

• 综 述 •

甘薯及其主要成分体内生物活性研究进展

张子依¹, 陈锦瑞¹, 刘荣瑜¹, 汲晨锋^{1,2*}

1. 哈尔滨商业大学药学院 药物工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076

2. 哈尔滨商业大学 国家教育部抗肿瘤天然药物工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076

摘 要: 甘薯 *Ipomoea batatas* 是一种食药同源性植物, 能够提供维生素、矿物质、碳水化合物、蛋白质、花青素、必需脂肪酸以及微量元素等多种营养成分, 这些生物活性物质可从多个方面发挥抗肿瘤、调节免疫、保护肝脏、降血糖、调血脂、抗衰老、调节肠道、减肥、抗辐射、抗疲劳等广泛的药理作用和保健功效。《中药大辞典》《中华本草》中记载了甘薯具有“补虚益气, 健脾强肾”的功效。近年来甘薯以其丰富的活性成分和功能特性成为多个学科领域的研究热点。从基础研究和临床研究 2 方面对甘薯的体内生物活性研究进展进行综述, 为其进一步开发研究及综合利用提供参考。

关键词: 甘薯; 食药同源; 抗肿瘤活性; 调节免疫活性; 降血糖; 调血脂

中图分类号: R284 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)12-3308-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.12.025

Research progress of biological activity of *Ipomoea batatas* and its main components *in vivo*ZHANG Zi-yi¹, CHEN Jin-rui¹, LIU Rong-yu¹, JI Chen-feng^{1,2}

1. Engineering Research Center for Medicine, College of Pharmacy, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China

2. Engineering Research Center of Natural Anticancer Drugs, Ministry of Education, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China

Abstract: *Ipomoea batatas* is a kind of both edible and medicinal plant, which provides a dietary source of vitamins, minerals, carbohydrates, proteins, anthocyanins, essential fatty acids, trace elements and other nutrients, and these active substances play a role in many pharmacological activities such as antitumor, immune regulation, hepatoprotective effect, hypoglycemic, hypolipidemic, anti-aging, intestinal regulation, anti-obesity, anti-radiation, anti-fatigue, etc, and promote health in many aspects. *The Dictionary of Traditional Chinese Medicine* and *Chinese Materia Medica* recorded that *I. batatas* have the characteristics of tonifying deficiency and replenishing *qi*, strengthening spleen and kidney. In recent years, it has become a research hotspot in multidisciplinary fields for its rich nutritional components and functional characteristics. In this paper, the research progress of biological activity of *I. batatas in vivo* was reviewed from aspects of basic and clinical researches, which may provide references for its further development, research and comprehensive utilization.

Key words: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; homology of medicine and food; anti-tumor activity; immunoregulatory activity; hypoglycemic activity; hypolipidemic activity

甘薯即茄目旋花科 (Convolvulaceae) 番薯属 *Ipomoea* Linn. 一年生草本植物番薯 *I. batatas* (L.) Lam., 又名山芋、红芋、甘薯、番薯、番芋、地瓜、红苕、线苕等。甘薯能够提供维生素、矿物质、膳食纤维、必需脂肪酸以及抗氧化剂等营养成分^[1]。

《中华本草》记载, 甘薯为补益药, 其根味甘, 性平、微凉, 可以补脾益胃、生津止渴、通利大便、益气生津、润肺滑肠; 其叶味甘、淡, 性微凉, 具有利小便、排肠脓去腐、补虚乏、强肾、延缓衰老等功效^[2]。现代药理研究证明甘薯具有广泛而显著的生

收稿日期: 2019-11-27

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目 (H2015088); 黑龙江省博士后特别资助项目 (LBH-TZ0516); 中国博士后基金项目 (2012M520761); 哈尔滨商业大学校级科研项目 (18XN066)

作者简介: 张子依, 硕士研究生, 从事中药多糖研究。Tel: 18646648227 E-mail: 8101994@163.com

*通信作者: 汲晨锋, 研究员, 博士生导师, 主要从事中药多糖的研究。Tel: (0451)84844242 E-mail: smilejcf001@sina.com

物活性,可以提高机体免疫功能、抑制肿瘤细胞的生长、减少氧化应激和自由基损伤、降低心血管疾病的风险^[3]。甘薯与人类健康之间的密切关系促进了人们对其生物活性的研究。本文综述了甘薯及其主要成分的药理活性及临床应用研究进展,以期为其进一步开发研究及综合利用提供参考。

1 药理研究

1.1 抗肿瘤作用

甘薯不同化学成分在体外实验中对多种肿瘤细胞株表现出良好的抗肿瘤作用,体内实验研究同样证明了其对诱发性、移植性肿瘤动物模型的抑制作用。

国鸽等^[4]采用 1,2-二甲胂、右旋葡聚糖苷钠分别诱导雄性 ICR 小鼠建立炎症相关结肠癌模型,观察甘薯蛋白(SPP)对其抑制作用及机制。研究结果表明,SPP 对化学致癌剂和炎症促进剂导致的炎症相关性结直肠癌有一定程度的抑制作用,其作用机制与胰岛素样生长因子 1 受体(IGF-1)及 Wnt/ β -catenin 信号通路有关,可以抑制血管内皮生长因子(VEGF)蛋白的表达以减少肿瘤组织中微血管生成。张靖杰等^[5]利用实时荧光定量 PCR(qRT-PCR)法评价了甘薯蛋白对人结直肠癌 Lovo 细胞移植瘤荷瘤鼠肿瘤相关因子的调控作用。结果显示甘薯蛋白干预后,肿瘤总质量及个数略减少,肿瘤组织内小血管数量减少,纤维组织增加,甘薯蛋白具有下调 Lovo 细胞移植瘤荷瘤鼠肿瘤中胰岛素样生长因子 1 受体(IGF1R)、环氧合酶-2(COX2)、血管内皮生长因子 A(VEGFA)、 β 链蛋白(β -catenin)表达和分泌的作用。紫甘薯花色苷提取物能够抑制甲烷诱导的 CF-1 小鼠变异结肠腺窝病灶的形成,并且可以抑制结肠黏膜上皮细胞核抗原的增殖、促进凋亡蛋白含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-3(Caspase-3)的表达^[6]。在植入肉瘤 180 的 ICR 雄性小鼠中,甘薯花青素提取物可以剂量依赖性地抑制肿瘤细胞的生长,提高小鼠血清中超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,降低血清丙二醛(MDA)水平^[7]。“广薯 98”中提取的甘薯粗多糖和甘薯糖蛋白 SPG-1 对 H22 荷瘤小鼠具有明显的抑瘤作用,能够明显延长小鼠存活期,增加小鼠脾脏指数、胸腺指数,增强腹腔巨噬细胞活性,同时对肿瘤细胞有丝分裂具有明显的抑制作用^[8]。

