

# 山药多糖功能活性及新产品开发研究进展

彭新<sup>1</sup>, 牛乐<sup>1</sup>, 周宁<sup>1,2,3</sup>, 李赫宇<sup>4</sup>, 王金金<sup>1</sup>, 毋启桐<sup>1</sup>, 李凯<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. 河南中医药大学, 河南 郑州 450046; 2. 河南省中药特色炮制技术工程研究中心, 河南 郑州 450046; 3. 呼吸疾病诊疗与新药研发河南省协同创新中心, 河南 郑州 450046; 4. 天津益倍元天然产物技术有限公司, 天津 300457)

**摘要:** 山药多糖是从山药中提取、纯化得到的一类多糖化合物, 是山药的主要活性成分之一, 广泛应用于药品、食品以及保健品中。目前研究发现, 山药多糖具有抗疲劳力、调节免疫力、抗衰老、改善性功能、降血糖、降血脂、抗氧化、保肝、抗癌、神经保护、预防老年痴呆、抗菌、调节肠道菌群、抗应激等多种功能活性。此外, 山药多糖的深加工应用主要集中在免疫调节剂、肠道微生态调节剂、保肝剂、补铁剂、烟草添加剂、抗氧化剂、保鲜剂、乳化剂等多个领域。该文对山药多糖的功能活性及新产品现状进行综述, 并对目前山药多糖研究的局限性进行分析, 以期为进一步开发利用提供参考。

**关键词:** 山药; 山药多糖; 功能活性; 新产品; 开发

## Research Progress in Functional Activity and New Product Development of Chinese Yam Polysaccharide

PENG Xin<sup>1</sup>, NIU Le<sup>1</sup>, ZHOU Ning<sup>1,2,3</sup>, LI He-yu<sup>4</sup>, WANG Jin-jin<sup>1</sup>, WU Qi-tong<sup>1</sup>, LI Kai<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, Henan, China; 2. Henan Research Center for Special Processing Technology of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, Henan, China; 3. Collaborative Innovation Center for Respiratory Disease Diagnosis and Treatment & Chinese Medicine Development of Henan Province, Zhengzhou 450046, Henan, China; 4. Tianjin Ubasio-Ingredient Natural Products Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

**Abstract:** Chinese yam polysaccharide, a kind of polysaccharide compounds extracted and purified from Chinese yam, is one of the major active components of Chinese yam and widely used in medicine, food and health products. At present, it was found that Chinese yam polysaccharide had many pharmacological activities, including anti-fatigue, regulating immunity, anti-aging, improving sexual function, lowering blood sugar, reducing blood fat, anti-oxidation, protecting liver, anti-cancer, nerve protection, preventing Alzheimer's syndrome, anti-bacterial, regulating intestinal flora, anti-stress and so on. In addition, the application of deep-

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2018GGJS083); 2019 河南省科技厅科技研发专项(192102310172); 河南省高等学校重点科研项目(19A360001)

作者简介: 彭新(1970—), 男(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 中医药在病毒性疾病中的临床与应用。

\* 通信作者: 李凯(1982—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 中药炮制研究。

[33] 谢冬娣, 覃丽丹. 咪鲜胺添加助剂在采后荸荠保藏中的应用[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 179-182

[34] 钱红玫, 胡文忠, 李琳, 等. 乳酸链球菌素和柠檬酸对甜樱桃中沙门氏菌的抑制[J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 275-279

[35] 王东坤, 陈丁, 郭娜, 等. Nisin-结冷胶-瓜尔豆胶复合膜的抑菌性及在荸荠保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 134-138

[36] 王莉嫦. 乳酸链球菌素在鸡汁鲍鱼罐头中的应用[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 174-175, 199

[37] 姜旭德, 张春华. 乳酸菌素及其乳酸链球菌素在食品中的应用[J]. 中国乳业, 2017(2): 60-62

[38] Müller-Auffermann K, Grijalva F, Jacob F, et al. Nisin and its usage in breweries: a review and discussion [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2015, 121(3): 309-319

[39] Sun J X, Zhu H X, Guo J P, et al. The bacteriostasis study of nisin for the raspberry health draft beer[J]. Physics Procedia, 2012, 25: 973-977

收稿日期: 2019-08-13

processed yam polysaccharide were mainly concentrated in the fields of immunomodulator, intestinal microecological modulator, liver protecting agent, iron supplement, tobacco additive, antioxidant, preservative, emulsifier, etc. This paper reviewed the functional activity and new product status of Chinese yam polysaccharide and analyzed the limitations of current research, providing reference for further development and utilization.

