, 2021, 35: 424–437.
- LUO D, MU TH, SUN HN. Research progress in separation, purification and antihyperglycemic activity of sweet potato leaf polyphenols [J]. J Nucl Agric Sci, 2021, 35: 424–437.
- [13] 孟辉, 卢声. ICP-MS法测定甘薯、甘薯茎、叶中微量元素[J]. 食品工业, 2019, 40: 312–314.
- MENG H, LU S. Determination of trace elements in sweet potato, sweet potato stem and leaf by ICP-MS [J]. Food Ind, 2019, 40: 312–314.
- [14] 张贺, 尹昱婷, 王娟紫, 等. 不同肉色甘薯块根抗氧化活性和食味比较[J]. 食品科技, 2020, 45: 69–73.
- ZHANG H, YIN YT, WANG JZ, *et al.* Comparison of antioxidant activity and taste of sweet potato tubers with different flesh-color [J]. Food Sci Technol, 2020, 45: 69–73.
- [15] 李佳睿, 李泓焯, 喻凯, 等. 紫甘薯花青素对肝癌的影响及其机制的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30: 41–44.
- LI JR, LI HY, YU K, *et al.* Effect and mechanism of purple sweet potato anthocyanins on liver cancer [J]. Nat Prod Res Dev, 2018, 30: 41–44.
- [16] 布会敏, 孙勇, 袁博, 等. 甘薯多糖的保健功能[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版), 2018, 36: 45–52.
- BU HM, SUN Y, YUAN B, *et al.* Health benefits of sweet potato polysaccharides [J]. J Jiangsu Norm Univ (Nat Sci Ed), 2018, 36: 45–52.
- [17] 张子依, 陈锦瑞, 刘荣瑜, 等. 甘薯及其主要成分体内生物活性研究进展[J]. 中草药, 2020, 51: 3308–3317.
- ZHANG ZY, CHEN JR, LIU RY, *et al.* Research progress of biological activity of ipomea batatas and its main components *in vivo* [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2020, 51: 3308–3317.
- [18] 沈梦兰, 庞林江, 陆国权, 等. 甘薯叶菜的营养保健及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2019, 40: 270–274.
- SHEN ML, PANG LJ, LU GQ, *et al.* Application value and research status of storage and preservation of sweet potato leafy vegetables [J]. Food Ind, 2019, 40: 270–274.
- [19] 国鸽, 张晓鹏, 张杰, 等. 甘薯 Sporamin 蛋白对结直肠癌 ICR 小鼠肠道细菌的影响[J]. 毒理学杂志, 2018, 32: 228–232.
- GUO G, ZHANG XP, ZHANG J, *et al.* Detection of impact of sweet potato Sporamin protein on the intestinal bacteria in ICR mice with colorectal cancer by fluorescent quantitative PCR [J]. J Toxicol, 2018, 32: 228–232.
- [20] 高美玲. 甘薯渣中可溶性膳食纤维对肠道菌群的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- GAO ML. Effect of soluble dietary fiber of sweet potato on intestinal microflora [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [21] 黄育香, 王朝霞. 红薯软腐病的发病条件、症状及防治措施[J]. 农民致富之友, 2018, (19): 136.
- HUANG YX, WANG ZX. Conditions, symptoms and control measures of sweet potato soft rot [J]. Friends Farm Get Rich, 2018, (19): 136.
- [22] 明玥, 梁志宏. 甘薯的功能性成分及其开发利用途径[J]. 食品科技, 2020, 45: 174–179.
- MING Y, LIANG ZH. Functional components and development and utilization pathways of sweet potato [J]. Food Sci Technol, 2020, 45: 174–179.
- [23] WU D, LU J, ZHENG Y, *et al.* Purple sweet potato color repairs *D*-galactose-induced spatial learning and memory impairment by regulating the expression of synaptic proteins [J]. Neurobiol Learn Mem, 2008, 90: 19–27.
