

毕洪娟, 靳晓杰, 雷 剑, 等. 甘薯茎叶生物活性成分及其保健功效研究进展[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(6): 1702-1708.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.06.029

甘薯茎叶生物活性成分及其保健功效研究进展

毕洪娟^{1,2}, 靳晓杰¹, 雷 剑¹, 王连军¹, 柴莎莎¹, 杨新笋¹

(1. 湖北省农业科学院粮食作物研究所, 湖北 武汉 430064; 2. 华中农业大学植物科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 中国是甘薯生产大国, 栽培面积和产量均居世界首位。甘薯茎叶常被视为甘薯的附加产品用作动物饲料或直接丢弃。近年来, 研究发现甘薯茎叶富含多糖、类胡萝卜素、绿原酸、黄酮和花青素等多种生物活性成分, 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、降血脂和抑菌抗炎等作用。本文综述了甘薯茎叶的主要生物活性成分、保健功效及其体内外活性之间的联系, 旨在为深入研究甘薯茎叶生物活性成分、提高甘薯茎叶资源的市场利用价值提供参考。

关键词: 甘薯茎叶; 生物活性成分; 保健功效

中图分类号: S531.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)06-1702-07

Progress of bioactive components and their health function in sweetpotato stems and leaves

BI Hong-juan^{1,2}, JIN Xiao-jie¹, LEI Jian¹, WANG Lian-jun¹, CHAI Sha-sha¹, YANG Xin-sun¹

(1. Food Crops Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: China is the major sweetpotato producing country in the world, with the largest cultivated area and highest production. As additional products, the stems and leaves of sweetpotato are often used as feed or discarded directly. Recently, many bioactive compounds, such as polysaccharides, carotenoids, chlorogenic acid, flavonoids and anthocyanins, were identified and isolated from sweetpotato stems and leaves. And these bioactive compounds offer numerous health benefits including antioxidant, antitumor, hypoglycemic, hypolipidemic, anti-bacterial and anti-inflammatory. This paper reviewed the main bioactive components, health function, relationship between activities *in vitro* and *in vivo*, aiming to provide a reference for further study of bioactive components and improving the market utilization value of sweetpotato stems and leaves.

Key words: sweetpotato stems and leaves; bioactive components; health function

甘薯 (*Ipomoea batata* L.) 为旋花科 (Convolvulaceae) 一年生植物, 起源于南美洲, 于 16 世纪后期

经菲律宾传入中国并成为中国重要的粮食、饲料、工业原料和生物能源作物^[1]。在传统习俗中, 仅甘薯的块根部分作为粮食, 茎叶部分多用作牲畜饲料或直接丢弃。然而研究发现甘薯茎叶中除含有丰富的营养成分外, 还富含大量生物活性物质, 如多糖、类胡萝卜素、绿原酸、黄酮类化合物和花青素等, 具有抗氧化、抑菌抗炎、抗肿瘤、降血糖和血脂等多种药用价值和保健功效, 在预防和辅助治疗疾病方面具有重要作用, 可作为保健品甚至是药品的开发原

收稿日期: 2022-03-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD1001300、2019YFD100-1305); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-10, 甘薯)

作者简介: 毕洪娟 (1999-), 女, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事甘薯遗传育种研究。 (E-mail) Bihjuan123@163.com

通讯作者: 杨新笋, (E-mail) yangxins013@163.com

料^[2]。因此,鉴定、分离、开发甘薯茎叶生物活性成分可以有效提高甘薯茎叶资源的市场利用价值,缓解资源浪费问题。本文针对甘薯茎叶的主要生物活性成分、保健功效及其体内外活性的联系进行综述,旨在为增加甘薯的经济附加值,促进甘薯茎叶的进一步研究与利用提供参考。

1 甘薯茎叶主要生物活性成分

1.1 多糖

多糖又称多聚糖,是由数个单糖分子聚集而成的一类天然高分子聚合物,是支持生命活动正常运作的基本物质之一^[3]。研究发现甘薯茎叶中的多糖主要是由葡萄糖、木糖、甘露糖等单糖组成的吡喃型多糖^[4]。赵珊等^[5]对烘干后菜用型甘薯和鲜食型甘薯地上部分的多糖含量进行测定,发现2种类型甘薯均以叶片多糖含量为最高(3.00%~4.69%),其次为叶柄(2.34%~4.21%),茎中含量最低(1.98%~3.63%)。张小贝等^[6]测定了甘薯品种徐菜薯1号、鄂菜薯1号和莆薯53的新鲜叶片中的多糖含量,结果表明3个品种的甘薯叶片中多糖含量分别达到1.26%、1.35%和1.85%。李松昂等^[7]运用超声波辅助酶法提取甘薯叶中多糖并利用响应面设计对提取工艺进行优化,获得甘薯叶中纯化多糖SPL-I、SPL-II 2种组分。

