

邢颖, 薛文婧, 徐怀德, 等. 薯类茎叶化学成分与生物活性研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 457-466. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040182

XING Ying, XUE Wenjing, XU Huaide, et al. Research Progress on Chemical Constituents and Biological Activities of Stems and Leaves of Potato[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 457-466. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040182

· 专题综述 ·

薯类茎叶化学成分与生物活性研究进展

邢颖¹, 薛文婧¹, 徐怀德², 王栋³

(1.运城学院生命科学系, 山西运城 044000;

2.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100;

3.西安天丰食品有限公司, 陕西西安 710000)

摘要:薯类茎叶是附加值高的植物资源。薯类茎叶中含有蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质等营养成分, 同时还含有多酚、多糖、茄尼醇等活性成分, 具有抗肿瘤、抗菌、降血糖、抗氧化、免疫调节等多种功能作用。本文综述了常见薯类茎叶营养成分、活性成分及生物活性, 旨在提高对薯类茎叶重要性的认识, 以期对常见薯类茎叶的有效利用和产业化提供参考。

关键词:薯类, 茎叶, 化学成分, 抗氧化, 抗肿瘤

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)07-0457-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040182



本文网刊:

Research Progress on Chemical Constituents and Biological Activities of Stems and Leaves of Potato

XING Ying¹, XUE Wenjing¹, XU Huaide², WANG Dong³

(1. Department of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China;

2. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

3. Xi'an Tianfeng Food Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: Potato stems and leaves are plant resources of high additional value. Potato stems and leaves contain not only some nutritional ingredients, such as protein, dietary fiber, vitamins, minerals, but also some active ingredient, such as phenolic compounds, polysaccharides, solanesol. Therefore, they have good antitumor, antibacterial, hypoglycemic, antioxidant activity and immunoregulation. The expositions of the nutrition and active ingredients, biological activities of common potato stems and leaves are to raise the awareness of the importance of potato stems and leaves, which provides some references for the effective utilization and industrialization of common potato stems and leaves.

Key words: potato; stems and leaves; chemical constituents; antioxidant activity; antitumor

薯类植物指具有可食用块根或地下茎的一类陆生作物。常见的薯类有甘薯、马铃薯、木薯、薯蓣(山药)、芋类等, 根据块根的颜色又可将甘薯大致分为白薯、红薯和紫薯。我国甘薯和马铃薯的种植面积和产量均居首位^[1]。薯类作物营养价值高, 其淀粉、膳食纤维、矿物质和维生素等含量丰富^[2]。薯类主要食用部位是块根和块茎, 而地上茎叶部分常被忽视, 作为薯类的副产品, 我国每年有大量的薯类茎叶

被直接丢弃在田间, 造成资源和空间的浪费, 同时也污染了环境。

研究表明薯类茎叶中同样含有丰富的营养成分, 如蛋白质、矿物质、膳食纤维和维生素等, 也含有多种活性成分, 如酚酸类、黄酮类及多糖等, 在抗肿瘤、抗氧化、提高免疫力、预防心脑血管等方面有着重要的作用^[3-4]。本文对常见薯类茎叶营养成分、活性成分及生物活性进行了总结, 以期对常见薯类茎叶

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 运城学院学科群学科研究项目(XK-2019004); 山西省重点学科经费资助(FSKSC); 运城学院2020年度应用研究项目(CY-2020015)。

作者简介: 邢颖(1988-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 果蔬贮藏与加工, E-mail: xingyingnice@163.com。

的深入研究和产业化提供参考和依据。

1 常见薯类茎叶中的化学成分

1.1 营养成分

1.1.1 蛋白质 甘薯叶中蛋白质含量约为 3.2%~4.1%，比甘薯块根高，茎尖粗蛋白含量高于常见蔬菜，如菠菜、韭菜、油菜、芹菜、黄瓜、白菜、冬瓜、南瓜等，且其氨基酸模式与 WHO 推荐的基本一致^[5-6]。木薯鲜叶中粗蛋白的含量达到了 7%，且其氨基酸种类齐全，其中，必需氨基酸含量占总氨基酸含量的 46%，因此，木薯叶中的蛋白质是木薯叶的主要利用对象之一^[7]。经加工去除大部分氢氰酸后可作为日常蔬菜食用^[8]，在非洲和亚洲某些无法轻易获得蛋白质的地区，木薯叶是人类和家畜获取蛋白质的重要来源^[9]。

1.1.2 膳食纤维 膳食纤维可根据在水中溶解度的不同分为不溶性膳食纤维和可溶性膳食纤维，不溶性膳食纤维可加快肠道蠕动，可溶性膳食纤维可调节肠道菌群^[10-11]。研究表明，甘薯茎叶中可溶性膳食纤维的含量为 5.77%~6.83%^[12]。高超^[7]对木薯叶、菠菜叶及生菜叶中的纤维含量进行对比，发现木薯叶中纤维含量远远高于菠菜叶和生菜叶。

1.1.3 维生素 甘薯茎叶中维生素 C 含量是柑橘的二倍多，维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量高于一些常见的蔬菜，例如冬瓜、芹菜、白菜、黄瓜等^[5]。胡萝卜素是一种功能活性物质，对预防眼部疾病有重要作用，且能转化成维生素 A，菜用甘薯茎叶含有的胡萝卜素比胡萝卜高 2.8 倍^[12]。SIQUEIRA 等^[13]研究发现木薯叶粉中的 β-胡萝卜素能促进小鼠肝脏中维生素 A 的合成。同时，木薯叶中还含有 VB₁、VB₂、VB₃ 及 VC 等维生素^[14]。常见薯类茎叶中丰富的维生素使其更具营养价值。

1.1.4 矿物质 矿物质对于构成人体组织和维持正常生理功能有重要作用。孟辉等^[15]采用微波消解法

处理样品，以 ICP-MS(电感耦合等离子体质谱)法对比了甘薯、甘薯茎及甘薯叶中的钙、镉、铁、钾、镁、锰、锌等 10 种元素的含量，发现甘薯茎、叶中富含各种微量元素。雷碧瑶等^[16]对 7 种甘薯茎尖常量元素进行检测，发现茎尖中钾、铜、镁和铁的含量均高于常见蔬菜，且不同品种甘薯茎叶的矿物质含量相差较大，这可能与种植土壤所含元素含量高低及不同品种薯类对不同微量元素的吸收能力差异较大有关。SANTIAGO 等^[17]对不同采收时期(八月下旬、九月上旬、九月下旬)甘薯叶中矿物质的含量进行了分析，研究表明八月下旬采收的甘薯叶中 Na、P、Fe、Mn、Mg 及 Se 含量最高；九月下旬采收的甘薯叶中 K 含量最高；而 Ca、Zn 及 Cu 含量在三个采收期中差异不大。木薯叶中同样含有丰富的矿物质，其中，钙的含量为 429.2~571.3 mg/100 g，铜的含量为 32.6~50.9 mg/100 g，钾的含量为 668.7~951.8 mg/100 g，镁的含量为 141.4~160 mg/100 g，同时还含有锌、锰等矿物质^[18]。缺少矿物质会导致机体产生许多问题，在日常饮食中加入一些薯类茎叶食品可以在丰富食品种类的同时补充多种矿物质。