1.2 调节免疫作用

甘薯属补益性药物,传统补益类中药发挥其独特的功效是通过提高机体的免疫功能起到主要作

用。研究表明,紫薯花色苷对小鼠淋巴细胞免疫功能具有调节作用,可以促进小鼠脾淋巴细胞增殖,提高淋巴细胞亚群 $CD4^+/CD8^+$ 值、提高 S 期淋巴细胞百分率,从而提高淋巴细胞的免疫活性^[9]。付越^[10]研究表明,PSPA 能直接促进小鼠脾 T 和 B 淋巴细胞增殖,还可以与刀豆蛋白 A(ConA)协同促进小鼠脾 T 淋巴细胞增殖,但不能与脂多糖(LPS)协同促进小鼠脾 B 淋巴细胞增殖;PSPA 可以显著增强 T 淋巴细胞内细胞因子白细胞介素-2(IL-2)和 IL-10 水平,还能够增强腹腔巨噬细胞的吞噬功能,从而增强小鼠免疫细胞的调节作用。紫甘薯中提取的 3 种多糖在体外和体内都具有增强免疫的作用,能诱导细胞表面的微绒毛样结构,激活巨噬细胞并促进正常巨噬细胞的吞噬活性,可以提高巨噬细胞中一氧化氮(NO)、IL-1 β 和 IL-6 水平;促进正常小鼠和环磷酰胺(CTX)诱导的免疫抑制小鼠抗体 IgA、IgM、IgG 和 Siga 的分泌功能^[11]。甘薯对病毒感染小鼠具有免疫调节作用^[12]。将紫甘薯根的水提取物给予小鼠白血病病毒 LP-BM5 感染小鼠,能够提高小鼠血清中抗氧化酶的水平,刺激 T 和 B 细胞的增殖和促进肿瘤坏死因子- α (TNF- α)的产生,还可以抑制辅助型 T 细胞 Th1 和 Th2 细胞因子间的失衡,表现出很好的免疫调节活性。此外,食用紫甘薯叶可显著增加人外周血单个核细胞的增殖反应和自然杀伤细胞(NK)的细胞毒活性,可增加淋巴细胞增殖及 IL-2 和 IL-4 活性^[13]。

1.3 保肝作用

紫甘薯粗提物或纯化的花青素通过多种机制对肝脏损伤的大鼠和小鼠起到保护作用,并且甘薯粗提物比花青素具有更强的作用,这可能是由于不同保肝生物活性物质的协同作用,而不是单一成分(花青素)的保护作用^[14]。

甘薯花色素对四氯化碳(CCl_4)、对乙酰氨基酚(APAP)、二甲基亚硝胺(DMN)、叔丁基过氧化氢(t-BHP)和乙醇所致的肝损伤大鼠血清中天冬氨酸转氨酶(AST)和丙氨酸转氨酶(ALT)活性有抑制作用。红薯、紫薯提取物和花青素均能降低肝缺血再灌注损伤大鼠血清中 AST、ALT 的活性^[15]。Hwang 等^[16]将紫甘薯花青素喂食 DMN 诱导的肝损伤大鼠 4 周后,大鼠血清中 AST 和 ALT 活性降低,将紫甘薯花青素喂食 t-BHP 诱导的肝损伤大鼠 3 d,同样可以降低血清中 AST 和 ALT 活性。在酒精性肝损伤的雄性 C57BL/6 小鼠中,紫甘薯花青素除了

可降低血清 AST、ALT、乙醛脱氢酶 (ALDH) 和肝脏乙醇脱氢酶 (ADH) 的活力, 还能降低肝脏总胆固醇 (TC)、三酰甘油 (TG) 和 MDA 水平, 提高肝脏 SOD 和谷胱甘肽转移酶 (GST) 的活力^[17]。甘薯花青素可以通过蛋白激酶 B (Akt) 和细胞外调节蛋白激酶 1/2 (ERK1/2) /核因子 E2 相关因子 2 (Nrf2) 信号通路上调 t-BHP 诱导的肝损伤大鼠肝脏中抗氧化酶血红素加氧酶 1 (HO-1) 的表达, 还可以通过抑制 NF- κ B 信号通路降低 DMN 诱导的肝损伤大鼠炎症介质环氧化酶-2 (COX-2) 和诱导型一氧化氮合酶 (iNOS) 的基因表达水平^[18]。甘薯花色苷通过抑制 CCl₄ 诱导的肝损伤大鼠体内活性氧的产生及提高 SOD、GSH-Px 活性, 或通过抑制 t-BHP、乙醇诱导的肝损伤大鼠体内脂质过氧化, 从而调节氧化平衡状态, 起到保肝作用^[19]。紫甘薯花色苷可以减轻肝脏病理性变化, 包括缺血再灌注肝损伤大鼠肝脏的变形、出血、坏死和炎性细胞浸润^[15]; 酒精性肝损伤大鼠肝脏细胞排列紊乱、细胞水肿; CCl₄ 诱导的肝损伤大鼠的球囊变性、大泡性脂肪变性、纤维组织增生、点状坏死和炎性细胞浸润^[20]。