1.2 类胡萝卜素

类胡萝卜素是体内维生素A的主要来源,广泛存在于甘薯根部及茎叶组织中,主要包括 β -胡萝卜素、叶黄素、玉米黄素等^[8]。其中,甘薯叶片是叶黄素的极佳来源,烘干的叶片中叶黄素含量可高达0.34~0.68 mg/g^[9]。Phahlane等^[10]比较了6个品种的甘薯叶片中类胡萝卜素成分,结果表明,甘薯品种Blesbok烘干的叶片中 β -胡萝卜素和玉米黄素含量最高,分别为10.27 mg/kg和5.02 mg/kg;品种Bophelo和Blesbok的烘干叶片中叶黄素含量最高,分别为9.50 mg/kg和7.19 mg/kg。石晋^[8]对8个不同品种的烘干甘薯叶片中叶黄素和总胡萝卜素含量进行测定,结果表明,苏薯8号的总胡萝卜素和叶黄素含量均为最高,且甘薯茎叶中类胡萝卜素含量与光照强度具有相关性,在一定范围内光照强度越弱,类胡萝卜素含量越高。

1.3 绿原酸

甘薯茎叶中的绿原酸类化合物主要是指咖啡酰

奎宁酸(CQA)衍生物,包括3,5-*O*-二咖啡酰奎尼酸(3,5-diCQA)、4,5-*O*-二咖啡酰奎尼酸(4,5-diCQA)、3-*O*-咖啡酰奎尼酸(3-CQA)、3,4-*O*-二咖啡酰奎尼酸(3,4-diCQA)和3,4,5-*O*-三咖啡酰奎尼酸(3,4,5-triCQA)等^[11-12](表1)。其中3,4-*O*-二咖啡酰奎尼酸和3,4,5-*O*-三咖啡酰奎尼酸已经被证明能够抑制艾滋病病毒的复制,3,4,5-*O*-三咖啡酰奎尼酸还可以抑制脱氧核糖核酸(DNA)聚合酶^[11]。Taira等^[13]的研究结果表明11种甘薯叶片提取物中绿原酸的主要成分均为4,5-diCQA和3,5-diCQA。Zheng等^[14]利用液相色谱-质谱联用技术对甘薯茎叶绿原酸进行鉴定,结果表明,甘薯茎叶中除含有CQA之外,还含有3种阿魏酰奎尼酸,3,5-二咖啡酰奎尼酸和4,5-二咖啡酰奎尼酸,以及少量4种以上咖啡酰阿魏酰奎尼酸。Krochmal-Marczak等^[15]鉴定9个甘薯品种的茎叶生物活性成分,共发现5种绿原酸:新绿原酸(5-CQA)、绿原酸(3-CQA)、隐绿原酸(4-CQA)、3,4-*O*-二咖啡酰奎尼酸(3,4-diCQA)、3,5-*O*-二咖啡酰奎尼酸(3,5-diCQA)。

表1 甘薯茎叶绿原酸类化合物

Table 1 Chlorogenic acid compounds in sweet potato stems and leaves

化合物名称	参考文献
3,5- <i>O</i> -二咖啡酰奎尼酸(3,5-diCQA)	[11]~[23]
4,5- <i>O</i> -二咖啡酰奎尼酸(4,5-diCQA)	[11]~[23]
3- <i>O</i> -咖啡酰奎尼酸(3-CQA)	[11]~[23]
3,4- <i>O</i> -二咖啡酰奎尼酸(3,4-diCQA)	[11]~[23]
3,4,5- <i>O</i> -三咖啡酰奎尼酸(3,4,5-triCQA)	[11]、[12]、[16]、 [17]、[20]、[23]
阿魏酰奎尼酸(Feruloyl quinic acid)	[14]
3-咖啡酰-4-阿魏奎尼酸	[18]
新绿原酸(5-CQA)	[16]、[20]~[22]
隐绿原酸(4-CQA)	[15]、[16]