**Key words:** Chinese yam; Chinese yam polysaccharide; functional activity; new product; development

引文格式:

彭新,牛乐,周宁,等.山药多糖功能活性及新产品开发研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(17):204-209

PENG Xin, NIU Le, ZHOU Ning, et al. Research Progress in Functional Activity and New Product Development of Chinese Yam Polysaccharide[J]. Food Research and Development, 2020, 41(17): 204-209

山药为传统的药食两用中药,来源于薯蓣科薯蓣(*Dioscorea opposita* Thunb.)的干燥根茎。传统认为,以河南焦作所产的怀山药为佳。山药性平、味甘,具有补脾养胃、生津益肺、补肾涩精等作用,主要含有多糖、皂苷、脂类、黄酮、蛋白质与氨基酸等成分,其中山药多糖是其主要活性成分之一。近些年来,国内外学者围绕山药多糖的药理活性做了大量研究工作,取得了丰富成果。本文在查阅文献基础上,综述了近八年山药多糖药理作用研究进展,以期对山药多糖的深入研究和进一步开发提供参考。

## 1 功能活性

### 1.1 免疫调节、抗疲劳

山药常作为扶正类中药用于临床,其主要成分山药多糖的免疫调节及抗疲劳作用是其研究热点之一。体外试验显示,山药多糖剂量低于 500  $\mu\text{g/mL}$  时,可以促进巨噬细胞株 RAW264.7 细胞分泌一氧化氮(nitric oxide, NO)和细胞因子白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (tumor necrosis factor, TNF- $\alpha$ )、单核细胞趋化蛋白-1(monocyte chemoattractant protein-1, MCP-1),提高细胞表达组织相容性复合体-II(major histocompatibility complex-II, MHC-II)类分子的水平。动物实验显示,其可以恢复免疫抑制小鼠腹腔巨噬细胞 MHC-II 类分子表达水平,参与机体免疫防御功能和促进炎症反应<sup>[1]</sup>。许效群等<sup>[2]</sup>发现,中、高剂量山药多糖能显著改善免疫脏器指数和吞噬细胞的吞噬指数、血清溶血素水平,高剂量组还极显著增加迟发型变态反应引起的小鼠足跖厚度。此外,水溶性多糖也具有改善正常和免疫抑制小鼠的免疫调节作用<sup>[3]</sup>,不同部位的山药多糖免疫增强能力也有不同,王德青等<sup>[4]</sup>研究认为 80%乙醇沉淀部位,促进淋巴细胞增殖和增加脾脏指数,进而增强小鼠脾脏淋巴细胞功能和体内免

疫活性的作用最强。但有学者认为,山药多糖对正常小鼠免疫力有促进作用,对实邪证模型小鼠免疫力则有削弱作用,建议临床用药时注意区分<sup>[5]</sup>。以上研究结果表明,山药多糖可通过提高吞噬细胞吞噬能力、T 淋巴细胞增殖能力以及浆细胞分泌抗体能力等,发挥其增强机体非特异性免疫以及特异性细胞免疫和体液免疫作用。

不同的护色剂对山药多样免疫调节活性有一定影响,如采用产乳酸芽孢杆菌发酵液护色的山药,显著优于采用亚硫酸钠护色的免疫活性<sup>[6]</sup>。此外,也有学者考察了热、酸、酶等因素,对山药多糖免疫活性的影响,发现山药多糖在热处理和体内消化过程中,能保持其免疫活性,但强酸有可能破坏其免疫活性<sup>[7]</sup>。

研究表明,一定剂量的山药多糖,还能有效延长小鼠的游泳时间和耐缺氧时间,降低运动后血清尿素的增量,显著增加运动小鼠肝糖原的储备,对小鼠有明显的抗疲劳、抗缺氧作用<sup>[8]</sup>。

### 1.2 抗衰老、改善性功能

衰老是生命运动发展过程中正常的生理现象,其中,性功能减退是衰老的重要表现之一。《神农本草经》中称山药可“轻身不饥延年”,即山药可以延缓衰老。以果蝇为动物模型研究发现,长山药粗多糖具有延缓衰老、提高果蝇半数寿命的作用,其中 5% 山药粗多糖能显著提高果蝇吃食数、性活力、飞翔能力、寿命等,且雌雄果蝇平均寿命和最高寿命延寿率有所不同,造成这种现象的原因可能是雌雄果蝇对山药粗多糖的敏感程度不同<sup>[9]</sup>。山药粗多糖可增强果蝇飞翔能力,浓度与飞翔率呈正相关。较低浓度(0.1%、0.5%)的山药粗多糖,可缩短果蝇潜伏期时间;较高浓度(1.0%、1.5%)的山药粗多糖可延长交配时间,而且随着山药粗多糖的浓度增加,果蝇子代数随之增加,认为适量的山药粗多糖能使果蝇受精卵生存力提高,使更多的受精卵

