

甘薯茎叶生理功能与其加工利用

郭政铭, 杨 静, 周成伟, 孙月娥, 王卫东*

(徐州工程学院食品与生物工程学院, 徐州 221018)

摘要: 甘薯是我国大宗农产品, 其茎叶常作为饲料或者直接废弃。目前研究表明, 甘薯茎叶含有丰富的营养成分, 包括糖、蛋白质、维生素、钾、钙、铁等微量元素。此外还含有黄酮类化合物、绿原酸、多糖等多种生理活性成分, 具有多种医疗保健功能, 如防癌、降血糖、降血脂、抑菌防腐等功效。因此, 对甘薯茎叶资源进行开发和利用, 不但可以提高农业附加值, 还能为消费者提供健康食品。本文详细论述了甘薯茎叶的活性成分及其生理功能, 并简要介绍了甘薯茎叶的加工现状, 提出未来研究和发展趋势, 为更好利用甘薯资源提供参考。

关键词: 甘薯茎叶; 生理功能; 加工; 利用

Advances on physiological activities and processing utilization of sweet potato stems and leaves

GUO Zheng-Ming, YANG Jing, ZHOU Cheng-Wei, SUN Yue-E, WANG Wei-Dong*

(College of Food and Biological Engineering, Xuzhou University of Technology, Xuzhou 221018, China)

ABSTRACT: Sweet potato is a large-scale agricultural product in China, and its stems and leaves are often used as feed or directly discarded. Current research shows that sweet potato stems and leaves are rich in nutrients, including trace elements such as sugar, protein, vitamins, potassium, calcium and iron. In addition, it also contains various physiological active ingredients such as flavonoids, chlorogenic acid and polysaccharides, and has various health care functions, such as anti-cancer, blood sugar lowering, blood fat reduction, antibacterial and antiseptic effects. Therefore, the development and utilization of sweet potato stem and leaf resources can not only improve the added value of agriculture, but also provide consumers with healthy food. This paper detailedly discussed the active constituents and physiological functions of sweet potato stems and leaves, briefly introduced the processing status of sweet potato stems and leaves and proposed future research and development trends, so as to provide reference for better utilization of sweet potato resources.

KEY WORDS: sweet potato stem and leaf; active substances; processing; preservation

1 引言

甘薯(*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill), 又名红薯、地瓜、番薯等, 为旋花科甘薯属缠绕草质藤本^[1]。甘薯原

产南美洲, 在热带、亚热带地区广泛栽培。我国以淮海平原、长江流域和东南沿海各省最多, 种植面积较大的地区有四川、河南、河北、山东、安徽、重庆等, 总产量在所有的粮食作物中仅次于水稻、小麦以及玉米, 占世界总产

基金项目: 江苏省六大人才高峰项目(NY-167)

Fund: Supported by Six Talent Peaks Project in Jiangsu Province (NY-167)

*通讯作者: 王卫东, 博士, 教授, 主要研究方向为功能性食品配料与添加剂。E-mail: wwd.123@163.com

*Corresponding author: WANG Wei-Dong, Ph.D, Professor, Xuzhou University of Technology, No.2, Lishui Road, Yunlong District, Xuzhou 221018, China. E-mail: wwd.123@163.com

量的 80%以上, 居世界首位。根据气候条件和耕作制度的差异, 可以将全国甘薯生产分为 5 个生态区, 即北方春薯区、北方夏薯区、长江流域夏薯区、南方夏秋薯区和南方秋冬薯区。

在国内, 传统甘薯品种主要以块根为食用部分。近年来, 随着居民生活水平提升, 以鲜嫩茎叶栽培对象的菜用甘薯日益得到市场认可。与普通甘薯不同, 菜用甘薯只长苗、块根小、抗虫害、耐旱性很强, 具有适应性强、茎叶生长快、再生能力强等特点^[2]。菜用甘薯营养价值集中在其茎叶上, 食用口感清香, 没有普通甘薯茎叶的酸涩感。因而, 在近年来发展很快。本文主要介绍普通与菜用甘薯茎叶的生理功能和加工利用概况, 为甘薯的进一步开发与利用提供参考。