1.4 黄酮类化合物

甘薯茎叶中常见黄酮类化合物分别为槲皮素、木樨草素、杨梅素和山柰酚,其中槲皮素含量最高^[24]。邹耀洪^[25]利用高效液相色谱技术分离并鉴定甘薯叶中黄酮类物质,共发现槲皮素-3-*O*- β -D-葡萄糖-(6 \rightarrow 1)-*O*- α -L-鼠李糖甙、4',7-二甲氧基山柰酚、槲皮素-3-*O*- β -D-葡萄糖甙和槲皮素4种黄酮类化合物。Liu等^[26]采用超声波-微波协同法从甘薯

叶中提取到 11 种黄酮类化合物,包括黄芪素、杨梅素、槲皮素、异槲皮素等。罗建光等^[27]对巴西甘薯叶中黄酮类成分进行分离和鉴定,发现其中包含槲树苷、鼠李素、黄芪素和山柰酚等黄酮类化合物。Carvalho 等^[28]利用极谱阵列检测器液相色谱技术从甘薯叶片中分离出槲皮素、杨梅素和山柰酚等黄酮类化合物,并发现适当延长光照时间有助于类黄酮类化合物的积累。目前,甘薯茎叶中已鉴定到的主要黄酮类化合物见表 2。

表 2 甘薯茎叶黄酮类化合物

Table 2 Flavonoids in sweet potato stems and leaves

化合物名称	参考文献
槲皮素 (Quercetin)	[15]、[16]、[19]、[20]、 [24]~[26]、[28]~[30]
杨梅素 (Myricetin)	[24]、[26]、[28]
山柰酚 (Kaempferol)	[16]、[19]、[24]~[30]
鼠李素 (Rhamnetin)	[19]、[25]~[27]
芦丁 (Rutin)	[16]、[19]、[30]
金丝桃苷 (Hyperoside)	[15]、[16]、[19]、[30]
异槲皮素 (Isoquercitrin)	[15]、[16]、[19]、[20]、[25]、[26]、[30]
黄芪素 (Astragalin)	[16]、[26]、[27]
槲树苷 (Tiliroside)	[26]、[27]
木樨草素 (Luteolin)	[24]、[30]
柳穿鱼黄素 (Pectolinarigenin)	[16]
香叶木素 (Diosmetin)	[16]
棕矢车菊素 (Jaceosidin)	[16]
白杨素 (Chrysin)	[16]

1.5 花青素

花青素是一类水溶性天然食用色素,基本结构为 C6-C3-C6,主要用于花朵、果实和叶片的着色,与甘薯块根相比,有关甘薯茎叶花青素的研究较少^[31]。Islam 等^[32]利用反相高效液相色谱技术从甘薯品种 Simon No. 1、Kyushu No. 119 和 Elegant Summer 的叶片中共鉴定到 15 种花青素,分为矢车菊素类和芍药素类,主要包括矢车菊素 3-(6,6'-咖啡酰对羟基苯甲酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷、芍药素 3-(6,6'-二咖啡酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷、芍药素 3-(6,6'-咖啡酰对羟基苯甲酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷、矢车菊素 3-(6,6'-二咖啡酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷。矢车菊素类衍生物在抗突变和抗氧化活性方面优于芍药素类衍生物。Vishnu 等^[33]对甘薯品种 Bhu Krishna

的块根以及甘薯品种 S-1467 的叶片中花青素含量进行研究,结果表明,甘薯块根和叶片均由 9 种经氧化修饰的花青素组成,并且甘薯鲜叶中花青素含量远高于块根。Li 等^[34]首次在甘薯品种福薯 23 和福薯 317 的叶片提取物中鉴定出 3 种花青素化合物:矢车菊素 3-*p*-香豆素-5-葡萄糖苷、芍药素 3-*p*-香豆素-5-葡萄糖苷、矢车菊素 3-咖啡酰-*p*-香豆素-5-葡萄糖苷。Su 等^[35]利用高效液相色谱与质谱联用技术从 Bonita、Beauregard 和 P40 3 个品种的甘薯叶片中鉴定出 14 种花青素,其中包括一种新的花青素:芍药素 3-咖啡酰-*p*-香豆素-5-葡萄糖苷。