- [24] AYELESO TB, RAMACHELA K, MUKWEVHO E. A review of therapeutic potentials of sweet potato: Pharmacological activities and influence of the cultivar [J]. Trop J Pharm Res, 2016, 15: 2751–2761.
- [25] SAIDU S, ELEAZU CO, EBUKA D, *et al.* Starch hydrolysis, polyphenol contents, and *in vitro* alpha amylase inhibitory properties of some nigerian foods as affected by cooking [J]. Front Nutr, 2017, 4: 60.
- [26] YU Y, SHEN M, SONG Q, *et al.* Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review [J]. Carbohydr Polym, 2018, 183: 91–101.
- [27] 徐青, 李冰晶, 罗丽平, 等. 蓝莓多糖的提取分离及生物活性研究进展[J]. 现代化工, 2019, 39: 38–41.
- XU Q, LI BJ, LUO LP, *et al.* Purification of blueberry polysaccharides and study on their biological activity [J]. Mod Chem Ind, 2019, 39: 38–41.
- [28] TANG C, SUN J, ZHOU B, *et al.* Immunomodulatory effects of polysaccharides from purple sweet potato on lipopolysaccharide treated RAW 264.7 macrophages [J]. J Food Biochem, 2018, 42(3): 1–11.
- [29] SUN J, ZHOU B, TANG C, *et al.* Characterization, antioxidant activity and hepatoprotective effect of purple sweet potato polysaccharides [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 115: 69–76.
- [30] TANG C, SUN J, ZHOU B, *et al.* Effects of polysaccharides from purple sweet potatoes on immune response and gut microbiota composition in normal and cyclophosphamide treated mice [J]. Food Funct, 2017, 9: 937–950.
- [31] WU Q, QU H, JIA J, *et al.* Characterization, antioxidant and antitumor activities of polysaccharides from purple sweet potato [J]. Carbohydr

- Polym, 2015, 132: 31–40.
- [32] 赵国华. 四种根茎类食物活性多糖的研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2001.
- ZHAO GH. Study on the active polysaccharides of four kinds of roots and stems [D]. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2001.
- [33] 赵国华, 李志孝, 陈宗道. 甘薯多糖 SPPS-I-Fr-II组分的结构与抗肿瘤活性[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(3): 59–61.
- ZHAO GH, LI ZX, CHEN ZD. Chemical structure and antitumor activity of sweet potato polysaccharides fraction SPPS-I-Fr-II [J]. J Chin Cere Oil Ass, 2003, 18(3): 59–61.
- [34] TIAN C, WANG G. Study on the anti-tumor effect of polysaccharides from sweet potato [J]. J Biotech, 2008, 136: S351.
- [35] XIE G, SCHEPETKIN IA, SIEMSEN DW, *et al.* Fractionation and characterization of biologically-active polysaccharides from *Artemisia tripartite* [J]. Phytochemistry, 2008, 69(9): 1359–1371.
- [36] 叶小利, 李学刚, 李坤培. 紫色甘薯多糖对荷瘤小鼠抗肿瘤活性的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2005, (2): 333–336.
- YE XL, LI XG, LI KP. Effect of polysaccharide in purple sweet potato on the antitumor activity of cancer bearing mice [J]. J Southwest China Norm Univ (Nat Sci), 2005, (2): 333–336.
- [37] 刘主, 彭凌, 朱必凤, 等. 甘薯糖蛋白 SPG-1 的分离纯化及其降血糖作用研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 68–72.
- LIU Z, PENG L, ZHU BF, *et al.* Studies of SPG-1 on purification and reducing serum glucose [J]. Food Res Dev, 2006, 27(11): 68–72.
- [38] 刘主, 朱必凤, 彭凌, 等. 甘薯糖蛋白 SPG-1 抗肿瘤及免疫调节作用研究[J]. 食品科学, 2007, (5): 312–316.