2 甘薯茎叶的营养价值

甘薯茎叶含有蛋白质、膳食纤维、VB₁、VB₂以及钙、镁、铁等多种营养成分, VC 含量比柑橘高出一倍多。中国预防医学院的检测显示, 与芹菜、菠菜、韭菜、白菜、油菜、黄瓜、冬瓜、南瓜等常见蔬菜相比, 甘薯叶中的蛋白质、碳水化合物、脂肪、膳食纤维、钙、铁、胡萝卜素、Vc、VB₁、VB₂以及烟酸等 12 种营养成分含量均居于首位^[3]。雷碧瑶等^[4]对不同品种甘薯茎叶营养成分分析显示, 蛋白质含量在 32.38~41.14 g/kg 之间, 镁、钾、钠、锰、铜、铁等矿物元素含量绝大多数高于甘薯茎块和常见蔬菜。也有文献认为甘薯茎、叶中微量元素含量比甘薯低^[5]。但甘薯茎叶仍然是微量元素含量较高的绿色蔬菜, 具有较高的开发利用价值。

菜用甘薯茎叶中富含蛋白质、膳食纤维、矿物质、维生素等营养成分, 且高于薯块中的含量, 其茎叶中含有的胡萝卜素是胡萝卜的 3.8 倍, 粗蛋白含量高于大米和面粉^[6]。与块根相比, 茎尖与叶片的蛋白质、膳食纤维、钙、铁等含量较多, 而碳水化合物含量相对较低, 因而食用茎叶可在摄入较低热量的同时又保证了人体对各种营养素的需求^[7]。甘薯茎叶中酸性、中性洗涤纤维和木质素含量很高, 茎中半纤维素和木质素含量分别是叶子的 3 倍和 2 倍。叶柄下部比上部含有较少的灰分和较多的蛋白质、脂肪和膳食纤维^[8]。

3 甘薯茎叶的生理活性成分

3.1 多酚类化合物

3.1.1 甘薯茎叶中多酚类化合物的种类

甘薯茎叶多酚含量高于甘薯藤、甘薯皮、甘薯块根和大部分食用蔬菜。研究表明, 甘薯叶中多酚化合物主要是绿原酸及其衍生物, 此外还有少量的咖啡酸和黄酮类化合物^[9]。Islam 等^[10]从甘薯叶中鉴定出 6 种咖啡酰奎宁衍生物

成分, 包括具有抑制艾滋病病毒复制作用的 3, 4-二-反式-咖啡酰奎尼酸和 3, 4, 5-三-反式-咖啡酰奎尼酸等。朱亚珠^[11]对 10 个品种甘薯叶中的多酚研究表明, 酚类单体主要为咖啡酰奎尼酸类化合物, 其中 3, 5-咖啡酰奎尼酸的含量最高。

甘薯茎叶中黄酮含量因部位不同而不同, 从大到小顺序为: 叶>叶柄>茎^[12]。郑丽^[13]采用高效液相色谱对紫薯叶中的黄酮进行了分析, 鉴定出异鼠李素、芦丁、牡荆素和金丝桃苷等黄酮类物质。靳艳玲等^[14]采用超高效液相色谱-串联质谱法研究了不同品种甘薯的块根、茎叶的黄酮含量与组成, 发现甘薯各部位黄酮类化合物组成成分各不相同, 但以槲皮苷为主, 如槲皮素 5-O-己糖苷、槲皮素 3-O-葡萄糖苷、金丝桃苷, 并且茎叶中的黄酮含量均高于块根果肉。