1.6 其他

甘薯茎叶组织中还存在激活剂、抑制剂、凝集素和挥发性物质,如:胰蛋白酶抑制剂和激活剂、胰凝乳蛋白酶抑制剂、甘薯凝集素、棕榈酸和亚麻油酸^[36-39]。

2 保健功效

2.1 抗氧化

具有抗氧化活性是作为保健食品的要求之一,研究发现甘薯茎叶抗氧化能力与其体内丰富的咖啡酰奎尼酸衍生物、黄芪素和矢车菊素类化合物具有相关性,其中与咖啡酰奎尼酸衍生物的相关性最高^[40-42]。Xu 等^[43]对抗氧化能力较强的菜用甘薯品种莆薯 53 与其体内富含的生物活性物质进行相关性分析,结果表明,影响抗氧化能力的生物活性化合物主要包括 5-CQA、3,4-diCQA、3,5-diCQA 和 4,5-diCQA 等咖啡酰奎尼酸衍生物。甘薯茎叶中多糖含量也是影响抗氧化能力的物质之一,杨汝凭^[44]研究发现甘薯茎叶多糖组分与黄酮均具有较高的抗氧化活性,可作为潜在天然抗氧化剂。此外,甘薯茎叶抗氧化活性的研究主要集中在水溶性抗氧化剂的抗氧化能力上,有关脂溶性物质的抗氧化特性的研究却一直被忽视。顾东东^[45]发现甘薯茎尖脂溶性提取物的 ABTS·清除率在品种间存在显著差异,且与 β -胡萝卜素含量呈正相关,品种渝苏 162 的 ABTS·清除率最高,达到 85.78%。

2.2 抑菌抗炎

病菌入侵会使机体产生炎症反应,影响受体的正常代谢,生物活性成分能够产生抗菌作用,消除炎症,维持机体的正常代谢^[46]。王世宽等^[47]研究发现甘薯叶绿原酸对植物乳杆菌、汉逊酵母、葡萄球

菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均有抑制作用,并且对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有高度抑制作用。延永等^[48]的研究结果表明,甘薯叶黄酮类提取物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌率分别最高可达108.66%、115.89%,最小抑菌浓度分别为5.02 mg/ml、10.05 mg/ml。

紫甘薯的叶片提取物能够增加 cleaved 钙蛋白酶 I 和聚腺苷二磷酸核糖聚合酶(PARP)的表达并诱导分化的小鼠前脂肪(3T3-L1)细胞的炎症基因表达下调,通过抑制一氧化氮(NO)、一氧化氮合酶(NOS)、环氧合酶(COX)和肿瘤坏死因子- α (TNF α)等促炎介质的过度产生,减弱脂多糖刺激的 BV-2 小胶质细胞的神经炎症反应^[49-50]。Chao 等^[51]研究发现紫甘薯的叶片提取物及其成分(花青素和槲皮素)通过调节核因子 κ B(NF κ B)和丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路从而对人主动脉内皮细胞(HAECs)炎症产生抵抗作用。

2.3 抗肿瘤

Karna 等^[52]的研究结果表明,甘薯品种 Whatley/Loretan(TU-155)的绿叶提取物在半抑制浓度(IC_{50})值为145~315 μ g/ml时,通过调节细胞周期、诱导细胞凋亡和降低克隆生存能力,从而抑制所有前列腺癌(PRAD)细胞的增殖。Gundala 等^[53]研究发现甘薯 Whatley/Loretan(TU-155)茎叶提取物能够显著抑制并诱导 PRAD 细胞凋亡的生物活性成分包括3,4-diCQA、3,5-diCQA、4,5-diCQA 和异绿原酸等。罗丽萍等^[54]分析徐薯18薯蔓黄酮提取物对于瘤株和S₁₈₀荷瘤小鼠的抑瘤作用,结果表明:黄酮提取物在最佳浓度条件下,高度抑制人早幼粒白血病细胞(HL-60 Cell)、人低分化胃腺癌细胞(BGC-823)、人肝癌细胞(SMMC-7721)和人肺癌细胞(A549),甘薯薯蔓黄酮对S₁₈₀肿瘤生长也有明显的抑制作用。Nakachi 等^[55]研究结果表明日本 Okinawan 甘薯叶片提取物有可能防止小鼠结肠致癌模型中肿瘤的发生和发展。