1.2 活性成分

1.2.1 酚类物质 植物中的多酚类物质由于其生理活性广泛且安全性高等特点在食品及化妆品行业中应用广泛^[19]。酚类物质是含有酚羟基的植物次生代谢产物，主要包括酚酸、黄酮及花色苷类等^[20]。酚酸类是指结构中含有酚类官能团的有机酸，主要以游离或结合的形式存在，广泛存在于果蔬、豆类等植物中^[21]。黄酮类化合物泛指两个苯环(A 环与 B 环)通过中央三碳相互联结而成的一系列化合物，在植物体内常与糖结合形成苷类或者以游离状态存在^[22]。花色苷属于天然色素，在植物中常以糖苷键形式存在^[23]。有关不同薯类茎叶中酚类物质的研究见表 1。

表 1 不同薯类茎叶中的酚类物质

Table 1 The phenolic compounds of different stems and leaves of potato

薯类	分类	名称	品种	参考文献
甘薯叶	酚酸	1-咖啡酰奎尼酸	西蒙一号, 浙薯75	[25,30]
		3-咖啡酰奎尼酸	浙菜薯726, 西蒙一号	[25,30]
		隐绿原酸	西蒙一号	[25]
		3,5-二咖啡酰奎宁酸	尚薯19, Poongwonmi, 浙薯75, 西蒙一号	[17,25-26,30]
		异绿原酸	尚薯19, Poongwonmi, 浙薯75, 西蒙一号	[17,25-26,30]
		4,5-二咖啡酰奎宁酸	浙薯75, 浙菜薯726, 西蒙一号	[25-30,36]
		5-O-咖啡酰奎宁酸	尚薯19, 西蒙一号	[17,25]
		绿原酸	尚薯19, 西蒙一号	[17,25]
		3,4,5-三咖啡酰奎宁酸	尚薯19, 浙菜薯726, 西蒙一号	[17,25,36]
		3-咖啡酰-4-阿魏酰奎宁酸	浙薯75	[30]
		咖啡酸	尚薯19, 浙薯75, 西蒙一号	[17,25-26]
		咖啡酸乙酯	西蒙一号	[25]
		原儿茶醛	西蒙一号	[25]
		7-羟基香豆素	西蒙一号	[25]
秦皮甲素	西蒙一号	[25]		

续表 1

薯类	分类	名称	品种	参考文献
		槲皮素-3-O-葡萄糖苷	浙菜薯726	[36]
		山奈酚-3-O-葡萄糖苷	浙菜薯726	[36]
		异槲皮苷	尚薯19、西蒙一号	[17,25]
		槲皮素	尚薯19、西蒙一号	[17,25]
		芦丁	西蒙一号	[25]
		金丝桃苷	西蒙一号	[25]
		黄芪苷	西蒙一号	[25]
	黄酮	山柰酚	西蒙一号	[25]
		香叶木素	西蒙一号	[25]
		棕矢车菊素	西蒙一号	[25]
		5,7-二羟黄酮	西蒙一号	[25]
		柳穿鱼黄素	西蒙一号	[25]
		紫云英苷	西蒙一号	[25]
		白杨素	西蒙一号	[25]
		木樨草苷	浙菜薯726	[36]
		矢车菊素3-槐糖苷5-葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[28]
甘薯叶		芍药素3-槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[28]
		花青素3-对羟基苯甲酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		花青素3-咖啡酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[28]
		芍药素3-对羟基苯甲酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		芍药素3-咖啡酰槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		花青素3-p-香豆基磷酸-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[28]
		花青素3-阿魏酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[28]
	花色苷	芍药素3-p-香豆素-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[29]
		芍药素3-阿魏酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[29]
		花青素3-二咖啡酰槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		花青素3-咖啡酰-对羟基苯甲酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		花青素3-咖啡酰-p-香豆油苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[29]
		花青素3-咖啡酰-阿魏酰槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		芍药素3-咖啡酰-阿魏酰槐糖苷-5葡萄糖苷	accession S-1467	[29]
		芍药素3-二咖啡酰槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		芍药素3-咖啡酰基-对羟基苯甲酰基槐糖苷-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号, accession S-1467	[28-29]
		芍药素3-咖啡酰-对-香豆素-5葡萄糖苷	福薯23号, 福薯317号	[29]
		儿茶素	华南9号, 华南205号	[32]
		二氢黄酮甙	华南9号, 华南205号	[32]
		穗花杉双黄酮	华南9号, 华南205号	[32]
		芦丁	华南9号, 华南205号, 华南5号	[27, 32]
		山奈酚	华南9号, 华南205号	[32]
		槲皮素	华南9号, 华南205号	[32]
木薯叶	黄酮	clovin	华南5号	[29]
		杨梅素-3-O-芸香糖苷	华南5号	[27]
		洋槐甙	华南5号	[27]
		金丝桃甙	华南5号	[27]
		烟花甙	华南5号	[27]
		水仙苷	华南5号	[27]
		5-O-咖啡酰奎宁酸	淮山药	[35]
		阿魏酰奎宁酸	淮山药	[35]
		迷迭香酸	淮山药	[35]
		迷迭香酸甲酯	淮山药	[35]
		咖啡酰奎宁酸甲酯	淮山药	[35]
薯蕷叶	酚酸	香豆酰奎宁酸甲酯	淮山药	[35]
		咖啡酰莽草酸甲酯	淮山药	[35]
		对香豆酰奎宁酸	淮山药	[35]
		咖啡酰莽草酸	淮山药	[35]
		咖啡酸	淮山药	[35]