1.4 降血糖作用

紫甘薯根提取的花青素对正常血糖模型有降血糖作用, 对高饱和脂肪/糖或链脲佐菌素 (STZ) 诱导的糖尿病模型也有降血糖作用。在 STZ 诱导的糖尿病模型小鼠中, 紫甘薯花色苷预处理可以降低血糖水平, 雄性昆明种小鼠食用含有紫甘薯根花色苷的饲料 4 周后采用尾 iv STZ, 继续喂养 1 周后, 小鼠血糖水平下降, 反映出紫甘薯的降血糖作用^[21]。甘薯叶和茎热水提取物可以剂量依赖性地降低健康大鼠和 STZ 诱导的高血糖大鼠的空腹血糖水平, 在 400 mg/kg 剂量下达到最大降血糖作用, 与格列本脲 (1 mg/kg) 降血糖作用相当^[22]。高秋萍等^[23]观察了紫甘薯多糖对 STZ 诱导的糖尿病大鼠血糖、糖化血清蛋白 (GSP)、肝糖原、TC、TG、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、MDA、GSH、总抗氧化能力 (T-AOC) 的影响。结果表明紫甘薯多糖可显著提高肝糖原合成能力, 增强 GSH 活性和 T-AOC, 降低糖尿病大鼠血糖及血清中 GSP、TC、TG、MDA 的量, 具有一定的降血糖、调血脂作用, 其作用机制与调节肝糖原代谢和抗氧化作用有关。自发性 2 型糖尿病 KK-A^y 雄性小鼠食用含有 3% 甘薯叶提取物的饲料 5 周后, 甘薯叶可以通过刺激胰高血糖素样肽-1 (GLP-1) 分泌降低 KK-A^y 小鼠的血糖水平^[24]。

1.5 调血脂作用

高脂血症是引起动脉粥样硬化进而导致冠心病、高血压和脑血管疾病的主要原因, 主要包括血清 TC 或 TG 水平过高、HDL-C 水平过低。大量研究表明, 食用甘薯可以有效改善高脂动物体质量、调节血脂水平。

甘薯糖蛋白可明显改善高脂血症大鼠的血脂代谢, 能够有效降低高脂血症大鼠的 TG、TC、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平, 显著升高 HDL-C 水平。甘薯糖蛋白调血脂的作用机制是升高 HDL-C 和载脂蛋白 A1 的水平, 促进脂质的转动和排泄, 抑制胆固醇合成的关键性限速酶 (HMG-CoA) 还原酶, 从而阻断肝细胞的内源性胆固醇的合成, 提高卵磷脂胆固醇酰基转移酶 (LCAT) 的活性, 促进胆固醇的酯化作用, 使细胞内的游离胆固醇被酯化成胆固醇酯, 加速胆固醇在体内的分解^[25]。RS4 型甘薯抗性淀粉能够降低 C57BL/6 小鼠的体质量, 降低小鼠血清中 TG、极低密度脂蛋白 (VLDL)、游离脂肪酸 (FFA) 的水平, 上调小鼠肝脏中过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR- α) 的表达水平, 对血脂代谢具有一定的调节作用^[26]。韦永芳等^[27]通过高脂饮食诱导载脂蛋白 ApoE^{-/-}小鼠产生高脂血症, 观察紫薯花色苷提取物对 ApoE^{-/-}小鼠高脂血症的作用。研究结果表明, 紫薯花色苷提取物可以调节血脂, 明显降低小鼠 TC、TG 和 LDL-C 水平, 减轻肝脏的脂肪变性程度, 同时还可以降低 IL-1 β 、IL-6 和单核细胞趋化蛋白-1 (MCP-1) 炎症细胞因子的表达, 提高 PPAR- α 的表达, 从而抑制高脂血症引起的肝组织脂肪变性和动脉粥样硬化的发展。Yoon 等^[28]的研究表明, 食用含有甘薯叶低脂饲料或高脂饲料的仓鼠表现出更好的脂质分布和体质量状况。与食用含 2% 甘薯叶饲料相比, 食用含 4% 甘薯叶饲料的仓鼠血浆 TC、LDL-C 和 VLDL-C 水平显著降低。食用含有甘薯叶正常饲料和高脂饲料的仓鼠的 TG 水平显著低于不含有甘薯叶饲料的仓鼠, 食用含有甘薯叶高脂饲料的仓鼠的 HDL-C 水平显著高于不含有甘薯叶饲料的仓鼠。

1.6 辐射防护作用

紫甘薯花青素作为辐射防护剂的一种, 具有抗氧化, 清除自由基等功能, 是防治放射损伤的理想药物。紫甘薯花青素在一定程度上可以减轻肠组织放射损伤情况, 能使 ⁶⁰Co γ 射线照射所致肠损伤的 SD 大鼠血清二胺氧化酶 (DAO) 水平降低、小肠组织中 NO、

MDA 水平降低, SOD 活性升高; 同时改善小肠组织病理改变, 表现为肠黏膜绒毛轻度水肿, 上皮细胞稍脱落, 腺体和隐窝结构基本正常, 黏膜下轻度血管扩张, 较照射组明显减轻。紫甘薯花青素还能够降低⁶⁰Co γ 射线照射大鼠的小肠组织细胞凋亡指数, 与⁶⁰Co γ 射线照射组比较差异显著, 其作用机制有待进一步研究^[29]。持续性的紫外线照射能明显缩短果蝇的寿命, 加速其衰老, 李津等^[30]研究发现紫甘薯提取物能够显著提高紫外线氧化损伤模型果蝇的寿命, 增加果蝇体内 SOD 和过氧化氢酶 (CAT) 的活力, 降低 MDA 水平, 说明紫甘薯提取物通过抗氧化的作用对紫外线辐射起到保护作用。江雪^[31]研究了甘薯多糖对¹³⁷Cs γ 射线辐射损伤小鼠的保护作用及机制, 发现甘薯多糖能够在一定程度上保护小鼠机体造血系统, 显著提高外周血白细胞数、促进骨髓造血干细胞的分化和增殖、降低骨髓细胞微核率; 对辐射引起的免疫器官损伤具有保护作用, 提高小鼠的胸腺系数和脾脏系数, 调节免疫系统功能; 甘薯多糖还可以提高辐射小鼠体内多种抗氧化酶活力, 并降低其体内 MDA 含量, 清除因辐射过氧化反应产生的自由基。