2.4 降血糖和血脂

甘薯茎叶中所富含的黄酮、花青素、咖啡酸衍生物等化合物可能是抗糖尿病作用的重要成分^[56]。Luo 等^[57]研究发现患2型糖尿病(T2DM)小鼠口服甘薯 Simon No.1 叶片提取物后体质量下降速度和空腹血糖(FBG)值降低,空腹血清胰岛素(FINS)含量水平升高,胰岛素抵抗、肝糖原和肌糖原都得到改

善。Almoraie^[58]用甘薯叶提取物治疗链脲佐菌素(STZ)所导致的大鼠糖尿病,经治疗后患病大鼠血糖(BG)值、丙二醛(MDA)和抗炎细胞因子(IL-1 β 和TNF- α)活性显著降低,胰岛素(INS)含量、谷胱甘肽(GSH)和超氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高,胰腺细胞结构也有明显改善。Ishii 等^[59]研究甘薯 Churakoi 的叶片提取物对人骨髓间充质干细胞(MSC)脂肪生成分化的影响,结果表明,紫甘薯叶提取物能够抑制未分化的 MSC 向脂肪细胞系的分化,并抑制前脂肪细胞向成熟脂肪细胞的最终分化。甘薯叶提取物还可以逆转血脂异常,降低总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)含量,增加高密度脂蛋白胆固醇(HDL)含量^[16,60]。

2.5 其他

Kusuma 等^[61]的研究结果表明,甘薯叶提取物可以帮助母乳喂养的母亲增加母乳产量和催乳素水平。杨敏等^[62]的研究结果表明,甘薯叶总黄酮对脑缺血模型小鼠的功能具有一定的维持作用,能够显著提高模型小鼠脑组织中SOD的活性,降低MDA的含量,减轻在急性脑缺血和脑缺氧的情况下造成的脑组织水肿。Ishiguro 等^[63]分析口服日本甘薯品种すいおう茎尖可以对高血压大鼠起到降压作用的一部分原因是CQA对血管紧张素转化酶(ACE)的高度抑制。陈彤等^[64]研究发现龙薯24号叶片提取物对CCl₄诱导的肝损伤小鼠的肝脏组织具有明显保护作用,在一定程度上增强了肝脏的抗氧化活性,缩小病灶面积,缓解细胞肿胀,减轻肝脏组织的病理损伤程度。

3 甘薯茎叶的生物活性成分的体内外作用及相关性

目前已经有大量研究结果证明,甘薯茎叶的生物活性成分具有多种保健功能,但有关甘薯茎叶生物活性成分体内、体外作用及相关性的研究却少见报道。Karna 等^[52]研究结果,表明甘薯叶片提取物对前列腺癌PC-3细胞(体外)以及前列腺肿瘤模型小鼠(体内)均有良好的抗癌活性,能够扰乱细胞周期进程,降低克隆形成存活率,调节细胞周期和细胞凋亡调节分子诱导细胞凋亡。Nagai 等^[65]研究结果表明,甘薯 Suioh 叶片提取物在体外和体内都可以延长低密度脂蛋白(LDL)氧化滞后时间。Sun 等^[66]研究了徐紫薯8号叶片提取物对高尿酸血症肾损伤

及相关炎症的体内外改善作用,结果表明:在体外,叶片提取物能够抑制单钠尿酸盐诱导的促炎细胞因子(IL-1 β 、IL-6 和 TNF- α)的活性;在体内,叶片提取物显著降低高尿酸血症小鼠的尿酸、血清肌酐和尿素氮的含量,干扰肝脏中黄嘌呤氧化酶(XOD)和腺苷脱氨酶(ADA)的活性,保护肾脏组织。

然而,Chen 等^[67]研究发现甘薯叶提取物对人脐血管内皮细胞(体外)与受试人血清(体内)血管生成的抑制效果的影响之间没有相关性,甘薯叶提取物在体外具有降低基质金属蛋白酶(MMP)活性,抑制血管生成的作用,在体内却增加 MMP 活性,促进血管的生成,这可能是由于甘薯叶提取物和受试人血清中叶代谢物之间化学成分的差异。