续表 1

薯类	分类	名称	品种	参考文献
薯蕷叶	酚酸	对香豆酰奎宁酸	淮山药	[35]
		芦丁	淮山药	[13]
		槲皮素	淮山药	[13]
薯蕷叶	黄酮	山奈酚	淮山药	[13]
		山奈酚-3-O-芦丁糖苷	淮山药	[13]
		异鼠李素-3-O-芦丁糖苷	淮山药	[13]
		5-阿魏酰奎宁酸	Daisy	[34]
		5-对香豆酰基奎宁酸	Daisy	[34]
		龙胆酸	Daisy	[34]
		1-咖啡酰奎宁酸	Daisy	[34]
		3-咖啡酰奎宁酸	Daisy	[34]
		咖啡酰苹果酸	Daisy	[34]
		对-香豆基苹果酸	Daisy	[34]
马铃薯叶	酚酸	3,4-二乙酰氧基苯甲酸	Daisy	[34]
		5-O-对羟基苯甲酰基奎宁酸	Daisy	[34]
		槲皮素	Daisy	[34]
		芦丁	Daisy	[34]
		山奈酚芸香苷	Daisy	[34]
	黄酮	山奈酚	Daisy	[34]
		七叶树素	Daisy	[34]
		2-苯基乙基-D-芸香糖苷	Daisy	[34]

甘薯茎叶中酚类物质的研究较多。ZHANG 等^[24]研究发现甘薯叶乙酸乙酯萃取物共鉴定出 37 种化合物,其中,20 种酚酸、12 种类黄酮物质,且甘薯叶中的酚酸类物质主要为咖啡酰奎宁酸衍生物。LUO 等^[25]对甘薯叶中的酚酸类和黄酮类物质进行了鉴定,其中,酚酸类共分析出 13 种化合物,三种二咖啡酰奎宁酸是主要化合物,占 60.3%;黄酮类物质共鉴定出 10 种,其中黄芪素是主要成分,占 28.1%。JANG 等^[26]研究了 6 个甘薯品种叶,同样发现 4 种酚酸中 3,5-二咖啡酰奎宁酸在所有品种中含量最高。LIU 等^[27]研究表明甘薯叶的黄酮类物质包括 11 种,主要有黄芪素、槲皮素、异槲皮苷等。甘薯叶中花色苷的鉴定主要以紫甘薯叶花色苷的鉴定为主,紫薯叶中的花色苷类主要包括矢车菊素苷类和芍药素苷类,其酰基化修饰主要包括咖啡酰、对香豆基、阿魏酸酯和对羟基苯甲酰基^[28]。VISHNU 等^[29]对紫甘薯块茎和茎叶中的花色苷研究发现叶片中的花色苷衍生物含量远高于块茎中。

有关木薯叶酚类化合物的研究主要集中在黄酮提取及鉴定方面。木薯叶中的黄酮类物质主要包括儿茶素、二氢黄酮苷、芦丁、山奈酚、槲皮素、clovin 等^[30-33]。张振文等^[34]对木薯叶中的花青素提取工艺进行了优化,以酸性甲醇为提取溶剂得到木薯叶花青素含量为 158.78 mg/hg。但有关木薯酚酸类和花色苷组分鉴定的相关研究还未见报道。

薯蕷叶酚类化合物的研究主要包括酚酸类和黄酮类化合物的鉴定。酚酸类物质主要包括 5-O-咖啡酰奎宁酸、阿魏酰奎宁酸、迷迭香酸、迷迭香酸甲酯、咖啡酰奎宁酸甲酯、香豆酰奎宁酸甲酯、对香豆

酰奎宁酸、咖啡酰莽草酸、咖啡酸及对香豆酰奎宁酸等物质;黄酮类物质主要包括芦丁、槲皮素、山奈酚、山奈酚-3-O-芦丁糖苷及异鼠李素-3-O-芦丁糖苷等物质^[35]。薯蕷叶尤其是紫色薯蕷叶其可食部分及表皮的色泽取决于花色苷,有关块茎中的花色苷有提取优化方面的研究^[36],其他方面如花色苷的鉴定及活性分析方面还有待研究。

CELIA 等^[37]对马铃薯叶中的有机酸、氨基酸、酚酸、类黄酮及其他活性物质进行了鉴定,奎宁酸及其衍生物占提取物中活性化合物的 45% 以上,主要为 1-咖啡酰奎宁酸、3-咖啡酰奎宁酸、5-对香豆酰奎宁酸及 5-阿魏酰奎宁酸等;黄酮类物质主要为芦丁、槲皮素、山奈酚芸香苷、山奈酚等物质。

薯类茎叶的研究主要集中在甘薯茎叶方面,尤其是甘薯茎叶中酚酸类物质的研究较多,而其余的包括木薯、薯蕷及马铃薯茎叶的研究相对较少。甘薯、木薯及马铃薯叶中均含有咖啡酰奎宁酸类衍生物;黄酮类物质如芦丁、槲皮素及山奈酚均存在于甘薯、木薯、薯蕷及马铃薯叶中;花色苷鉴定的有关研究主要集中在甘薯叶中,尤其是紫甘薯茎叶中,其余薯类茎叶花色苷的研究还未见报道。

1.2.2 多糖 多糖又称多聚糖,是由单糖(分子量>10)脱水而成的大分子聚合物,是重要的生物分子^[38]。有关薯类茎叶中多糖的研究主要集中在甘薯茎叶中,其他薯类茎叶中多糖的研究还未见报道,而且甘薯茎叶多糖的研究以多糖的提取和鉴定为主。江雪^[39]对紫甘薯叶中多糖的提取和纯化研究表明,其最佳提取条件为:提取时间 2 h,提取温度 70 ℃,料液比 1:30,提取次数两次;聚酰胺吸附蛋白最佳时间为 17.5 h。

王和才等^[40]采用微波辅助提取对紫薯茎叶中的多糖提取进行了优化,得到多糖的提取率为 9.184%。刘露等^[41]对“南薯 88”茎叶中的多糖进行了分离纯化及鉴定,研究表明其多糖主要由半乳糖和甘露糖组成。也有相关研究报道,甘薯蔓(叶柄藤)中的多糖主要由 D-木糖、D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖及 L-鼠李糖构成^[42]。其他薯类茎叶如薯蕷、马铃薯及木薯茎叶中多糖的提取、鉴定及功能还有待研究。