1.7 抗衰老作用

目前研究者已建立多种动物衰老模型, 探讨了甘薯抗衰老的作用和分子机制^[32-33]。

在小鼠体内, 紫甘薯花色苷的抗衰老作用可能与抗氧化机制有关, 其延缓衰老活性与维生素 C 相似。Lu 等^[34]将 D-半乳糖处理的雄性 KM 小鼠喂食紫甘薯花色苷 4 周, 发现甘薯花色苷对小鼠脑的氧化应激有保护作用, 能增强小鼠的旷野活动、空间学习记忆能力, 能够降低晚期糖基化终产物 (AGE) 的形成和 AGE 受体的表达, 增加 SOD 和 CAT 的表达和活性。另外对 D-半乳糖诱导的 KM 小鼠神经元存活的影响研究也表明, 甘薯花色苷可以增加神经元存活和认知功能, 这与神经元细胞的 Bad 蛋白磷酸化、磷脂酰肌醇-3 激酶 (PI3K)/蛋白激酶 B (Akt) 和细胞外调节蛋白激酶 (ERK) 通路激活有关。紫甘薯花青素可以改善小鼠学习记忆能力, 对软骨藻酸慢性染毒小鼠脑部海马区有保护作用。紫甘薯花青素能显著提高软骨藻酸染毒小鼠学习记忆相关蛋白谷氨酸受体 1 (NR1)、谷氨酸受体 2A (NR2A) 和突触后密度蛋白 95 (PSD95) 的表达, 从而有效改善小鼠学习记忆能力。甘薯花青素能显著降低活性氧 (ROS) 和蛋白羰基化水平, 通过抑制 p47^{phox} 和 gp91^{phox} 的表达减轻软骨藻酸小鼠海马区神经元

的氧化应激, 抑制软骨藻酸引起的神经元凋亡, 有效阻断内质网蛋白激酶样内质网激酶 (PERK) 和内质网核信号转导蛋白 $\alpha 1$ (IRE1) 信号通路的激活, 抑制内质网应激的发生。此外, 紫甘薯花青素能够上调雌激素受体 α (ER α) siRNA 小鼠模型 ER α 的表达, 通过上调 ER α 的表达激活软骨藻酸小鼠线粒体增殖通路, 提高线粒体呼吸链复合物的表达, 从而有效维持线粒体的正常功能, 发挥神经保护作用^[35]。研究表明, 紫甘薯花青素提取物能够有效控制更年期大鼠持续上升的体质量, 对于性腺器官及免疫器官的萎缩退化起到缓解作用, 能够提高大鼠的卵巢、子宫以及脾脏指数; 显著提高更年期大鼠血清和肝组织 T-SOD 活力, 显著降低 MDA 水平, 提高机体抗氧化能力, 延缓衰老。紫甘薯提取物还可以显著降低更年期大鼠下丘脑异常升高的 5-羟色胺 (5-HT) 水平, 一定程度升高多巴胺 (DA) 水平, 降低 MAO 活力, 调节神经递质含量, 改善植物神经功能紊乱, 预防机体老化^[36-37]。

李祥等^[38]以秀丽隐杆线虫作为模式生物研究紫薯提取物对寿命的影响及其可能的作用机制。研究结果显示, 紫薯提取物 PSPE 干预处理的线虫平均寿命明显延长, 脂褐素水平降低, 体内 SOD 和 CAT 抗氧化酶活力提高。PSPE 干预处理后线虫体内 daf-16、ctl-1 和 sod-3 基因 mRNA 水平有不同程度的提高, 而 age-1 基因转录水平呈下降的趋势。

1.8 调节肠道功能

肠道菌群对于机体健康和正常的生理代谢起着极其重要的作用, 近年来许多学者开展了甘薯活性成分调节肠道菌群平衡、改善肠道功能的研究, 发现其有助于提高机体免疫能力。

李静等^[39]研究表明紫甘薯花色苷对抗生素头孢克肟诱导的肠道菌群紊乱模型小鼠的肠道菌群具有显著的调节作用, Real-time PCR 检测结果表明肠道菌群紊乱小鼠肠道拟杆菌由 6.76×10^7 count/ μ L 增加至 1.41×10^{11} count/ μ L; 乳杆菌由 5.89×10^9 count/ μ L 增加至 3.8×10^{10} count/ μ L; 大肠杆菌由 3.98×10^9 count/ μ L 降低至 2.04×10^8 count/ μ L; 肠球菌由 7.08×10^{11} count/ μ L 降低至 1.05×10^{10} count/ μ L。陆红佳^[40]研究了纳米甘薯渣纤维素对糖尿病大鼠肠道的影响, 结果表明纳米甘薯渣纤维素对肠道内环境有一定的改善作用, 可以增加糖尿病大鼠盲肠组织总质量、盲肠壁湿质量和盲肠壁面积, 增加盲肠内容物质量、含水量、短链脂肪酸 (SCFA) 和有

益菌的数量,同时降低盲肠内容物中游离氨含量和有害菌的数量;改善小肠和结肠组织形态。纳米甘薯渣纤维素通过改善肠道失衡造成的糖脂代谢紊乱,减少小肠对葡萄糖的吸收,起到降血糖的作用;并且通过吸附肠道中胆汁酸,阻碍胆汁酸的重吸收,反馈调节抑制肝脏中胆固醇的合成量,增加粪便中总胆汁酸和中性固醇的排泄,从而起到调血脂的作用。王璐瑶^[41]采用猪小肠研究了紫甘薯酰化花色苷与消化道酶的相互作用,结果表明,紫甘薯花色苷对消化道酶中的唾液淀粉酶、胃蛋白酶、胰蛋白酶和胰脂肪酶的活性均没有显著性影响,对 2 种二糖酶蔗糖酶和麦芽糖酶活性具有明显的抑制作用。

1.9 抑制肥胖作用

肥胖是一定程度的明显超重与脂肪层过厚,是体内脂肪尤其是 TG 积聚过多而导致的一种状态。体内外实验研究表明甘薯具有抑制肥胖的作用。

研究表明,紫甘薯花色苷喂食高脂饮食诱导的 ICR 雄性肥胖小鼠 4 周,可降低体质量和肝脏 TG 水平,并改善血脂谱,增加肝脏细胞中 AMP 依赖蛋白激酶 (AMPK) 磷酸化和乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACC) 水平,下调胆固醇调节元件结合蛋白 1 (SREBP1) 和脂肪酸合成酶 (FAS) 水平,通过 AMPK 信号途径抑制肝脏中脂质聚集。C57BL/6 雄性肥胖大鼠食用含紫甘薯水提取物的饮食 16 周,可剂量依赖性地改善肥胖症状和体征,降低大鼠体质量和脂肪组织质量,防止脂肪肝的发生。甘薯提取物在分子水平上通过抑制肝脏组织中 SREBP1、酰基辅酶 A 合成酶 (ACS)、甘油-3-磷酸酰基转移酶 (GPATs)、HMG-辅酶 A 还原酶 (HMG-CoAR) 和 FAS 的表达来调节脂肪生成相关基因的表达^[42]。甘薯膳食纤维能够预防和治疗肥胖症模型大鼠。膳食中添加甘薯膳食纤维能够改善 Wistar 大鼠肥胖和血脂、血糖异常的情况,提高胰岛素和瘦素的敏感性,并能提高血浆中胰岛素刺激激素脂联素和 GLP-1 的含量,还能够降低肝细胞变性程度,减少肝脏中脂肪颗粒的含量。研究发现,可以通过大鼠盲肠中有机酸的含量来确定机体的肥胖症的发生及病症程度,甘薯膳食纤维摄入量与 Wistar 大鼠盲肠中乙酸、丙酸和丁酸含量之间存在特定关系,随着甘薯膳食纤维剂量的增加,大鼠盲肠中的乙酸和丙酸含量依次减少,而丁酸的含量依次增加^[43]。