4 存在问题及展望

甘薯茎叶含有丰富的多糖、类胡萝卜素、绿原酸、黄酮和花青素等生物活性成分^[68],能够在预防和辅助治疗癌症、高血糖、高血脂等多种疾病方面发挥重要作用,拥有广阔的市场前景。但不同甘薯品种茎叶富含的生物活性成分存在差异,其保健功效可能会因品种差异受到影响。此外,有关甘薯茎叶生物活性成分的研究多停留在体外活性或体内动物模型,且描述体内外作用及相关性的研究较少。考虑到品种间的差异性以及生物体的复杂性,应加强甘薯茎叶中具体生物活性成分的研究,同时建立能够描述体内和体外研究结果相关性的数学模型,充分了解甘薯茎叶生物活性成分在各种生理条件下相互作用的机制,这对于进一步研究甘薯茎叶提取物的保健功能至关重要。

参考文献:

- [1] 曹清河,刘义峰,李 强,等. 菜用甘薯国内外研究现状及展望[J]. 中国蔬菜, 2007(10): 41-43.
- [2] 国 鸽,张靖杰,李鹏高. 甘薯中主要生物活性成分研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(2): 533-538.
- [3] 王秋亚,薛 航. 红薯叶有效成分的提取及开发应用研究进展[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 260-263.
- [4] 谢克英,杨庆莹,孙瑞琳,等. 红薯叶的营养研究[J]. 河南农业, 2015, 7(14): 37-38.
- [5] 赵 珊,冯俊彦,李 曦,等. 不同甘薯品种茎叶中多糖含量的测定分析[J]. 山西农业科学, 2018, 46(2): 182-186,206.
- [6] 张小贝,朱国鹏,祝志欣,等. 利用 3,5-二硝基水杨酸法测定菜用甘薯叶中的多糖含量[J]. 热带生物学报, 2017, 8(3): 359-363,377.
- [7] 李松昂,吴章毅,陈 红,等. 超声辅助酶法提取红薯叶多糖、结构及抗氧化研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(11): 83-89, 93.
- [8] 石 晋. 甘薯叶类胡萝卜素分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [9] WANG S N, NIE S D, ZHU F. Chemical constituents and health effects of sweet potato[J]. Food Research International, 2016, 89(1): 90-116.
- [10] PHAHLANE C J, LAURIE S M, SHOKO T, et al. An evaluation of phenolic compounds, carotenoids, and antioxidant properties in leaves of South African cultivars, Peruvian 199062.1 and USA's Beauregard[J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8. doi.org/10.3389/fnut.2021.773550.
- [11] ISLAM M S, YOSHIMOTO M, YAHARA S, et al. Identification and characterization of foliar polyphenolic composition in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(13): 3718-3722.
- [12] LIU Y, SU W J, WANG L J, et al. Integrated transcriptome, small RNA and degradome sequencing approaches proffer insights into chlorogenic acid biosynthesis in leafy sweet potato[J]. PLoS One, 2021, 16(1): e0245266.
- [13] TAIRA J, OHMINE W. Characteristics of caffeic acid derivatives in Okinawan sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves and the anti-LDL oxidation activity[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2011, 58(1): 16-20.
- [14] ZHENG W, CLIFFORD M N. Profiling the chlorogenic acids of sweet potato (*Ipomoea batatas*) from China[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 147-152.
- [15] KROCHMAL-MARCZAK B, CEBULAK T, KAPUSTA I, et al. The content of phenolic acids and flavonols in the leaves of nine varieties of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) depending on their development, grown in central Europe[J]. Molecules, 2020, 25(15). doi.org/10.3390/molecules25153473.
- [16] LUO D, MU T H, SUN H N. 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, 39(44): e100801.
- [17] ISHIGURO K, YAHARA S, YOSHIMOTO M. Changes in polyphenolic content and radical-scavenging activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during storage at optimal and low temperatures[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(26): 10773-10778.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] SANTIAGO S, TAIHUA M, HONGNAN S, et al. Antioxidant ac-