发育为成虫<sup>[10]</sup>。Zhang等<sup>[11]</sup>以36例27岁~39岁正常生育男性精子为研究对象,发现山药多糖具有提高精子活力和保护精子DNA完整性的作用。

在山药多糖配伍使用方面,发现其与牡蛎低聚肽、核桃低聚肽配伍后,可增加雄性小鼠附性器官指数,提高血清NO和睾酮含量,提高海绵体环磷酸鸟苷(cyclic guanosine monophosphate, cGMP)含量并降低5型磷酸二酯酶(phosphodiesterase type 5, PDE5)水平,此外还可缩短小鼠骑跨潜伏期并增加骑跨次数和交配次数,提示配伍后能够增强雄性小鼠的性功能<sup>[12]</sup>。

延缓衰老是中医养生目标之一,而药食同源是中医传统思想之一。因此,山药多糖的延缓衰老、改善性功能作用,可作为一种有前途的功能性材料开发应用于保健食品和药业。

### 1.3 降血糖、降血脂

糖尿病、高脂血症在全球范围内的发病率快速增长,严重危害人类健康。近年来,多糖作为降糖活性物质的研究较多,其对糖尿病及其并发症的预防和治疗具有药性平和、不良反应小等特点。

体外试验研究表明,山药多糖能改善人肝癌HepG2细胞的葡萄糖消耗能力,且可增强细胞对胰岛素的敏感性<sup>[13]</sup>。大鼠体内实验也有相似的结论,认为山药多糖有效缓解糖尿病大鼠症状,降低血糖、血脂及丙二醛(malondialdehyde, MDA)水平,增强谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GSH)、总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)活性,升高高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)水平,其作用机制可能与改善胰岛素敏感性及抗氧化作用相关<sup>[14]</sup>。山药多糖可降低白脂肪组织中白细胞介素-1 $\beta$ (interleukin-1 $\beta$ , IL-1 $\beta$ )、白细胞介素-10(interleukin-10, IL-10)、瘦素(leptin)水平,降低基质金属蛋白酶-3(matrix metalloproteinase-3, MMP-3)、核转录因子- $\kappa$ B(nuclear factor- $\kappa$ B, NF- $\kappa$ B)(P65)的表达,提示山药多糖可提高胰岛素敏感性,对高脂血症有保护作用<sup>[15]</sup>。山药多糖对I型糖尿病、II型糖尿病均有较好的作用,如山药多糖能增加I型糖尿病小鼠胸腺与脾脏指数,提高血清抗活性氧单位、降低肝匀浆丙二醛含量<sup>[16]</sup>,可改善II型糖尿病大鼠的血糖水平,保护其胰岛功能及血小板功能<sup>[17]</sup>,且山药多糖降低血糖、血脂作用与剂量呈正相关<sup>[18]</sup>。

在治疗糖尿病合并肾病方面,山药多糖能显著降低模型大鼠肾重/体重指数、降低血糖和血脂,改善肾功能<sup>[19]</sup>,其机制可能与抑制高糖激活的醛糖还原酶(aldehyde reductase, AR)/P38丝裂原活化蛋白激酶(P38 mitogen activated protein kinase, P38MAPK)/cAMP反应

元件结合蛋白(cAMP response element binding protein, CREB)信号通路有关<sup>[20]</sup>。

不同分子量的山药多糖片段降糖作用也有不同。Li等采用超滤膜系统,以高效凝胶渗透色谱法测定其分子量,分别为山药多糖-I(>50 kDa)、山药多糖-II(10 kDa~50 kDa)、山药多糖-III(<10 kDa),采用地塞米松诱导的胰岛素抵抗糖/脂代谢糖尿病小鼠模型评价其降糖作用,发现山药多糖-I、山药多糖-II具有较好的降血糖作用<sup>[21]</sup>。