1.2.3 茄尼醇 茄尼醇是 45 碳长链半萜烯醇化合物,主要存在于马铃薯、番茄、烟草及胡椒的茎叶中。茄尼醇可以用于制作辅酶 Q10、抗溃疡药物等,有很好的抑菌、抗癌和止血等功能^[43-44]。有关马铃薯茎叶中茄尼醇的研究主要集中在提取及测定方面。王秉鹏等^[45]马铃薯茎叶内茄尼醇的提取溶剂为乙醇,改进提取方法后,使茄尼醇提取率高达 96.85%,提取试剂也能够被反复利用,极大地减少了茄尼醇的合成成本。马铃薯茎叶中茄尼醇的提取方法还有萃取法^[46]、微波法酶法^[47]、超微回流提取法^[48]和索氏提取法等^[49]。有关马铃薯茎叶中茄尼醇的 HPLC 测定方法研究较多,沈建伟等^[50]以甲醇和乙醇为流动相对 HPLC 测定方法进行了分析;TAO 等^[51]以正己烷为提取溶剂,甲醇和异丙醇为流动相对 HPLC 测定进行了研究。茄尼醇的结构独特,合成过程困难,茄尼醇大多数是从烟叶中获得,马铃薯茎叶中含有的茄尼醇(0.1%~1%)和烟草中的茄尼醇(0.3%~3%)相差不大,用马铃薯茎叶合成茄尼醇拓宽了马铃薯叶的应用范围^[45]。

2 常见薯类茎叶生物活性

2.1 抗肿瘤作用

近年来,癌症病发率急剧上升,而医学界主要以手术和放射性疗法为主,对人体损害严重,尚未发现有效的治疗手段,因此具有抗肿瘤活性且低毒的天然活性产物成为研究抗肿瘤的热点课题^[52]。罗丽萍等^[53]甘薯茎叶黄酮对瘤株和动物肿瘤的抑制作用,结果显示甘薯茎叶黄酮尤其对人早幼粒白血病细胞瘤株效果最佳,甘薯茎叶黄酮对 S180 荷瘤小鼠的 S180 肉瘤生长也有明显的抑制作用。钟伟^[54]以广菜 4 号为例,研究红薯叶萃取液对肝癌细胞和乳腺癌细胞的毒性和抑制增殖作用,结果表明红薯叶原液和提取物对肝癌细胞和乳腺癌细胞均有一定的抑制作用,随着红薯叶提取物浓度的增大,肝癌细胞和乳腺癌细胞的增殖率逐渐降低。紫甘薯茎叶中花青素可诱导细胞凋亡,因此,对结肠癌和子宫颈癌细胞有较高的抗增殖活性,且其抗增殖活性与花青素的糖苷配基及酰化作用相关^[29]。有关薯蕷叶提取物抗肿瘤活性也有相关研究。周丽^[35]使用不同浓度淮山药叶乙醇提取物对 3 种肿瘤细胞(肺腺癌细胞、结肠癌细胞、乳腺癌细胞)和 1 种正常细胞进行 24 h 细胞培养试验,结果表明提取物对肿瘤细胞的活性作用均始于 50 mg/L,浓度为 100 mg/L 时对上述 3 种肿瘤细

胞的抑制率分别是 43%、16% 和 14%,此浓度下对正常细胞的抑制率仅为 7%,提取物对正常细胞的影响很小,浓度超过 200 mg/L 才会对正常细胞产生抑制作用。淮山药茎叶丙酮提取物中的部分化合物对人乳腺癌 MCF-7 和人肝癌 HepG2 细胞的增殖具有显著的抑制作用^[55]。因此,甘薯、薯蕷及淮山药等茎叶中提取物对不同癌细胞有一定抑制作用,主要作用成分为黄酮、花青素等。

2.2 抗菌作用

外界病原菌对机体的入侵常会导致机体产生炎症反应,干扰机体代谢稳态,因此活性成分的抗菌作用在维持机体代谢稳态中发挥重要作用。有关薯类茎叶的抑菌消炎方面的研究比较多。马翊等^[56]研究了番薯藤水、醇提取物对痤疮丙酸杆菌的抑制作用,结果表明其提取物的石油醚和正丁醇部分的抑菌作用较强,可作为潜在的抗痤疮植物化妆品原料。徐洪宇等^[30]对甘薯叶粗提物的抑菌活性及用其处理冷却肉后的保鲜效果做了研究,发现用 1% 乙酸乙酯萃取甘薯叶后,提取物能够抑制脂肪氧化和微生物生长,冷却肉的保质期得以延长。甘薯叶乙醇提取物中含有类黄酮、单宁、类固醇及多酚类物质,其对痢疾志贺菌具有一定的抑制作用,且抑制作用与提取物浓度在 10%~20% w/v 存在明显的剂量浓度关系^[57]。王世宽等^[58]研究甘薯叶绿原酸对 5 种菌种的抑制作用,发现添加了甘薯叶绿原酸之后,5 种菌种活力都有所减弱,其中对大肠杆菌与金黄色葡萄球菌的抑菌效果更好,并通过实验将薯叶绿原酸应用于发酵香肠的防腐剂。延永等^[59]研究表明红薯叶总黄酮提取物对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌抑制作用强,在高剂量条件下抑菌率最高,分别达到 108.66%、115.89%,最小抑菌浓度分别为 5.02、10.05 mg/mL,具有较好的抑制活性。李兵等^[60]用木薯叶乙酸乙酯萃取液对金黄色葡萄球菌及其耐药株、宋内氏痢疾杆菌、绿脓杆菌做抗菌性试验,4 种菌种的抑菌圈直径分别为 16.58、11.02、5.48、4.22 mm(判定标准:15 ≤ d ≤ 19 mm 为高敏),结果表明木薯叶乙酸乙酯萃取液中含有抑菌功能性成分,其对金黄色葡萄球菌为高敏感有较高的抑菌作用。因此,甘薯、木薯茎叶中的活性成分可以抑制病原菌的生长,在食品保鲜方面有一定的作用。

2.3 降血糖作用

薯类茎叶中膳食纤维、酚酸类和黄酮类等物质的存在使其具有良好的降血糖作用。

甘薯的任何部分包括茎叶都富含膳食纤维,摄入膳食纤维后,可增加食物在体内停留时间,人对葡萄糖的吸收作用会减弱,进餐后血糖水平上升速度减慢,有利于控制血糖尤其对糖尿病患者有利^[6]。

α -葡萄糖苷酶的活性与肠道吸收葡萄糖的有效性、速度及程度有关,因此抑制 α -葡萄糖苷酶可降低所摄入碳水化合物释放葡萄糖的速率^[61-62]。研究表明与抗坏血酸、儿茶素及阿卡波糖相比,甘薯叶酚酸