1.10 抗疲劳作用

疲劳是机体在过度紧张、繁重或长时间体力、脑

力行为下引起的一种病理现象。疲劳对机体健康的危害极大,若疲劳得不到及时消除,会导致疲劳综合征。大量研究表明,甘薯中多种成分具有抗疲劳的作用。

咎永强^[44]研究表明紫甘薯花青素能够减轻长时间过度训练造成的大鼠体质量下降,减轻过度训练所带来的不良症状,该现象可能与紫甘薯花青素的抗氧化性有关,其能够清除过度训练所产生的大量自由基,从而在一定程度上减轻过度训练对大鼠造成的损伤。紫色甘薯花色苷能显著提高小鼠骨骼肌中 SOD、GSH-Px 活性,降低 MDA 水平,提高小鼠运动能力^[45]。甘薯多糖同样具有良好的抗疲劳活性,能够增加小鼠肝糖元、肌糖元储备,降低血清尿素氮 (SUN) 含量,使相关血清酶呈现良性趋势,还能有效地抑制肝脏中 MDA 的生成,提高肝组织中 SOD 活力^[46]。Li 等^[47]研究结果证明甘薯叶总黄酮对负重游泳小鼠具有很好的抗疲劳作用,可以显著延长小鼠游泳时间,延缓疲劳的发生,并可以降低游泳后小鼠的血乳酸 (BLA) 和 SUN 水平,增加肌糖元和肝糖原含量。紫色甘薯醇提物能提高小鼠的运动能力,通过提高肌肉耐力、抗氧化能力、糖原含量,提高小鼠骨骼肌过氧化物增殖激活受体协同激活子 (PGC-1 α) 蛋白的表达和提高机体能量代谢的方式延缓疲劳,并且可以降低血清血尿素氮 (BUN)、BLA、MDA 水平,维持细胞的功能,降低代谢产物对机体的损伤。进一步研究紫色甘薯醇提物对蛙骨骼抗疲劳的影响,结果表明骨骼肌舒张持续时间 (DTI₅₀、DTI₉₀、TF_{max50}) 明显延长,与空白组之间差异显著,表明紫色甘薯醇提物对蛙骨骼具有抗疲劳效应,与小鼠实验结论一致^[48-49]。

甘薯及其主要成分体内生物活性见图 1 和表 1。

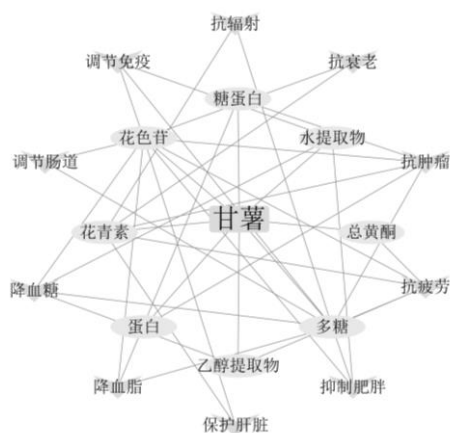


图 1 甘薯及其主要成分体内生物活性

Fig. 1 Biological activity of *I. batatas* and its main components

表 1 甘薯及其主要成分体内生物活性研究

Table 1 Biological activity of *I. batatas* and its main components *in vivo*

类型	主要成分或提取物	实验模型	生物活性	参考文献
抗肿瘤	蛋白	诱发性结肠癌模型小鼠	抑制 VEGF 蛋白表达, 减少肿瘤组织中微血管生成	4
		移植性结肠癌模型小鼠	下调 IGF1R、COX2、VEGFA、 β -catenin 表达	5
	花色苷	诱发性变异结肠腺窝模型小鼠	抑制细胞核抗原的增殖、促进 Caspase-3 的表达	6
	花青素	移植性肉瘤 180 小鼠	提高 SOD、GSH-Px 水平, 降低 MDA 水平	7
	粗多糖	移植性肝癌 H22 小鼠	增加脾脏和胸腺指数、增强巨噬细胞活性	8
	糖蛋白 SPG-1	移植性肝癌 H22 小鼠	增加脾脏指数、胸腺指数、腹腔巨噬细胞活性、抑制肿瘤细胞有丝分裂	
调节免疫	花色苷	正常小鼠	促进脾淋巴细胞增殖、提高 S 期细胞百分率, 提高淋巴细胞亚群 CD4 ⁺ /CD8 ⁺ 比值	9
			促进 T、B 淋巴细胞增殖, 增强巨噬细胞吞噬功能	10
	多糖	正常小鼠	增强巨噬细胞吞噬活性、促进细胞因子分泌	11
		免疫抑制小鼠	提高血清中 IgA、IgM、IgG 和 Siga 的含量	
保护肝脏	水提取物	病毒感染小鼠	提高血清中抗氧化酶的水平, 刺激 T 和 B 细胞增殖和促进 TNF- α 产生	12
		肝缺血再灌注损伤大鼠	降低血清中 AST 和 ALT 的活性	15-16
		DMN 诱导肝损伤大鼠		
		t-BHP 诱导肝损伤大鼠		
	花色苷	酒精性肝损伤小鼠	降低 AST、ALT、ALDH 和 ADH 的活力, 提高肝脏 SOD 和 GST 的活力	17
		t-BHP 诱导肝损伤大鼠	上调抗氧化酶 HO-1 的表达	18
		DMN 诱导肝损伤大鼠	降低炎症介质 COX-2 和 iNOS 的基因表达水平	
		CCl ₄ 诱导肝损伤大鼠	增加 SOD 和 GST 的活性	19
		缺血再灌注肝损伤大鼠、酒精性肝损伤大鼠、CCl ₄ 诱导肝损伤大鼠	可以减轻肝脏病理性变化	15,20
降血糖	花色苷	STZ 诱导糖尿病小鼠	降低血糖水平	21
	水提取物	正常大鼠、STZ 诱导糖尿病大鼠		22
		STZ 诱导糖尿病大鼠	提高肝糖原合成能力, 增强 GSH 和 T-AOC 活性, 降低血糖及血清中 GSP、TC、TG、MDA 的量	23
调血脂	乙醇提取物	自发性 2 型糖尿病小鼠	促进 GLP-1 的分泌, 降低血糖水平	24
	糖蛋白	高脂血症大鼠	降低 TG、TC、LDL-C 水平, 升高 HDL-C 水平	25
	抗性淀粉	C57BL/6 小鼠	降低 TG、VLDL、FFA 的含量, 上调肝脏 PPAR- α 的表达水平	26
	花色苷	ApoE ^{-/-} 小鼠	降低 TC、TG 和 LDL-C 水平, 减轻肝脏的脂肪变性程度	27
	甘薯叶	仓鼠	降低 TC、LDL-C 和 VLDL-C 水平, 升高 HDL-C 水平	28
抗辐射	花青素	⁶⁰ Co γ 射线辐射大鼠	降低 DAO、NO 和 MDA 含量, 升高 SOD 活性	29
		紫外线照射果蝇	增加 SOD 和 CAT 的活性, 降低 MDA 水平	30
	多糖	¹³⁷ Cs γ 射线辐射小鼠	提高外周血白细胞数、促进骨髓造血干细胞分化和增殖、降低骨髓细胞微核率	31