### 1.4 抗氧化

在生物体内,过高浓度的自由基可引起机体衰老、癌症及其他疾病的产生,而抗氧化是消除自由基带来危害的重要方法之一。山药多糖可以提高机体抗氧化和清除自由基的能力。有学者研究发现,山药多糖的还原力随着其浓度的提高显著增强,呈现一定的剂量关系<sup>[2,22]</sup>。不同浓度、不同部位的山药多糖,在清除氧自由基能力方面也有不同,如当多糖浓度为1 mg/mL~3 mg/mL时,清除能力顺序为:山药多糖粗提物>酸性多糖>中性多糖;当多糖浓度为3 mg/mL~5 mg/mL时,清除能力顺序为:酸性多糖>山药多糖粗提物>中性多糖<sup>[23]</sup>。山药多糖纯化后得到的单一组分多糖也具有较好的抗氧化活性,如Yang等<sup>[24]</sup>从山药中分离16 619 Da的单组分多糖,Xue等<sup>[25]</sup>采用超滤技术分离得到山药多糖均具有清除DPPH自由基、羟自由基以及超氧阴离子自由基活性,从而发挥其抗氧化作用。

在其他药物协同抗氧化方面,发现抗坏血酸、柠檬酸对山药多糖粗提物抗氧化性无协同增效作用,天然抗氧化剂(玉米须多糖)对山药多糖粗提物抗氧化性有明显增效作用<sup>[23]</sup>。

### 1.5 保肝

肝是人体重要的解毒器官,肝损伤是影响人类健康的常见疾病之一。徐光翠等<sup>[26]</sup>以冷冻干燥法,分别制备山药多糖-A及山药多糖-B组分,并分析其对镉致大鼠肝脏损伤的拮抗作用,如大鼠先摄入山药多糖,之后染毒镉,则山药多糖-B 200 mg/kg组和500 mg/kg组的超氧化物歧化酶和丙氨酸转氨酶含量与镉染毒组比较,具有显著性差异;而灌胃200 mg/kg山药多糖-B对肝脏丙二醛的影响不大,但当山药多糖-B升高到500 mg/kg时,与对照组比较具有显著性意义;500 mg/kg 1/2山药多糖-A+1/2山药多糖-B组,其超氧化物歧化酶、丙氨酸转氨酶和肝脏丙二醛与对照组比较,均具有显著性差异,综合认为,山药多糖组分中的山药多糖-B,对镉致大鼠肝脏损伤有明显的拮抗作用。上述研究也表明,山药的保肝作用也与其抗氧化活性有关。

## 1.6 抗癌

研究显示,山药对肝癌、胃癌、宫颈癌、前列腺癌等多种癌细胞的生长均有一定的抑制作用。如较高剂量(80 ng/mL)的纳米山药多糖,能促进人肝癌 HepG2 细胞、人胃癌 SGC7901 细胞、人宫颈癌 Hela 细胞、人前列腺癌 DU145 细胞肿瘤细胞凋亡蛋白 caspase-3 和 caspase-8 蛋白酶原的活化,促进酶原降解,抑制肿瘤细胞生长,促进肿瘤细胞凋亡,降低细胞划痕愈合率<sup>[27]</sup>。经过肠道微生物发酵后,其产物对结肠癌细胞具有更强的增殖抑制活性<sup>[28]</sup>。

Peng 等<sup>[29]</sup>也探讨了山药多糖对前列腺癌细胞株和荷瘤小鼠增殖的影响及其机制,发现其通过诱导 caspase-3 的过度表达而强烈抑制前列腺癌的生长,可能是一种有效的抗癌策略。山药多糖对人胃腺癌细胞生长,也具有较强的抑制作用<sup>[24]</sup>。

## 1.7 神经保护

研究显示,山药多糖在 0.025 g/L~0.25 g/L 范围内,能有效地抑制神经细胞缺氧性凋亡<sup>[30]</sup>,其机理是降低凋亡基因及蛋白产生,上调抗凋亡基因及蛋白产生<sup>[31]</sup>。山药多糖能够有效减少缺血再灌注损伤大鼠脑梗死面积,其作用机制与抑制神经元细胞凋亡,改善脑组织抗氧化能力及抑制炎性细胞因子过度表达有关<sup>[32]</sup>。钟灵等<sup>[33]</sup>研究认为,增强脑组织腺嘌呤核苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)酶活性和提高机体抗氧化能力,可能是山药多糖预防老年性痴呆的作用机制之一。

## 1.8 抗菌

山药多糖对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、白色念珠菌属于中敏感,对肠炎沙门氏菌属于低敏感<sup>[34]</sup>。Yang 等<sup>[24]</sup>从山药中分离 16 619 Da 的单组分多糖,发现其对大肠杆菌有一定的抑制作用,最低抑菌浓度为 2.5 mg/mL。