类提取物和黄酮类提取物具有更强的 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制作用^[25];刘冉等^[63]研究发现,甘薯叶提取物可以明显降低 α -葡萄糖苷酶活性,但与多酚及黄酮的含量无显著性差异。这可能是由于甘薯叶提取对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用不仅取决于黄酮、多酚含量,而且与多糖、有机酸、萜类等活性成分有关。同时甘薯叶降血糖作用除了与抑制 α -葡萄糖苷酶有关外,还与促进肝糖原和肌糖原的合成,改善糖尿病的血脂异常、促进胰岛素分泌、改善胰岛素敏感性等因素相关^[64]。研究表明60%乙醇洗脱红薯叶黄酮对四氧嘧啶诱导的糖尿病鼠的肾损伤有一定的修复作用,同时能够改善肾脏细胞凋亡途径中的重要调节基因*Bcl-2*(抑制凋亡)和*Bax*(促进凋亡)的表达,恢复肾细胞的正常糖、脂代谢,预防糖尿病并发症的发生^[65]。同类研究也有相关报道,发现红薯叶黄酮可通过增强PDX-1(胰腺生长发育的重要调控因子)、MafA(胰岛素基因转录的有效活化剂)活性,增强PPAR γ (过氧化物酶体增殖激活受体)蛋白含量的表达来降低血糖,改善胰岛素抵抗^[66]。因此,利用薯类茎叶中活性成分研发降血糖药物及保健品具有广阔的前景。

2.4 抗氧化作用

薯类茎叶中的黄酮、多酚、多糖及原花青素等活性物质均有一定的抗氧化活性,且其的抗氧化活性受品种、部位、采收期及加工方式等因素的影响。靳艳玲等^[67]对菜叶型、淀粉型、鲜食型、紫薯等4种类型18个品种甘薯的叶、藤、皮及肉4个部位的抗氧化活性进行了分析,结果表明4个类型中紫薯各部位的抗氧化活性高于其他类型;4个部位中叶的抗氧化活性较高;且抗氧化活性与多酚含量呈极显著正相关,与黄酮含量呈显著正相关。不同品种薯尖(福薯7-6、福薯18、宁菜、7001)的叶、茎尖、柄及茎4个部位的DPPH·、·OH、超氧阴离子清除力及总还原力存在一定差异,其中品种7001的叶和茎部位的抗氧化活性最强^[68]。SANTIAGO等^[17]研究发现甘薯茎叶(尚薯19号)的抗氧化活性与采收期有关,在第三个采收期(9月21号)的甘薯茎叶DPPH·、ABTS⁺清除率及还原力最强。甘薯叶的抗氧化活性受烹饪方法的影响,煮沸和微波处理过程中甘薯叶的抗氧化活性分别降低63.82%、32.35%,而蒸煮、烘烤和油炸之后的甘薯叶抗氧化活性分别会提高81.40%、30.09%及85.82%,这可能与烹饪过程中细胞壁的改变相关^[69]。王定美等^[70]对9个木薯品种在120、180、240 d 3个植龄下叶片总黄酮及抗氧化能力进行了分析,研究表明240 d植龄下,木薯叶乙醇提取物抗氧化活性与黄酮含量有显著的相关性。研究表明木薯叶提取液可通过调节细胞蛋白表达,提高其总抗氧化能力,降低活化氧含量,减少活化氧堆积,减少细胞凋亡,从而实现对H₂O₂诱导的人母神经母细胞瘤细胞氧化损伤的保护作用^[71]。

2.5 其他作用

薯类茎叶还具有增强免疫、辐射损伤保护、肝损伤保护、预防高血脂等作用。高荫榆等^[72]采用碳粒廓清实验研究甘薯茎叶多糖对小鼠的非特异性免疫作用,采用血清溶血素测定法研究甘薯茎叶多糖对小鼠特异性体液免疫调节的作用,结果表明甘薯茎叶多糖可提高单核巨噬细胞吞噬能力,同时可增强小鼠的非特异性和特异性免疫功能。红薯茎叶中的多糖可激活T细胞、B细胞及巨噬细胞的增殖来调控免疫活性,尤其是在40 mg/mL的质量浓度下对3种细胞的增殖效果达到最佳^[41]。江雪^[39]研究了在¹³⁷Cs γ -射线单次辐射下,紫薯叶多糖对小鼠辐射损伤的保护机制,研究表明与辐照模型相比,紫薯叶多糖可通过调节免疫系统和抗氧化酶活性起到辐射损伤的保护作用。陶东川^[73]通过动物实验发现紫甘薯叶总黄酮可降低小鼠血清中的谷丙转氨酶和谷草转氨酶的活性,升高白蛋白和总蛋白含量;同时还能升高小鼠肝匀浆中超氧化物歧化酶的活性,降低丙二醛的含量,因此对CCl₄所致的慢性肝损伤小鼠有一定保护作用。甘薯藤(叶、茎、柄、藤)能显著降低高脂血症大鼠血清中TC(总胆固醇)、TG(甘油三酯)、LDL-C(高密度脂蛋白胆固醇)含量及AI(动脉硬化系数),提高HDL-C(高密度脂蛋白)含量,对于预防脂肪肝的发生具有很好的预防作用^[74]。紫甘薯叶富含元素钾,具有体外抗肾结石作用,可用于治疗肾结石病^[75]。

3 结语与展望

常见的薯类茎叶富含各种营养成分(氨基酸、膳食纤维、维生素及矿物质)及活性成分(酚类物质、多糖及茄尼醇),具有抗肿瘤、抗菌、降血糖、抗氧化、免疫调节等功能,因此在食品、保健方面具有广阔的应用发展前景,现有的薯类茎叶产品有保健醋、茶、饮料等产品。但目前仍存在一些需要解决的问题:其一、有关活性物质的研究受限于该物质的高效制备技术瓶颈,后续还需继续优化分离纯化方法,为其活性研究打下技术基础;其二、生物活性研究多为体外或体内的动物模型,但由于生物体的复杂性,薯类茎叶活性物质作为药物使用的安全性还需进一步研究;其三、常见薯类茎叶的产品开发还处于初级阶段,现有的主要是甘薯叶开发产品,其他常见薯类茎叶(木薯叶、马铃薯叶及薯蓣叶)还有待开发利用。

参考文献

- [1] 木泰华,陈井旺.中国薯类加工现状与展望[J].*中国农业科学*,2016,49(9):1744-745. [MU T H, CHEN J W. Present situation and prospect of potato processing in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2016,49(9):1744-745.]
- [2] 陶银,文韵漫.马铃薯全粉加工制品及营养价值研究进展[J].*粮食与油脂*,2020,33(4):10-13. [TAO Y, WEN Y M. Research progress of potato whole flour processed products and nutritional value[J]. *Cereals & Oils*,2020,33(4):10-13.]
- [3] 司金金,辛丹丹,王晓芬,等.干燥方式对红薯叶粉品质特性