续表 1

类型	主要成分或提取物	实验模型	生物活性	参考文献
抗衰老	花色苷	D-半乳糖处理小鼠	降低 AGE 形成和 AGE 受体表达, 增加 SOD 和 CAT 活性	34
	花青素	软骨藻酸慢性染毒小鼠	增加 NR1、NR2A 和 PSD95 蛋白表达, 降低 ROS, 抑制神经元凋亡	35
		更年期大鼠	降低 5-HT 水平, 升高 DA 水平, 降低 MAO 活力	36-37
	提取物 PSPE	秀丽隐杆线虫	提高 daf-16、ctl-1 和 sod-3 基因 mRNA 水平, 降低 age-1 基因转录水平	38
调节肠道	花色苷	头孢克肟诱导肠道菌群紊乱小鼠	增加拟杆菌、乳杆菌浓度, 降低大肠杆菌、肠球菌浓度	39
	纤维素	糖尿病大鼠	增加有益菌的数量, 降低有害菌的数量	40
	酰化花色苷	正常猪小肠	抑制二糖酶蔗糖酶和麦芽糖酶活性	41
抑制肥胖	花色苷	肥胖 ICR 小鼠	降低体质量和肝脏 TG 水平, 抑制肝脏中脂质聚集	42
	水提取物	肥胖 C57BL/6 大鼠	降低体质量和脂肪组织的重量, 降低肝脂肪变性发生	
	膳食纤维	肥胖 Wistar 大鼠	降低肝脏脂质的含量, 降低肝细胞变性程度, 减少肝脏中脂肪颗粒含量	43
抗疲劳	花青素	长时间过度训练大鼠	减轻体质量下降、清除自由基	44
	花色苷	小鼠	提高骨骼肌中 SOD、GSH-Px 活性, 降低 MDA 含量	45
	多糖	小鼠	增加肝糖元、肌糖元的储备	46
	总黄酮	负重游泳小鼠	降低血乳酸 (BLA) 和血清尿素氮 SUN 水平	47
	乙醇提取物	小鼠	提高肌肉耐力和骨骼肌 PGC-1 α 蛋白的表达	48
		青蛙	延长骨骼肌舒张持续时间	49

2 临床研究

甘薯是继水稻、小麦、马铃薯、玉米之后最重要的粮食作物, 日本、欧美等发达国家和地区已将甘薯视为营养均衡全面的保健食品, 食用甘薯日趋成为潮流。关于甘薯对人体的生物活性及保健作用已有相关研究和报道, 包括调节免疫、调血脂、降血糖、抗氧化、促排便等活性。

2.1 调节免疫作用

Chen 等^[13]评价了紫甘薯叶对人体免疫应答调节的影响, 研究发现篮球运动员每天食用 200 g 紫甘薯叶 2 周, 可以影响体内血浆 α -生育酚、红细胞谷胱甘肽和血浆总抗氧化状态, 提高血浆中多酚的浓度。这可能是由于甘薯叶片中多酚类物质促进了谷胱甘肽还原酶的活性, 并促进谷胱甘肽合成酶的表达。Chang 等^[50]报道了篮球运动员食用紫甘薯叶 2 周后, 白细胞、红细胞和血小板细胞计数增加; 单核细胞、嗜酸性粒细胞和嗜碱性粒细胞百分比轻微下降。

2.2 调血脂作用

国外研究机构研究了甘薯叶尖摄取对男性和女

性血脂和心血管疾病风险的影响, 每天食用大约 120 g 的甘薯叶 14 d, 血压和体质量显著降低, 食用甘薯叶影响体质量状况和血压的能力表明甘薯叶有助于降低心血管疾病和相关并发症的风险, 食用甘薯叶超过 14 d 将导致血脂、血压和体质量的更大程度的降低^[51]。甘薯还具有抑制 LDL 氧化的作用, 在一项临床试验中, 6 名男性和 7 名女性健康受试者食用了 18 g 含 1 000 mg 多酚的甘薯叶, 在食用甘薯叶 0.5、2、4 h 后, 血浆中 LDL 氧化时间均开始延迟, LDL 迁移率降低, 硫代巴比妥酸活性物质受到抑制^[52]。

2.3 降血糖作用

每周适量摄入甘薯有助于降低 2 型糖尿病的发生发展^[53]。Ludvik 等^[54-56]给予 T2DM 男性患者甘薯制剂 Caiapo 6 周, 通过测量葡萄糖耐量试验和口服葡萄糖耐量试验发现高剂量组患者的基础葡萄糖耐量显著降低, 同时患者的平均胆固醇水平也显著降低。当将给予甘薯制剂的时间延长至 12 周, 患者的空腹血糖水平、餐后 2 h 血糖水平显著降低, 并且糖化血红蛋白 (HbA1c) 也显著降低。