## 1.9 肠道菌群调节

高启禹等<sup>[35]</sup>研究发现,灌胃较高剂量的山药多糖,不仅能小鼠的体重发生明显变化,而且对小鼠盲结肠内的微生物有显著影响,在抑制条件致病菌的同时,显著提高了益生菌的增殖。

## 1.10 保护胃黏膜

怀山药多糖能有效促进实验大鼠胃溃疡的愈合,具有良好的胃黏膜保护作用,其机制可能与上调胃溃疡大鼠胃组织碱性成纤维细胞生长因子(basic fibroblast growth factor, bFGF)含量和胃黏膜碱性成纤维细胞生长因子受体(basic fibroblast growth factor receptor, bFGFR)表达水平有关<sup>[36-37]</sup>。

## 1.11 其他

山药多糖能降低大鼠体内血清血尿素氮(urea ni-

trogen, BUN)、血肌酐(serum creatinine, SCr)含量,增强肾组织缺氧诱导因子-1 $\alpha$ (hypoxia inducible factor-1 $\alpha$ , HIF-1 $\alpha$ )蛋白、mRNA 表达及血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)mRNA 表达,说明山药多糖(yam polysaccharide, YPS)对肾缺血再灌注损伤大鼠具有明显保护作用,其机制可能是通过上调肾组织 HIF-1 $\alpha$  表达进而诱导 VEGF 的表达而达到治疗作用<sup>[38]</sup>。山药多糖也具有抗应激作用,且有明显的量效关系<sup>[39]</sup>。在抗病毒方面发现,怀山药多糖的 YPS<sub>80</sub> 在增强细胞活性和抗猪细小病毒-SD1 (porcine parvovirus-SD1, PPV-SD1)感染方面效果最好<sup>[40]</sup>。

## 2 新产品开发

### 2.1 免疫调节剂

Luo 等<sup>[41]</sup>制备山药多糖-聚乳酸-羟基乙酸给药系统,发现其产生了更强的体液和细胞免疫应答,以及混合 Th1/Th2 免疫应答,在促进淋巴细胞增殖和诱导 T 淋巴细胞转化为 Th 细胞方面,显著优于山药多糖和空白聚乳酸-羟基乙酸纳米粒<sup>[42]</sup>。也有学者制备纳米山药多糖双歧杆菌合生元结肠靶向微生态调节剂,发现其能减轻肠道炎症,提高菌群失调大鼠的免疫器官指数、巨噬细胞吞噬功能、T 淋巴细胞能力、溶血素水平,提高分泌型免疫球蛋白 A(secretory immunoglobulin A, sIgA)、粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子(granulocyte-macrophage colony-stimulating factor, GM-CSF)、白细胞介素-1 $\alpha$ (interleukin-1 $\alpha$ , IL-1 $\alpha$ )、白细胞介素-4(interleukin-4, IL-4)、白细胞介素-17(interleukin-17, IL-17)、白细胞介素-2(interleukin-2, IL-2)和  $\gamma$ -干扰素(interferon gamma, IFN- $\gamma$ ) 含量,降低 IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 TNF- $\alpha$  含量,促进 B 细胞淋巴瘤-2(B-cell lymphoma-2, Bcl-2)蛋白表达,同时抑制 Bcl-2 相关 X 蛋白(Bcl-2-related X protein, Bax)蛋白表达,具有良好的免疫调节作用<sup>[43-45]</sup>。

### 2.2 肠道微生态调节剂

于莲等<sup>[46]</sup>自制纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂,发现其对抗生素脱污染菌群失调白兔有显著调节作用,进一步研究发现,其能够恢复大鼠血管活性肠肽、胃动素、生长抑素和 P 物质 4 种胃肠激素的正常水平,具有调节胃肠道动力,促使胃肠道的正常收缩和改善胃肠道对水和电解质运输<sup>[47]</sup>,增加肠道优势菌数量的能力<sup>[48]</sup>,可促进短链脂肪酸的产生<sup>[49]</sup>,改善肠道菌群环境,有助于菌群失调的治疗<sup>[50]</sup>。

### 2.3 保肝剂

滕杨等<sup>[51]</sup>对山药多糖进行硒化,制备山药硒多糖,发现其中、高剂量组均可不同程度地改善四氯化碳

(carbon tetrachloride, CCl<sub>4</sub>)所致的病理组织损伤,且显著优于低剂量组与山药多糖组。认为山药多糖对CCl<sub>4</sub>所致的小鼠急性肝损伤具有保护作用,且随浓度增高保护作用加强。高辛等<sup>[52]</sup>制备纳米山药多糖结肠靶向胶囊,发现其能使急性肝衰竭模型大鼠肠道有益菌占优势,改善其肠道屏障,减少细菌易位到肝脏,进而改善肝功能,阻断肝细胞的过度凋亡,对肝细胞的再生有着重要影响。