- 的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(6): 129–136, 154. [SI J J, XIN D D, WANG X F, et al. Effect of drying methods on quality characteristics of sweet potato power[J]. Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.), 2018, 46(6): 129–136, 154.]
- [4] JENG T L, CHIANG Y C, LAI C C, et al. Sweet potato leaf extract inhibits the simulated *in vitro* gastrointestinal digestion of native starch[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2015, 23(3): 399–406.
- [5] 郭政铭, 杨静, 周成伟, 等. 甘薯茎叶生理功能与其加工利用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(24): 8302–8307. [GUO Z M, YANG J, ZHOU C W, et al. Advances on physiological activities and processing utilization of sweet potato stems and leaves[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(24): 8302–8307.]
- [6] ISHIDA H, SUZUNO H, SUGIYAMA N, et al. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* *poir*)[J]. Food Chemistry, 2000, 68(3): 359–367.
- [7] 高超. 木薯叶营养成分及其膨化食品的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011. [GAO C. The studies on cassava leaf nutritional content and puffed food[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011.]
- [8] 吴秋妃, 王琴飞, 徐缓, 等. 不同生长期木薯叶片的品质比较分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(14): 54–61. [WU Q F, WANG Q F, XU H, et al. Comparative analysis of cassava leaf quality in different growing periods[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(14): 54–61.]
- [9] HAWASHI M, ALTWAY A, WIDJAJA T, et al. Optimization of process conditions for tannin content reduction in cassava leaves during solid state fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Heliyon, 2019, 5(8): 1–13.
- [10] LIU M, LI X, ZHOU S, et al. Dietary fiber isolated from sweet potato residues promote healthy gut microbiome profile[J]. Food & Function, 2020, 11(4): 689–699.
- [11] 陈致印, 刘伟鹏, 王盈希, 等. 三种不同改性方法对甘薯渣不溶性膳食纤维改性效果的研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 57–62, 69. [CHEN Z Y, LIU W P, WANG Y X, et al. Study of three different modification methods on insoluble dietary fiber in sweet potato residue[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 57–62, 69.]
- [12] 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, 272(5): 277–281. [SHEN M L, PANG L J, LU G Q, et al. Application value and research status of storage and preservation of sweet potato leafy vegetables[J]. The Food Industry, 2019, 272(5): 277–281.]
- [13] SIQUEIRA E M D A, ARRUDA S F, VARGAS R M D, et al. β -carotene from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves improves vitamin A status in rats[J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part C Toxicology & Pharmacology, 2007, 146(1): 235–240.
- [14] LATIF S, MÜLLER J. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 44(2): 147–158.
- [15] 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(7): 312–314. [MENG H, LU S. Determination of trace elements in sweet potato, sweet potato stem and leaf by ICP-MS[J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 312–314.]
- [16] 雷碧瑶, 卢虹玉, 陈秀文, 等. 7种菜用甘薯茎尖的感官评定和营养成分分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(24): 232–234. [LEI B Y, LU H Y, CHEN X W, et al. Sensory evaluation and nutrition ingredients analysis of 7 kinds of sweet potato stem-apex for vegetable[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(24): 232–234.]
- [17] SANTIAGO S, MU T, SUN H, et al. Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 178–188.
- [18] BRDSS A, EFRS A, LACM B, et al. Evaluation of the nutritional composition in effect of processing cassava leaves (*Manihot esculenta*) using multivariate analysis techniques[J]. Microchemical Journal, 2019, 152: 1–23.
- [19] 王婧, 陈红宇, 曙阿克·库尔曼巴依, 等. 紫甘薯结合酚提取工艺的优化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 157–164. [WANG J, CHEN H Y, SHUAKE K, et al. Optimization of the extraction process of purple sweet potatoes bound phenolic compounds[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 157–164.]
- [20] 王淑芳, 董飞, 王刚, 等. 小麦酚酸提取工艺优化及产区与品种差异对酚酸含量的影响[J]. 食品科学, 2019, 611(22): 314–320. [WANG S F, DONG F, WANG G, et al. Optimization of extraction process for phenolic acid from wheat grains and effect of geographic origin and variety on phenolic acid content[J]. Food Science, 2019, 611(22): 314–320.]
- [21] 马帅, 王纪华, 高媛, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定5个产地花椰菜和西兰花中的23种酚酸类化合物[J]. 食品科学, 2018(4): 176–187. [MA S, WANG J H, GAO Y, et al. Simultaneous determination of twenty-three phenolic acids in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) and broccoli (*B. oleracea* L. var. *italica*) from five producing places by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food Science, 2018(4): 176–187.]
- [22] 刘丽丽, 刘玉垠, 王杰, 等. 枇杷功能成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(5): 315–323. [LIU L L, LIU Y G, WANG J, et al. A review of functional components and bioactivities in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.)[J]. Food Science, 2020, 41(5): 315–323.]
- [23] SU X, XU J, RHODES D, et al. Identification and quantification of anthocyanins in transgenic purple tomato[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 184–188.
- [24] ZHANG L, TU Z C, WANG H, et al. Comparison of different methods for extracting polyphenols from *Ipomoea batatas* leaves, and identification of antioxidant constituents by HPLC-QTOE-MS²[J]. Food Research International, 2015, 70: 101–109.
- [25] LUO D, MU T, SUN H. Profiling of phenolic acids and flavonoids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves and evaluation of their anti-oxidant and hypoglycemic activities[J]. Food Bioscience, 2020: 1–11.