3.1.2 多酚类化合物的提取方法

薯叶多酚含量高于甘薯藤、甘薯皮、甘薯块根和大部分食用蔬菜。通常多酚的提取方法有机溶剂提取法^[15]、超声波提取法^[16]、微波法提取法^[17]等。相比传统提取方法, 微波辅助乙醇-磷酸氢二钾双水相提取法费时少, 纯度高且对绿原酸生理活性基本没有影响。王永徐等^[18]采用磷酸氢二钾乙醇双水相超声波辅助提取甘薯叶中多酚, 发现当磷酸氢二钾为 2.51 g、乙醇为 3.05 g、超声时间为 36.85 min 时, 最大萃取得率为 2.06%, 具有操作简单, 用时较短的特点。蒋益花等^[19]利用微波辅助乙醇-磷酸氢二钾双水相的方法对甘薯叶中绿原酸进行提取, 并采用正交实验法优化工艺参数。实验结果表明: 以 40% 乙醇溶液、磷酸氢二钾质量浓度 100 mg/mL 组合的乙醇-磷酸氢二钾双水相萃取体系, 微波提取时间 75 s、料液比 1:100 (g/mL)、微波功率为 320 W 等条件下, 绿原酸得率可达 3.72%±0.036%。

动态高压微射流是新型功能性成分提取技术, 也被用于甘薯茎叶中抗氧化多酚类物质的提取^[20]。张露等^[21]以橘色肉型甘薯叶为原料, 研究了动态高压微射流 (dynamic high pressure microjet, DHPM) 辅助提取技术对甘薯叶总酚提取率的影响。结果表明 DHPM 主要是通过细化物料而提高总酚得率, 不会引起甘薯叶中多酚类化合物的氧化降解, 亦不会改变其结构。

刘汉文等^[22]采用超声微波协同提取法, 通过单因素实验和正交实验确定了超声-微波协同乙醇提取甘薯叶黄酮的最佳工艺条件。谢仁友等^[23]利用超声波辅助提取法从甘薯叶中提取绿原酸, 通过单因素和正交试验优化绿原酸的最佳提取工艺, 发现当乙醇浓度 60%, 料液比 1:30 (g/mL), 超声时间 50 min, 超声温度 50 °C 时, 提取效果最好。

3.2 超氧化物歧化酶

超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 是来源于生物体的活性物质, 能消除生物体在新陈代谢过程中产

生的有害物质,具有抗衰老的特殊效果,作为营养强化剂和功效因子广泛应用于食品加工。潘明等^[24]通过热变性沉淀、丙酮沉淀与凝胶过滤纯化相结合法,从甘薯叶中分离纯化 SOD,并比较了 3 种方法对酶活收率的影响,表明在 60 °C 下热变性 15 min 得到粗酶液,然后加入 1.4 倍的丙酮进行沉淀,经凝胶过滤纯化后所得 SOD 酶活收率高达 89.2%。

3.3 多糖

多糖是由醛糖或酮糖通过苷键聚合在一起的天然高分子化合物,广泛存在于植物、动物、微生物细胞壁中,并且含有多种生物活性。甘薯多糖以国内研究居多,主要集中在多糖提取分离、组分分析和生物活性等方面,而国外研究较少,但侧重于多糖的鉴定和生物活性^[25]。研究显示,甘薯叶多糖为吡喃型多糖,由木糖、甘露糖、葡萄糖等单糖组成^[3]。有研究表明,糖苷键的结合方式对多糖抗肿瘤作用有着显著影响:直链、较短支链、不易被体内 D-葡聚糖酶水解的多糖具有明确的抗肿瘤活性^[26]。

采用苯酚-硫酸法对 17 份不同甘薯品种茎叶中多糖含量进行测定,表明叶片中多糖为 3.00%~4.69%,叶柄中多糖为 2.34%~4.21%,茎中多糖为 1.98%~3.63%^[27]。

4 甘薯茎叶的生理、药理功能

4.1 抗肿瘤作用

经研究证实,甘薯茎叶中的多糖、绿原酸、黄酮类化合物具有抗肿瘤作用。吕淑河等^[28]对巴西甘薯叶不同溶剂提取物(总提取物 SM, 30%乙醇提取物 SM-A, 60%乙醇提取物 SM-B)的抗肿瘤能力研究表明,3 种提取物对肿瘤细胞均有一定的抑制作用,SM-B 活性最强。吴忆微等^[29]也证明了甘薯叶中含有具有清除氧自由基性质的多肽、多糖、黄酮类等物质,能够对肿瘤发生以及肿瘤细胞生长起到抑制作用。另有实验表明,甘薯叶中的肽类也具有较强的抗肿瘤作用,通过诱导和促进细胞凋亡途径,在细胞增殖调控中发挥重要作用^[30]。