#### 2.4 补铁剂

王丽等<sup>[53]</sup>制备山药多糖铁复合物,发现其具有较好的治疗缺铁性贫血作用,有望开发成为一种新型的补铁剂。

#### 2.5 烟草添加剂

有学者将山药多糖羧甲基化后,添加到卷烟中,可以柔和烟气,提高抽吸舒适度,并降低刺激性<sup>[54]</sup>。

#### 2.6 抗氧化剂

采用氯磺酸-吡啶法,将山药多糖硫酸酯化后,在清除 DPPH 自由基和·OH 能力方面,优于山药多糖,说明硫酸酯化后增强了抗氧化作用<sup>[55]</sup>,为其在食品加工中的深度应用提供科学依据。

#### 2.7 保鲜剂

也有学者利用山药多糖良好的抗菌效果,将其应用于食物的保鲜。如添加山药多糖保鲜剂的罗非鱼,在感官评分、菌落总数、pH 值、挥发性盐基氮和硫代巴比妥酸值的指标方面,都优于空白对照组,提示山药多糖的抗菌活性能很好地应用在罗非鱼保鲜<sup>[56]</sup>。

#### 2.8 乳化剂

Liu 等<sup>[57]</sup>研究发现,木瓜蛋白酶水解提取的多糖组分,具有较好的乳化活性和稳定性。根据粒径分布和重力相分离试验,12 000 U/g 多糖组分在不同多糖组分中,表现出最佳的乳化能力和稳定性,这可能与单糖组成、游离氨基酸分布、分子量、流动性等方面存在差异有关,为选择合适的多糖基乳化剂用于食品加工提供了重要的信息。

### 3 结语

山药作为传统具有代表性药食两用的植物,是药品、保健食品的重要原料,现代研究证明其具有抗疲劳、调节免疫力、抗衰老、改善性功能、降血糖、降血脂、抗氧化、保肝、抗癌、神经保护、防治老年痴呆、抗菌、调节肠道菌群、抗应激等丰富的功能活性。基于其多种功能活性,学者也尝试将其开发成免疫调节剂、肠道微生态调节剂、保肝剂、补铁剂、烟草添加剂、抗氧化剂、保鲜剂、乳化剂等多种产品。但上述功能活性多集中在体外及动物实验验证,作用机制研究有待深入,产品

的开发还处在初步研究阶段,急需提升产业化能力。

#### 参考文献:

- [1] 邓向亮,马忠华,胡明华,等.山药多糖促进小鼠巨噬细胞向 M1 型极化[J]. 免疫学杂志,2016,32(12):1019-1023
- [2] 许效群,刘志芳,霍乃蕊,等.山药多糖的体外抗氧化活性及对正常小鼠的免疫增强作用[J]. 中国粮油学报,2012,27(7):42-46,51
- [3] GUAN Q, LI H, QI Y, et al. Changes in physicochemical properties and digestive characteristics of yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) powder under different processing conditions using principal component analysis[J]. Drying Technology, 2019, 37(12): 1551-1562
- [4] 王德青,马霞,赵玉丛,等.山药多糖组分对小鼠免疫功能的影响[J]. 畜牧与兽医,2015,47(6):99-101
- [5] 曾祥海. 山药多糖对正常小鼠与实验模型小鼠免疫功能的影响[J]. 中国药房,2014,25(23):2125-2127
- [6] 曾丽萍,田文妮,夏雨,等.产乳酸芽孢杆菌发酵液对山药护色及多糖免疫活性的影响[J]. 食品研究与开发,2019,40(8):44-51
- [7] HAO L X, ZHAO X H. Immune activities of the water-soluble yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) polysaccharides as affected by thermal, acidic and enzymatic treatments[J]. CyTA-Journal of Food, 2016, 14(2): 266-270
- [8] 周庆峰,姜书纳,马亢,等.铁棍山药多糖抗疲劳及耐缺氧作用研究[J]. 时珍国医国药,2014,25(2):284-285
- [9] 刘帅,杨小兰,张晓云.长山药粗多糖对果蝇抗衰老作用的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(14):339-341
- [10] 魏娜,霍秀文,张佳佳,等.山药粗多糖对果蝇寿命及繁殖力的影响[J]. 营养学报,2016,38(4):405-407
- [11] ZHANG M H, FANG Z Y, LI A N, et al. Yam polysaccharide improves sperm viability and protects sperm DNA integrity *in vitro*[J]. National journal of andrology, 2017, 23(11): 1020-1024
- [12] 张亭,李迪,乌兰,等.牡蛎低聚肽配伍核桃低聚肽和山药多糖对雄性小鼠性功能的影响[J]. 现代预防医学,2018,45(12):2141-2144,2153
- [13] 苏瑾,焦钧,于莲,等.山药多糖对人肝癌 HepG2 细胞葡萄糖消耗能力及胰岛素抵抗的影响[J]. 中国药房,2015,26(4):458-460
- [14] 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
- [15] CHENG Z, HU M, TAO J, et al. The protective effects of Chinese yam polysaccharide against obesity-induced insulin resistance[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 55: 238-247
- [16] 邢文会,侯金丽,韩鸿鹏,等.山药多糖对 I 型糖尿病小鼠血糖和抗氧化能力的影响[J]. 食品研究与开发,2014,35(17):107-110
- [17] 吕娟,魏鹏飞,白甫.山药多糖对 2 型糖尿病大鼠血小板及酶活性的影响[J]. 中国老年学杂志,2017,37(13):3186-3187
- [18] 高启禹,徐光翠,仇云鹏.山药多糖对四氧嘧啶致糖尿病小鼠血糖和血脂的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2011(13):136-137
- [19] 谭春琼.山药多糖对大鼠糖尿病肾病的治疗作用[J]. 中国应用生理学杂志,2014,30(5):437-438
- [20] 高子涵,李瑞芳,吕行直,等.山药多糖对糖尿病肾病小鼠肾功能和醛糖还原酶通路的影响[J]. 中药材,2019,42(3):643-646