2.4 抗氧化作用

15名健康男性食用200g熟甘薯叶7d,期间所有受试者每天都以相当于受试者最大摄氧量70%的速度跑步1h,研究结果表明,与对照组相比,紫甘薯叶组提高了血浆总多酚浓度和铁还原能力,降低了血浆中硫代巴比妥酸反应物、蛋白羰基含量和IL-6浓度^[57]。

2.5 改善便秘作用

《中华本草》记载,甘薯具有通利大便、滑肠的功效。临床研究表明,57例接受初次化疗的白血病患者食用甘薯后,可以有效的降低白血病患者便秘的发生率,减少便秘引发的肛裂的发生率,减轻排便不适症状,降低相关并发症的发生率,提高患者的排便满意度^[58]。

3 结语与展望

甘薯的不同部位及各种形式的提取物中的化学成分在体外和体内具有独特的生物活性,对人类健康有重要的影响。甘薯不同部位的混合物可能影响多种不同的分子生物学过程,并可能产生比单独使用根或叶更有效的预防和治疗人类疾病的功效。需要注意的是不同部位生物活性成分之间的相互作用可能是协同的、相加的或拮抗的方式^[59]。甘薯不同部位的混合物是否存在促进健康的协同作用或拮抗作用尚不明确。所以今后仍需要深入地认识甘薯的化学组成和药理作用,同时开展大量的临床研究,探索甘薯各种生物活性物质在生理条件下相互作用的机制,对于甘薯在预防和治疗人类疾病方面的应用至关重要。

同时,随着我国人民饮食格局的改变和大健康产业结构的调整,甘薯在人们的膳食结构中发挥的作用越来越大,基于“药食同源”保健理论可以开发出更多适合广大消费者需要的甘薯来源的保健食品和药品,充分发挥其潜在的经济价值。

参考文献

- [1] 周郑坤,郑元林.甘薯营养价值与保健功能的再认识[J].江苏师范大学学报:自然科学版,2016,34(4):14-19.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会.中华本草[M].上海:上海科学技术出版社,1998.
- [3] Sun H N, Mu T H, Xi L, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods [J]. *Food Chem*, 2014, 156: 380-389.
- [4] 国 鸽,岳 嵘,张靖杰,等.甘薯蛋白对 DMH/DSS

诱导的肥胖小鼠炎症相关结肠癌的抑制作用 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(12): 4630-4637.

- [5] 张靖杰,李鹏高.实时荧光定量 PCR 法评价甘薯蛋白对结直肠癌移植瘤荷瘤鼠肿瘤相关因子的影响 [J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(18): 4781-4786.
- [6] Lim S, Xu J, Kim J, et al. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato p40 in colorectal cancer prevention [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2013, 57(11): 1908-1917.
- [7] Zhao J G, Yan Q Q, Lu L Z, et al. In vivo antioxidant, hypoglycemic, and anti-tumor activities of anthocyanin extracts from purple sweet potato [J]. *Nutr Res Pract*, 2013, 7(5): 359-365.
- [8] 刘 主,刘国凌,朱必凤,等.甘薯多糖的抗肿瘤研究 [J]. 食品研究与开发, 2006, 27(2): 28-31.
- [9] 陈焱坤,刘晓玲,李敬双,等.薯花色苷对小鼠淋巴细胞免疫功能的调节作用 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 305-310.
- [10] 付 越.紫薯花色苷对小鼠脾淋巴细胞免疫调节活性的研究 [D]. 锦州:锦州医科大学, 2017.
- [11] Tang C, Sun J, Liu J, et al. Immune-enhancing effects of polysaccharides from purple sweet potato [J]. *Inter J Biol Macromol*, 2019, 123: 923-930.
- [12] Kim O K, Nam D E, Yoon H G, et al. Immunomodulatory and antioxidant effects of purple sweet potato extract in LP-BM5 murine leukemia virus-induced murine acquired immune deficiency syndrome [J]. *J Med Food*, 2015, 18(8): 882-889.
- [13] Chen C M, Li S C, Hsu C Y, et al. Consumption of purple sweet potato leaves modulates human immune response: T-lymphocyte functions, lytic activity of natural killer cell and antibody production [J]. *World J Gastroenterol*, 2005, 11(37): 5777-5781.
- [14] 宋 睿.经济农作物紫薯保护急性肝损伤小鼠有效部位的研究 [J]. 食品科技, 2018, 43(7): 40-44.
- [15] Jung S B, Shin J H, Kim J Y, et al. Shinzami Korean purple-fleshed sweet potato extract prevents ischaemia-reperfusion-induced liver damage in rats [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(14): 2818-2823.
- [16] Hwang Y P, Choi J H, Choi J M, et al. Protective mechanisms of anthocyanins from purple sweet potato against tert-butyl hydroperoxide induced hepatotoxicity [J]. *Food Chem Toxicol*, 2011, 249(9): 2081-2089.
- [17] 刘兴丽.紫甘薯花青素双水相提取工艺及酒精性肝损伤预防效果研究 [D]. 北京:中国农业科学院, 2013.
- [18] Zhang M, Pan L J, Jiang S T, et al. Protective effects of anthocyanins from purple sweet potato on acute carbon tetrachloride-induced oxidative hepatotoxicity fibrosis in