- [26] JANG Y, KOH E. Antioxidant content and activity in leaves and petioles of six sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and antioxidant properties of blanched leaves[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(2): 337-345.
- [27] LIU J, MU T, SUN H, et al. Optimization of ultrasonic-microwave synergistic extraction of flavonoids from sweet potato leaves by response surface methodology[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(5): 1-10.
- [28] LI G L, LIN Z, ZHANG H, et al. Anthocyanin accumulation in the leaves of the purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars[J]. *Molecules*, 2019, 24(20): 37-43.
- [29] VISHNU V R, RENJITH R S, MUKHERJEE A, et al. Comparative study on the chemical structure and *in vitro* antiproliferative activity of anthocyanins in purple root tubers and leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(9): 2467-2475.
- [30] 徐洪宇, 詹壮壮, 高永悦, 等. 甘薯叶提取物中酚类物质测定及在冷却肉保鲜中的应用[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(6): 149-156, 114. [XU H Y, ZHAN Z Z, GAO Y Y, et al. Determination of phenolic composition of active in sweet potato leaves extracts and their application in the preservation of chilled pork[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2018, 34(6): 149-156, 114.]
- [31] ZHANG C, LIU D, WU L, et al. Chemical characterization and antioxidant properties of ethanolic extract and its fractions from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves[J]. *Foods*, 2020, 9(1): 1-14.
- [32] 王定美, 王伟, 麦力文, 等. HPLC法同时测定不同采收期木薯叶中6种类黄酮的含量[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(18): 132-137. [WANG D M, WANG W, MAI L W, et al. Simultaneous determination of 6 flavonoids in cassava leaves from different harvest time by HPLC[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(18): 132-137.]
- [33] TAO H, CUI B, ZHANG H, et al. Identification and characterization of flavonoids compounds in cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) by HPLC/FTICR-MS[J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22(1): 1134-1145.
- [34] 张振文, 徐缓, 吴秋妃, 等. 木薯叶花青素提取工艺研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(3): 570-574. [ZHANG Z W, XU H, WU Q F, et al. Extraction of anthocyanin from cassava leaves[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(3): 570-574.]
- [35] 周丽. 山药叶中迷迭香酸和黄酮苷元的提取分离与抗氧化活性研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016. [ZHOU L. Study on separation, purification and antioxidant activities of rosmarinic acid and flavonoid aglycones from yam leaves[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.]
- [36] 王泽锋, 石玲, 苏一兰, 等. 响应面法优化紫薯茎中花色苷的提取工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 231-236. [WANG Z F, SHI L, SU Y L, et al. Optimization on response surface models for the optimal extracting conditions of anthocyanin from purple yam[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(16): 231-236.]
- [37] CELIA R P, MARÍA G C, EDUARDO G H, et al. Comprehensive metabolite profiling of *Solanum tuberosum* L. (potato) leaves by HPLC-ESI-QTOF-MS[J]. *Food Research International*, 2018, 112: 390-399.
- [38] YU Y, SHEN M, SONG Q, et al. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 183: 91-101.
- [39] 江雪. 紫甘薯及薯叶多糖抗辐射作用的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010. [JIANG X. The radioprotection of polysaccharide from tubers and leaves of purple sweet potato *in vivo*[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2010.]
- [40] 王和才, 杨巍, 王刚, 等. 微波辅助提取紫薯茎叶多糖的研究[J]. *食品科技*, 2011(8): 176-178. [WANG H C, YANG W, WANG G, et al. Extracting purple sweet potato leaf polysaccharides with microwave assisted extraction[J]. *Food Science and Technology*, 2011(8): 176-178.]
- [41] 刘露, 侯怡铃, 王梅, 等. “南薯88”茎叶多糖的分离纯化、结构鉴定及其生物活性的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2019, 38(2): 107-116. [LIU L, HOU Y L, WANG M, et al. Isolation, purification, structure identification and biological activity of polysaccharides from stems and leaves of “nanshu 88” [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2019, 38(2): 107-116.]
- [42] 罗丽萍. 甘薯叶柄藤中试综合提取的活性多糖, 类黄酮构成及生理活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2006. [LUO L P. The study on the constituents and physiological activities of polysaccharide and flavonoid from sweet potato leaf, stalk and stem by comprehensive pilot-extracting[D]. Nanchang: Nanchang University, 2006.]
- [43] 赵国杰, 刘家磊, 张少峰, 等. 烟草中茄尼醇的提取研究进展[J]. *现代化工*, 2019, 39(1): 79-84, 88. [ZHAO G J, LIU J L, ZHANG S F, et al. Research progress on extraction of solanesol from tobacco[J]. *Modern Chemical Industry*, 2019, 39(1): 79-84, 88.]
- [44] RAYMOND C, SABINE F, BRYAN G J, et al. Environmental and genetic factors associated with solanesol accumulation in potato leaves[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 1(7): 1-13.
- [45] 王秉鹏, 蒙静, 郭玫, 等. 马铃薯茎叶中茄尼醇提取方法优化与比较[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(4): 138-142. [WANG B P, MENG J, GUO M, et al. Optimization and comparison of extracting methods of solanesol in potato stem and leaf[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(4): 138-142.]
- [46] 祖元刚, 杨磊, 张琳, 等. 一种以马铃薯叶为原料制备高纯度茄尼醇的方法[P]. 黑龙江: CN1932022, 2007-03-21. [ZU Y G, YANG L, ZHANG L, et al. Method of preparing high-purity solanesol by potato leaves[P]. Heilongjiang: CN1932022, 2007-03-21.]
- [47] 张继, 王自社, 赵保堂, 等. 一种微波酶法辅助提取马铃薯叶中茄尼醇粗品的方法[P]. 甘肃: CN1019799612A, 2011-02-23. [ZHANG J, WANG Z S, ZHAO B T, et al. Method of extraction of crude solanesol from potato leaves by microwave-assisted enzymatic[P]. Gansu: CN1019799612A, 2011-02-23.]
- [48] 胡江涌, 梁勇, 谢亚, 等. 土豆叶中茄尼醇的高速逆流色谱法分离纯化及质谱解析[J]. *色谱*, 2007(4): 528-531. [HU J Y, LIANG Y, XIE Y, et al. Isolation and purification of solanesol from potato leaves by high-speed counter-current chromatography and identification by atmospheric pressure chemical ionization mass