- [21] LI Q, LI W, GAO Q, et al. Hypoglycemic effect of Chinese yam (*Dioscorea opposita rhizoma*) polysaccharide in different structure and molecular weight[J]. Journal of food science, 2017, 82(10): 2487–2494
- [22] 于莲,卢珊珊,马淑霞,等.山药多糖纳米粒的体外抗氧化活性[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(9):147–151
- [23] 刘璐,乔宇,汪兰,等.山药多糖的抗氧化作用研究[J]. 食品科技, 2014,39(12):212–216
- [24] YANG W, WANG Y, LI X, et al. Purification and structural characterization of Chinese yam polysaccharide and its activities [J]. Carbohydrate polymers, 2015, 117: 1021–1027
- [25] XUE H Y, LI J R, LIU Y G, et al. Optimization of the ultrafiltration-assisted extraction of Chinese yam polysaccharide using response surface methodology and its biological activity[J]. International journal of biological macromolecules, 2019, 121: 1186–1193
- [26] 徐光翠,高启禹,李延兰,等.山药多糖组分分析及其对镉致大鼠肝脏损伤作用的研究[J]. 毒理学杂志,2014,28(4):309–312
- [27] 石亿心,于莲,翟美芳,等.纳米山药多糖对4种肿瘤细胞的作用[J]. 中国现代应用药学,2016,33(8):967–971
- [28] 殷丹婷,郝丽鑫,王琦,等.山药多糖和燕麦多糖发酵产酸及发酵产物对结肠癌细胞的增殖抑制作用[J]. 食品工业科技,2017,38(15):296–301
- [29] PENG C, HAN B, WANG B, et al. Therapy of Prostate Cancer by Nanoyam Polysaccharide [J]. International Journal of Polymer Science, 2019, 2019:1–5
- [30] 向勤,胡微煦,蒲明,等.山药多糖对神经细胞毒性及抗缺氧/复氧诱导的神经细胞凋亡的影响[J]. 中药药理与临床,2013,29(3): 94–97
- [31] 向勤. 山药多糖抗缺氧/复氧诱导的胚鼠大脑皮层原代神经细胞凋亡研究[D]. 南昌:南昌大学,2013
- [32] 彭啸宇,石峥,梁晨,等.山药多糖对大鼠脑缺血再灌注损伤的保护作用[J]. 中药药理与临床,2019,35(2):60–63
- [33] 钟灵,王振富.山药多糖对老年性痴呆小鼠抗氧化能力的影响[J]. 中国应用生理学杂志,2015,31(1):42–43,48
- [34] 于莲,张俊婷,马淑霞,等.山药多糖提取工艺优化及其抗菌活性研究[J]. 中成药,2014,36(6):1194–1198
- [35] 高启禹,赵英政,张凌波,等.山药多糖对昆明种小鼠生长性能及肠道菌群的影响[J]. 中国老年学杂志,2015,35(20):5685–5687
- [36] 罗鼎天,陆其明,杨志宏,等.怀山药多糖对大鼠胃溃疡的疗效及胃黏膜碱性成纤维细胞生长因子受体表达的影响[J]. 世界华人消化杂志,2014,22(29):4451–4455
- [37] 罗鼎天,陆其明,杨志宏,等.怀山药多糖对大鼠胃溃疡的疗效及胃组织碱性成纤维因子及其受体水平的影响[J]. 中华中医药学刊,2015,33(3):712–714,785–786
- [38] 唐群,吴华,雷久士,等.山药多糖对肾缺血再灌注损伤大鼠肾组织缺氧诱导因子-1 $\alpha$ 和血管内皮生长因子表达的影响[J]. 中国中医药信息杂志,2014,21(2):56–58,62
- [39] 金鑫. 山药多糖对小鼠的抗应激作用研究 [J]. 河南农业科学, 2015,44(1):143–145
- [40] 贺卫华,翟晓虎,宋幸辉,等.不同产地山药不同分子量段多糖含量及活性的比较[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):312–314