- mice [J]. *Food Agric Immunol*, 2016, 27(2): 157-170.
- [19] 吴任岚, 陈真. 紫甘薯花色苷在肝纤维化防治中的药理作用研究进展 [J]. 临床合理用药, 2016, 9(11): 180-181.
- [20] Wang W, Li J, Wang Z, *et al.* Oral hepatoprotective ability evaluation of purple sweet potato anthocyanins on acute and chronic chemical liver injuries [J]. *Cell Biochem Biophys*, 2014, 69(3): 539-549.
- [21] 卢立真. 紫甘薯花色苷的高效提取及抗衰老、抗糖尿病和抗肿瘤活性 [D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- [22] Olowu A, Adeneye A, Adeyemi O. Hypoglycaemic effect of *Ipomoea batatas* aqueous leaf and stem extract in normal and streptozotocin-induced hyperglycaemic rats [J]. *J Nat Pharm*, 2011, 2(2): 56-61.
- [23] 高秋萍, 阮红, 刘森泉, 等. 紫心甘薯多糖对糖尿病大鼠血糖血脂的调节作用 [J]. 中草药, 2010, 41(8), 1345-1348.
- [24] Nagamine R, Ueno S, Tsubata M, *et al.* Dietary sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf extract attenuates hyperglycaemia by enhancing the secretion of glucagon-like peptide-1 (GLP-1) [J]. *Food Funct*, 2014, 5(9): 2309-2316.
- [25] 梁婧婧. 甘薯水溶性糖蛋白的提取纯化及降血脂机理的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [26] 王欣. RS4 型甘薯抗性淀粉对高脂饮食小鼠炎症因子及 PPAR- α mRNA 表达的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
- [27] 韦永芳, 刘寒英, 严艳花, 等. 紫薯花色苷提取物对 ApoE^{-/-}小鼠动脉粥样硬化和高脂血症的作用 [J]. 中国病理生理杂志, 2018, 34(12): 2277-2282.
- [28] Yoon S, Pace R D, Dawkins N L. The antioxidant potential of sweet potato greens in preventing cardiovascular disease risk in hamster [J]. *FASEB J*, 2007, 21(6): A1091.
- [29] 吴鑫宝. 紫甘薯花青素对大鼠放射性肠损伤作用的实验研究 [D]. 衡阳: 南华大学, 2015.
- [30] 李津, 吕晓玲, 王婷婷, 等. 紫甘薯提取物对果蝇的紫外辐射保护作用 [J]. 天津科技大学学报, 2012, 27(2): 14-17.
- [31] 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.
- [32] 陆彩鹏. 紫甘薯花青素抗衰老及抗酒精性肝损伤作用的研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [33] 李津. 紫甘薯提取物对果蝇抗衰老作用的机理 [D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- [34] Lu J, Wu D M, Zheng Y L, *et al.* Purple sweet potato color alleviates D-galactose-induced brain aging in old mice by promoting survival of neurons via PI3K pathway and inhibiting cytochrome C-mediated apoptosis [J]. *Brain Pathol*, 2010, 20(3): 598-612.
- [35] 吴冬梅. 软骨藻酸分子毒理学机制及紫甘薯花青素神经保护机制研究 [D]. 北京: 中国矿业大学, 2013.
- [36] 王婷婷. 紫甘薯提取物对老龄大鼠更年期综合症的影响 [D]. 天津: 天津科技大学, 2014.
- [37] 吕晓玲, 王婷婷, 李凯, 等. 紫甘薯提取物对自然衰老更年期大鼠生理状态的改善 [J]. 营养学报, 2015, 37(2): 196-200.
- [38] 李祥, 张泽生, 汤新慧, 等. 紫薯提取物对秀丽隐杆线虫寿命的影响 [J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 1-6.
- [39] 李静. 紫甘薯花色苷对肠道菌群的调节作用 [D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- [40] 陆红佳. 纳米甘薯渣纤维素降血糖血脂的功效及其分子机理的研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [41] 王璐瑶. 紫甘薯酰基化花色苷与消化道酶的相互作用 [D]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- [42] Shin S J, Bae U J, Ahn M, *et al.* Aqueous extracts of purple sweet potato attenuate weight gain in high fat-fed mice [J]. *Inter J Pharmacol*, 2013, 9(1): 42-49.
- [43] 王晓梅. 甘薯膳食纤维提取工艺及防治 Wistar 大鼠肥胖症效果的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [44] 咎永强. 紫甘薯花青素对过度训练大鼠心肌氧化损伤干预的研究 [D]. 徐州: 江苏师范大学, 2013.
- [45] 刘志国, 谢旭东, 徐德刚, 等. 花色苷对小鼠生长、运动能力和骨骼肌抗氧化的影响 [J]. 食品研究与开发, 2014, 35(11): 109-111.
- [46] 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(7): 57-61.
- [47] Lic G, Zhang L Y. In vivo anti-fatigue activity of total flavonoids from sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] leaf in mice [J]. *Indian J Biochem Biophys*, 2013, 50(4): 326-329.
- [48] 熊斌, 王杨科, 尚书凤, 等. 紫色甘薯醇提物抗疲劳机制研究 [J]. 中国食品添加剂, 2017, 155(1): 65-70.
- [49] 熊斌, 陶小丹, 王杨科. 蛙骨骼肌检测紫色甘薯醇提物抗疲劳效应研究 [J]. 陕西理工学院学报: 自然科学版, 2016, 32(5): 69-79.
- [50] Chang W H, Chen C M, Hu S P, *et al.* Effect of purple sweet potato leaf consumption on the modulation of the antioxidative status in basketball players during training [J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2007, 16(3): 455-461.
- [51] 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]. *J Clin Biochem Nutr*, 2011, 48(3): 203-208.
- [52] Expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults. Executive summary of

- the third report of the national cholesterol education program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (adult treatment panel III) [J]. *JAMA*, 2001, 285(19): 2486-2497.
- [53] 李惠惠. 成年人群甘薯摄入与新诊断 2 型糖尿病的关联性研究 [D]. 天津: 天津医科大学, 2018.
- [54] Ludvik B H, Mahdjoobian K, Waldhaeusl W, *et al.* The effect of *Ipomoea batatas* (Caiapo) on glucose metabolism and serum cholesterol in patients with type 2 diabetes: A randomized study [J]. *Diabetes Care*, 2002, 25(1): 239-240.
- [55] Ludvik B, Hanefeid M, Pacini G. Improved metabolic control by *Ipomoea batatas* (Caiapo) is associated with increased adiponectin and decreased fibrinogen levels in type 2 diabetic subjects [J]. *Diabetes Obes Metab*, 2008, 10(7): 586-592.
- [56] Ludvik B, Waldhausl W, Prager R, *et al.* Mode of action of *Ipomoea batatas* (Caiapo) in type 2 diabetic patients [J]. *Metabolism*, 2003, 52(7): 875-880.
- [57] Chang W H, Hu S P, Huang Y F, *et al.* Effect of purple sweet potato leaves consumption on exercise-induced oxidative stress and IL-6 and HSP72 levels [J]. *J Appl Physiol*, 2010, 109(6): 1710-1715.
- [58] 邹晶莹. 食用甘薯改善白血化疗后患者排便情况的临床研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [59] Melissa J, Ralphenia D P. Sweet potato leaves: Properties and synergistic interactions that promote health and prevent diseases [J]. *Nutr Rev*, 2010, 68(10): 604-615.