- LIU Z, ZHU BF, PENG L, *et al.* Experimental study on SPG-1 on antitumor and immune activity of tumor mice [J]. Food Sci, 2007, (5): 312–316.
- [39] 刘主, 朱必凤, 邹佩贞, 等. 甘薯糖蛋白 SPG-1 对 H22 荷瘤小鼠的体内抗氧化作用[J]. 江苏农业科学, 2008, (1): 207–209.
- LIU Z, ZHU BF, ZOU PZ, *et al.* Antioxidant effect of sweet potato glycoprotein SPG-1 on H22 tumor-bearing mice *in vivo* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2008, (1): 207–209.
- [40] 罗丽萍, 高荫榆, 王应想, 等. 薯蓣多糖降血糖作用的研究[J]. 食品科学, 2005, (9): 432–435.
- LUO LP, GAO YY, WANG YX, *et al.* Hypoglycemic effect of polysaccharides from sweet potato vines [J]. Food Sci, 2005, (9): 432–435.
- [41] 高荫榆, 罗丽萍, 洪雪娥, 等. 甘薯叶柄藤多糖的免疫调节作用研究[J]. 食品科学, 2006, (6): 200–202.
- GAO YY, LUO LP, HONG XE, *et al.* Study on immunoregulation effect of polysaccharides from sweet potato vines in mice [J]. Food Sci, 2006, (6): 200–202.
- [42] 田春宇, 王关林. 甘薯多糖抗氧化作用研究[J]. 安徽农业科学, 2007, (35): 11356–11401.
- TIAN CY, WANG GL. Study on the antioxidation of polysaccharide from sweet potato [J]. J Anhui Agric Sci, 2007, (35): 11356–11401.
- [43] 田春宇. 甘薯多糖分离纯化及生物活性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- TIAN CY. Isolation and biological activities of polysaccharide from sweet potato [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.
- [44] 高秋萍, 阮红, 毛童俊, 等. 紫心甘薯多糖的抗氧化活性研究[J]. 营养学报, 2011, 33: 56–60.
- GAO QP, RUAN H, MAO TJ, *et al.* Study on the antioxidant activity of polysaccharide from purple sweet potato [J]. Acta Nutr Sin, 2011, 33: 56–60.
- [45] 高秋萍. 紫心甘薯多糖的提取与生物活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- GAO QP. Extraction, isolation and biological properties of polysaccharides from purple sweet potato [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [46] ZHAO G, KAN J, LI Z, *et al.* Characterization and immunostimulatory activity of an (1→6)- α -D-glucan from the root of *Ipomoea batatas* [J]. Int Immunopharmacol, 2005, 5: 1436–1445.
- [47] 赵婧, 阮红, 徐玲芬, 等. 紫心甘薯多糖抗疲劳活性及其机制研究[J]. 食品科技, 2011, 36: 57–61.
- ZHAO J, RUAN H, XU LF, *et al.* Anti-fatigue effects of polysaccharide from purple sweet potato [J]. Food Sci Technol, 2011, 36: 57–61.
- [48] CHEN H, SUN J, LIU J, *et al.* Structural characterization and anti-inflammatory activity of alkali-soluble polysaccharides from purple sweet potato [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 131: 484–494.
- [49] 张彧, 高荫榆, 张锡彬, 等. 红薯茎叶多糖提取物抑菌活性的研究[J]. 食品与机械, 2007, (5): 84–86.
- ZHANG Y, GAO YY, ZHANG XB, *et al.* Bacteriostasis of polysaccharides extractive of sweet potato stem and leaf [J]. Food Mach, 2007, (5): 84–86.
- [50] JI C, ZHANG Z, ZHANG B, *et al.* Purification, characterization, and *in vitro* antitumor activity of a novel glucan from the purple sweet potato *Ipomoea Batatas* (L.) Lam [J]. Carbohydr Polym, 2021, 257: 117605.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



蔡 崢, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境科学与工程。

E-mail: 18645039597@163.com