- [41] LUO L, QIN T, HUANG Y, et al. Exploring the immunopotential of Chinese yam polysaccharide poly (lactic-co-glycolic acid) nanoparticles in an ovalbumin vaccine formulation *in vivo*[J]. Drug delivery, 2017, 24(1): 1099–1111
- [42] LUO L, ZHENG S, HUANG Y, et al. Preparation and characterization of Chinese yam polysaccharide PLGA nanoparticles and their immunological activity[J]. International journal of pharmaceutics, 2016, 511(1): 140–150
- [43] 徐新,于莲,马淑霞,等.纳米山药多糖对大鼠免疫器官及巨噬细胞吞噬功能的影响[J]. 中国微生态学杂志,2014,26(12):1376–1378
- [44] 于莲,徐新,苏瑾,等.纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂对菌群失调大鼠免疫因子及SOD、MDA、NO、MPO表达的影响[J]. 中国微生态学杂志,2016,28(8):889–892
- [45] 于莲,张灵芝,马淑霞,等.纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂对菌群失调大鼠细胞因子和凋亡蛋白表达影响[J]. 中国新药杂志,2016,25(24):2871–2875
- [46] 于莲,周彤,郭宇,等.纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂对菌群失调动物生物学机制研究[J]. 中国微生态学杂志, 2013,25(5):505–507
- [47] 李雪欣,于莲,胡孟洋,等.纳米山药多糖结肠靶向微生态调节剂对菌群失调大鼠胃肠激素的影响[J]. 中国微生态学杂志,2016, 28(3):253–255,258
- [48] 孟德欣,于莲,李雪欣,等.纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂对大鼠肠道菌群的影响[J]. 中国新药杂志,2016,25(23): 2756–2760
- [49] ZHANG N, LIANG T, JIN Q, et al. Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) alleviates antibiotic-associated diarrhea, modifies intestinal microbiota, and increases the level of short-chain fatty acids in mice [J]. Food Research International, 2019, 122: 191–198
- [50] 于莲,徐新,张磊,等.PCR-DGGE法测定纳米山药多糖靶向制剂对大鼠肠道菌群失调的调整作用[J]. 中国微生态学杂志,2016, 28(11):1269–1272
- [51] 滕杨,谷娜,罗时旋,等.山药多糖对CCl<sub>4</sub>诱导小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技,2015,36(15):362–364,369
- [52] 高辛,马淑霞,陈杨,等.纳米山药多糖结肠靶向对急性肝衰竭模型大鼠肠道菌群影响研究[J]. 时珍国医国药,2016,27(9): 2109–2112
- [53] 王丽,杨伟鹏,刘绣华,等.怀山药多糖铁治疗缺铁性贫血小鼠的研究[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(9):156–158
- [54] 许春平,孙懿岩,白家峰,等.怀山药多糖的羧甲基化修饰及保润性能[J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2019,40(6):70–74
- [55] 许春平,孙懿岩,白家峰,等.怀山药多糖的提取、硫酸酯化修饰及抗氧化活性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(3):50–55
- [56] 林斌.山药多糖对罗非鱼冷藏保鲜的影响[J]. 食品科技,2018,43(3):108–112
- [57] LIU X X, YAN Y Y, LIU H M, et al. Emulsifying and structural properties of polysaccharides extracted from Chinese yam by an enzyme-assisted method[J]. LWT, 2019, 111: 242–251

收稿日期:2019-11-07