4.2 降血糖、降血脂作用

多酚类、膳食纤维等活性物质的存在使其具有良好的降血糖、降血脂作用。甘薯茎叶中的水溶性膳食纤维(0.8~0.9 g/100 g)已被证实能够降低小白鼠肝部胆固醇和血清血脂水平^[31]。有研究发现高剂量的甘薯叶多酚提取物能起到改善肝脏功能的效果。甘薯茎叶中丰富的绿原酸对 α 葡萄糖苷酶具有较强的抑制作用,抑制 α 葡萄糖苷酶的 IC₅₀ 值可达 7.556 μ g/mL,可减低餐后血糖^[32]。

4.3 抗氧化作用

甘薯茎叶提取物具有较强的抗氧化能力,其大小与总酚、黄酮的含量呈正相关^[33,34]。刘冉等^[32]对 7 个品种甘

薯叶研究表明,其总多酚和总黄酮含量与抗氧化活性之间具有极显著的正相关性,是潜在抗氧化剂的优良来源。席利莎等^[35]采用超声波辅助乙醇溶剂提取法对甘薯茎叶中多酚进行分离纯化,所得多酚对 DPPH 自由基的清除能力高于抗坏血酸。陈彤等^[36]发现紫甘薯叶提取物对 CCl₄ 致肝损伤小鼠的肝脏具有明显保护作用,显示较强的清除羟基自由基作用,能够在一定程度上增强肝脏抗氧化能力、减少脂质过氧化物生成,保护肝脏组织,缓解肿胀。

β -胡萝卜素是甘薯茎叶的重要色素成分,是绿色类、绿带紫色类甘薯茎叶的主要脂溶性抗氧化物质,脂溶性提取物的 ABTS 清除率在品种间存在显著差异^[37]。目前甘薯茎叶抗氧化性研究的重点主要集中在在水溶性抗氧化剂的抗氧化能力上,对脂溶性物质的抗氧化活性研究较少。

4.4 抑菌防腐作用

有研究认为,甘薯茎叶的抑菌防腐作用主要源于其中的黄酮类物质。徐洪宇等^[38]研究表明在甘薯叶的乙酸乙酯提取相中具有抑制大肠杆菌及金黄色葡萄球菌生长的活性成分,该成分同时具有较强的抗氧化及抑菌活性,能有效抑制假单胞菌属的生长。与 0.5%苯甲酸钠相比,以 1%乙酸乙酯相萃取物浸泡冷却肉,能降低 pH 增长速率和脂质氧化的程度,延缓肌红蛋白氧化速度,从而延缓肉样腐败程度。

甘薯叶提取物含有黄酮类、鞣质、木脂素 3 种物质,具有一定的抗菌作用^[39]。王世宽等^[40]通过实验证实甘薯茎叶中绿原酸对朱武乳杆菌、汉逊氏酵母、葡萄球菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌都有抑菌效果,且对后者抑菌效果较强,可用于食品防腐保鲜。

4.5 其他生理作用

杨敏等^[41]通过典型小鼠脑缺血模型研究甘薯叶总黄酮对脑的保护作用,表明甘薯叶黄酮能显著提高小鼠脑组织中总超氧化物歧化酶的活性,降低丙二醛含量,缓解由于脑组织在急性缺血缺氧状况下造成的脑水肿,对小鼠脑缺血损伤具有一定的保护作用。故推测长期食用甘薯叶可以有效预防脑血管疾病,其保护机制可能与黄酮化合物直接清除氧自由基有关。