- spectrometry[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2007(4): 528–531.]
- [49] 马君义, 张继, 柳国学, 等. 不同溶剂对马铃薯茎叶中茄尼醇提取率的影响[J]. *中国医院药学杂志*, 2009(9): 729–731. [MA J Y, ZHANG J, LIU G X, et al. Influence of different solvent on the extraction of solanesol in potato leaves and stems[J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2009(9): 729–731.]
- [50] 沈建伟, 杨晓燕, 芦启琴, 等. 高压液相色谱法测定马铃薯叶提取物中茄尼醇的含量[J]. *分析试验室*, 2008, 27(1): 167–168. [SHEN J W, YANG X Y, LU Q Q, et al. Determination of solanesol of potato leaf extracts by high pressure liquid chromatography[J]. *Chinese Journal of analysis laboratory*, 2008, 27(1): 167–168.]
- [51] TAO L, YU C C, REN L, et al. A simple and standardized method for the determination of total solanesol in potato leaves and its extracts based on HPLC-MS[J]. *Journal of AOAC International*, 2020.
- [52] 边亮, 陈华国, 周欣. 植物多糖的抗肿瘤活性研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 620(7): 284–291. [BIAN L, CHEN H G, ZHOU X. Recent advances in understanding the antitumor activity of polysaccharides from plants[J]. *Food Chemistry*, 2020, 620(7): 284–291.]
- [53] 罗丽萍, 高荫榆, 洪雪娥, 等. 甘薯叶柄藤类黄酮的抗肿瘤作用研究[J]. *食品科学*, 2006(8): 248–250. [LUO L P, GAO Y Y, HONG X E, et al. Study on anti-tumor effects of flavonoids extracted from sweet potato leaf, stalk and stem[J]. *Food Chemistry*, 2006(8): 248–250.]
- [54] 钟伟. 红薯叶中多酚类物质的抗氧化及抗肿瘤细胞增殖作用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015. [ZHONG W. Research evaluation of antioxidant and antitumor activities of *Ipomoea batatas* leaves[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.]
- [55] 任英杰, 曹彦刚, 张贝贝, 等. 怀山药茎叶化学成分及抗癌活性筛选研究[J]. *中草药*, 2020(4): 918–924. [REN Y J, CAO Y G, ZHANG B B, et al. Chemical constituents and antitumor activity from stems and leaves of *Dioscorea opposita*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2020(4): 918–924.]
- [56] 马翊, 龚恒佩, 沈敏琪, 等. 番薯藤提取物抗痤疮丙酸杆菌有效部位筛选研究[J]. *中国现代应用药学*, 2019, 36(7): 56–60. [MA S, HONG H P, SHEN M Q, et al. Study on anti-propionibacterium acne effective parts of sweet potato vines extracts[J]. *Chinese Journal of Modern Pharmacy*, 2019, 36(7): 56–60.]
- [57] KUSUMA S. Evaluation of antibacterial activity of indonesian varieties sweet potato leaves extract from cilembu against *Shigella dysenteriae* ATCC 13313[J]. *Asian Journal of Pharmaceutical & Clinical Research*, 2017, 10(2): 377–380.
- [58] 王世宽, 谢仁有, 洪玉程. 甘薯叶绿原酸的抑菌作用及其复配防腐剂对发酵香肠的影响[J]. *四川理工学院学报(自然科学版)*, 2012, 25(4): 21–25. [WANG S K, XIE R Y, HONG Y C. Research on antibacterial efficiency of chlorogenic acid from sweet potato leaf and effect of compound preservatives on fermented sausages[J]. *Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition)*, 2012, 25(4): 21–25.]
- [59] 延永, 李玉萌, 张亦琳, 等. 红薯叶总黄酮的提取工艺优化及其抑菌、抗氧化活性研究[J]. *广西林业科学*, 2018, 47(3): 311–315. [YAN Y, LI Y M, ZHANG Y L, et al. Optimization of extraction technology of flavonoids from sweet potato leaves and antimicrobial and antioxidant activity[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2018, 47(3): 311–315.]
- [60] 李兵, 何翠薇, 陈青青, 等. 广西木薯叶总黄酮提取工艺及抗菌性研究[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(23): 5816–5819. [LI B, HE C W, CHEN Q Q, et al. Extracting of total flavonoids from Guangxi cassava leaves and its antimicrobial properties[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(23): 5816–5819.]
- [61] HANEFELD M, MERTES G. Treatment: Alpha glucosidase inhibitors[J]. *Encyclopedia of Endocrine Diseases (Second Edition)*, 2019, 1: 238–244.
- [62] ELISA D S, TERESA O, CHIBUIKE C U. Functional significance and structure-activity relationship of food-derived α -glucosidase inhibitors[J]. *Food Science*, 2018, 20: 7–12.
- [63] 刘冉, 程霜, 王雷, 等. 不同品种甘薯叶提取物抗氧化及对 α -葡萄糖苷酶抑制活性的研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(23): 283–289. [LIU R, WANG L, CHENG S, et al. Antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf extracts from different varieties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(23): 283–289.]
- [64] 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(2): 178–191. [LUO D, MU T H, SUN H N. Research progress in separation, purification and antihyperglycemic activity of sweet potato leaf polyphenol[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(2): 178–191.]
- [65] 孙小新. 不同组分红薯叶黄酮降血糖作用的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. [SUN X X. Study on the hypoglycemic activity of the different component flavone isolated from sweet potato[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010.]
- [66] 冯彩宁. 红薯叶黄酮降血糖作用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009. [FENG C N. Study on the hypoglycemic activity of the flavone from sweet potato[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009.]
- [67] 靳艳玲, 谭力, 杨林, 等. 不同品种甘薯不同部位的抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(12): 51–58. [JIN Y L, TAN L, YANG L, et al. Antioxidant activity of different parts from different sweet potato varieties[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(12): 51–58.]
- [68] 陈蓬凤, 梅新, 黄师荣等. 不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(3): 132–138. [CHEN P F, MEI X, HUANG S R, et al. Comparison of the total phenolics, total flavonoids and antioxidant activities in potato tips of different varieties[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2021, 37(3): 132–138.]
- [69] SUN H N, MU T H, XI L S, et al. Effects of domestic cooking methods on polyphenols and antioxidant activity of sweet potato leaves[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(36): 8982–8989.
- [70] 王定美, 陈新富, 麦力文, 等. 木薯叶抗氧化能力与总黄酮含量及其关系研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(2): 37–43.

- [WANG D M, CHEN X F, MAI L W, et al. Study on the relationship between antioxidant capacity and total flavonoids contents of cassava leaves[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(2): 37-43.]
- [71] 吴秋妃. 木薯叶提取液制备及其抗氧化作用研究 [D]. 海口: 海南大学, 2019. [WU Q F. Study on the preparation and its antioxidant function of cassava leaf[D]. Haikou: Hainan University, 2019.]
- [72] 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 Y Y, LUO L P, HONG X E, et al. Study on immunoregulation effect of polysaccharides from sweet potato vines in mice[J]. *Food Science*, 2006(6): 200-202.]
- [73] 陶东川. 紫甘薯叶活性物质提取及黄酮护肝作用研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2011. [TAO D C. Research on the extraction of active components from purple sweet potato leaves and protective effects of flavonoids on liver injury[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2011.]
- [74] 王应想. 甘薯藤活性多糖的分离、纯化及功能研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2005. [WANG Y X. The research on the isolation, purification and function of polysaccharides from sweet potato vines[D]. Nanchang: Nanchang University, 2005.]
- [75] MUTIAH R, FITRIANINGSIH A A, INDRAWIJAYA Y, et al. The activity of purple sweet potato leaves (*Ipomea batatas* ver.) extract to calcium oxalate concentration of male rat (*Rattus norvegicus*) [J]. *Majalah Obat Tradisional*, 2020, 25(1): 49.