- tivity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 178-188.
- [21] TAIRA J, UEHARA M, TSUCHIDA E, et al. Inhibition of the β -catenin/Tcf signaling by caffeoylquinic acids in sweet potato leaf through down regulation of the Tcf-4 transcription[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(1): 167-172.
- [22] XU W Q, LIU L X, HU B, et al. TPC in the leaves of 116 sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties and Pushu 53 leaf extracts [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(6): 599-604.
- [23] YOSHIMOTO M, YZHARA S, OKUNO S, et al. Antimutagenicity of mono-, di-, and tricaffeoylquinic acid derivatives isolated from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2002, 66(11): 2336-2341.
- [24] OJONG P B, NJITI V, GUO Z B, et al. Variation of flavonoid content among sweet potato accessions[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science American Society for Horticultural Science, 2008, 133(6): 819-824.
- [25] 邹耀洪. 国产甘薯叶黄酮类成分研究[J]. 分析测试学报, 1996, 15(1): 71-74.
- [26] LIU J, MU T H, SUN H N, 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.
- [27] 罗建光,孔令义. 巴西甘薯叶黄酮类成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(7): 516-518.
- [28] CARVALHO I S, CAVACO T, CARVALHO L M, et al. Effect of photoperiod on flavonoid pathway activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves[J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 384-390.
- [29] HUANG Z L, WANG B W, EAVES D H, et al. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1395-1402.
- [30] LUO C Y, WANG X X, GE G, et al. Identification and quantification of free, conjugate and total phenolic compounds in leaves of 20 sweet potato cultivars by HPLC-DAD and HPLC-ESI-MS/MS [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2697-2706.
- [31] TIAN Q G, KONCZAK I, SCHWARTZ S J. Probing anthocyanin profiles in purple sweet potato cell line (*Ipomoea batatas* L. cv. *Aya murasaki*) by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization tandem mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2005, 53(16): 6503-6509.
- [32] ISLAM M S, YOSHIMOTO M, TERAHARA N, et al. Anthocyanin compositions in sweet potato leaves[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2014, 66(11): 2483-2486.
- [33] 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.
- [34] LI G L, LIN Z M, ZHANG H, et al. Anthocyanin accumulation in the leaves of the purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars[J]. Molecules, 2019, 24(20). doi.org/10.3390/molecules24203743.
- [35] SU X Y, GRIFFIN J, XU J W, et al. Identification and quantification of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato leaves[J]. Heliyon, 2019, 5(6): e01964.
- [36] 韩英,向仁德. 甘薯叶的挥发性化学成分的研究[J]. 天然产物研究与开发, 1992, 4(3): 39-41.
- [37] WANG H Y, YEH K W. Cultivar differences in trypsin inhibitory activities of sweet[J]. Taiwan, 1996, 41(1): 27-34.
- [38] 王永徐. 甘薯茎叶主要抗氧化功能成分的提取及其品种间差异研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [39] 余萍,杨帆,陈凤翔. 从甘薯品种中筛选凝集素[J]. 福建师范大学学报, 2001, 17(4): 70-73, 78.
- [40] MAKORI S I, MU T H, SUN H N. Total polyphenol content, antioxidant activity, and individual phenolic composition of different edible parts of 4 sweet potato cultivars[J]. Natural Product Communications, 2020, 15(7): 1-12.
- [41] XI L, MU T H, SUN H N. Preparative purification of polyphenols from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves by AB-8 macroporous resins[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 166-174.
- [42] JENG T L, LAI C C, LIAO T C, et al. Effects of drying on caffeoylquinic acid derivative content and antioxidant capacity of sweet potato leaves[J]. Journal of Food & Drug Analysis, 2015, 23(4): 701-708.
- [43] XU W, LIU L X, HU B, et al. TPC in the leaves of 116 sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties and Pushu 53 leaf extracts [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(6): 599-604.
- [44] 杨汝凭. 红薯茎叶中活性成分提取及抗氧化活性研究[D]. 长春: 长春师范大学, 2021.
- [45] 顾东东. 甘薯茎尖色泽、脂溶性提取物抗氧化能力及其与 β -胡萝卜素含量的关系[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [46] 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.
- [47] 王世宽,谢仁有,洪玉程. 甘薯叶绿原酸的抑菌作用及其复配型防腐剂对发酵香肠的影响[J]. 四川理工学院学报, 2012, 25(4): 21-25.
- [48] 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.
- [49] KANG H, KWAK Y, KOPPULA S. Protective effect of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L., *Convolvulaceae*) on neuroinflammatory responses in lipopolysaccharide-stimulated microglial cells[J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2014, 14(8): 55-61.
- [50] LEE S L, CHIN T Y, TU S C, et al. Purple sweet potato leaf extract induces apoptosis and reduces inflammatory adipokine expres-

- sion in 3T3-L1 differentiated adipocytes[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2015(126302). doi.org/10.1155/2015/126302.
- [51] CHAO P Y, HUANG Y P, HSIEH W B. Inhibitive effect of purple sweet potato leaf extract and its components on cell adhesion and inflammatory response in human aortic endothelial cells[J]. Cell Adhesion & Migration, 2013, 7(2): 237-245.
- [52] KARNA P, GUNDALA S R, GUPTA M V, et al. Polyphenol-rich sweet potato greens extract inhibits proliferation and induces apoptosis in prostate cancer cells in vitro and in vivo[J]. Carcinogenesis, 2011, 32(12): 1872-1880.
- [53] GUNDALA S R, YANG C H, LAKSHMINARAYANA N, et al. Polar biophenolics in sweet potato greens extract synergize to inhibit prostate cancer cell proliferation and in vivo tumor growth[J]. Carcinogenesis, 2013(9): 2039-2049.
- [54] 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.
- [55] NAKACHI S, AI T, TAKAMATSU R, et al. Abstract 840: the modifying effects of the extract from Okinawan sweet potato leaves in mouse colon carcinogenesis[J]. Cancer Research, 2016, 76(14): 840.
- [56] LEE C L, LEE S L, CHEN C J, et al. Characterization of secondary metabolites from purple *Ipomoea batatas* leaves and their effects on glucose uptake[J]. Molecules, 2016, 21(6). doi.org/10.3390/molecules21060745.
- [57] LUO D, MU T H, SUN H N. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf polyphenols ameliorate hyperglycemia in type 2 diabetes mellitus mice[J]. Food & Function, 2021, 12(9): 4117-4131.
- [58] ALMORAIE N M. The role of *Ipomoea batatas* leaves extract on the treatment of diabetes induced by streptozotocin[J]. Pharmacophore, 2019, 10(3): 14-20.
- [59] ISHII M, IKEDA N, MIYATA H, et al. Purple sweet potato leaf extracts suppress adipogenic differentiation of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(2): e14057.
- [60] HERIWIJAYA I P P D, JAWI M, SATRIYASA B K. Uji efektivitas ekstrak air daun ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas*) terhadap profil lipid tikus putih jantan galur wistar yang diinduksi pakan dislipidemia[J]. Intisari Sains Medis, 2020, 11(2): 452-456.
- [61] KUSUMA I C, SETIANI O, UMAROH U, et al. Sweet potato (*Ipomoea Batatas* L.) leaf: its effect on prolactin and production of breast milk in postpartum mothers[J]. Belitung Nursing Journal, 2017, 3(2): 95-101.
- [62] 杨敏,杨立轩,韦妮,等. 红薯叶总黄酮对小鼠脑缺血缺氧保护作用的研究[J]. 右江医学, 2018, 46(6): 628-632.
- [63] ISHIGURO K, YOSHIMOTO M, TSUBATA M, et al. Hypotensive effect of sweet potato tops[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science & Technology, 2007, 54(1): 45-49.
- [64] 陈彤,李丽洪,陈小河,等. “龙薯 24 号”叶提取物对 CCl₄ 肝损伤小鼠的保护作用[J]. 龙岩学院学报, 2017, 35(2): 115-120.
- [65] NAGAI M, TANI M, KISHIMOTO Y, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves suppressed oxidation of low density lipoprotein (LDL) *in vitro* and in human subjects[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2011, 48(3): 203-208.
- [66] SUN R, KAN J, CAI H H, et al. *In vitro* and *in vivo* ameliorative effects of polyphenols from purple potato leaves on renal injury and associated inflammation induced by hyperuricemia[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(2): e14049.
- [67] CHEN C M, LI S C, CHEN C Y O, et al. Constituents in purple sweet potato leaves inhibit *in vitro* angiogenesis with opposite effects *ex vivo*[J]. Nutrition, 2011, 27(11/12): 1177-1182.
- [68] 王永徐,邱天越,李臣,等. 甘薯叶黄酮的基因型差异及磷酸氢二钾乙醇双水相提取工艺的响应面优化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 227-231.

(责任编辑:张震林)