5 甘薯茎叶的加工与利用

我国甘薯产量居于世界前列,资源极其丰富,但是相对于发达国家来说,对茎叶的加工利用较为落后。在日本、美国等发达国家,人们利用甘薯茎叶开发了很多方便食品^[42]。甘薯茎叶富含多种营养成分,因此可以根据食品的应用目的进行不同的加工利用,如甘薯茎叶切碎压榨后的绿叶浆汁中可提取分离得到甘薯浓缩叶蛋白,富含微量元素和钙质,可作为畜禽饲料和糕点食品的添加剂^[43]。

5.1 甘薯茎叶的保鲜

甘薯茎叶含水量高、面积大、表面疏松, 在采摘之后, 继续进行呼吸作用, 不断地失去水分和分解生长过程中所积累的各种物质容易出现失水、腐烂、表面黄化等现象, 因此保质期短, 不易贮藏, 严重地限制了对其进一步的深加工^[7]。因此, 采摘后应尽快食用, 如需贮藏, 应选择低温贮藏, 并尽量缩短贮藏时间, 以保证菜用甘薯叶片的营养及卫生品质

目前, 叶类蔬菜的保鲜技术主要有低温保鲜、气调包装、气调保鲜、保鲜剂保鲜与减压保鲜, 而针对甘薯叶的保鲜技术研究比较少。董玲霞^[44]对不同品种甘薯茎叶的保鲜技术进行了研究, 表明聚乙烯保鲜膜和微孔膜 2 种膜在低温下对甘薯叶都有一定的保鲜作用, 低温结合覆膜可有效延长货架期至少 48 h。

5.2 甘薯茎叶速冻与干燥

将甘薯茎叶原料挑选好后, 经过热烫护色、冷却沥水等步骤, 然后进行真空冷冻干燥; 或者将沥水后的甘薯茎叶采用平面网带式速冻机, 在 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 迅速冻结, 包装后及时放入低于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温冷库中贮藏。通过这 2 种方式可以有效延长甘薯茎叶的供应期, 为其进一步深加工提供充沛的原料, 也有利于保持甘薯茎叶原有的形态和口感。

采用热风干燥、真空冷冻干燥、微波干燥、喷雾干燥制备甘薯叶粉时, 喷雾干燥红薯叶粉品质最好, 其次为真空冷冻干燥, 热风干燥红薯叶粉品质最差^[45]。

5.3 甘薯茎叶饮料

利用甘薯茎叶开发具有保健功能的饮料, 满足消费者对健康的需求。但是由于甘薯茎叶有一定的苦涩味, 在制备甘薯茎叶饮料时, 要对苦涩味进行掩盖或去除。李俊玲^[46]研究发现, 加入 0.05% 的 β -环糊精可以掩盖甘薯茎叶饮料的苦涩味, 0.09% 的枣香精可以有效地改善饮料的风味。

此外, 可以通过发酵改善甘薯茎叶的风味。岳春等^[47]利用乳酸杆菌对甘薯叶和茶叶进行发酵, 发现在甘薯茎叶: 茶叶为 1:1、糖度 20%、乳酸菌接入量 5%, 发酵 48 h 时所制饮料营养价值较高, 风味较好。

6 甘薯叶保健醋

甘薯叶可以单独或者与其他食品复配制作保健醋^[48]。黄达伟等^[49]利用曲霉菌、酵母、醋酸菌等菌种对甘薯茎叶浸提液进行发酵制备醋饮料, 糖化时采用多菌种糖化的方法(黄曲霉、黑曲霉双菌种糖化, 接入总菌种量为 25%, 黄曲霉:黑曲霉为 1:4, 所制得的产品有正常食醋的色泽、气味和滋味; 酸甜可口、风味纯正。徐君飞等^[50]将小麦粉与甘薯茎叶按 1:5(*m:m*)比例混合, 采用 α -淀粉酶进行液化, 黑曲霉、米曲霉制成的糖化剂进行糖化, 得到无沉淀、橙

黄色的糖化液, 然后发酵得到口感柔和且具有独特风味的保健醋。

甘薯茎叶还可用于蛋糕^[51]、香肠^[52]等产品中。此外, 将茶叶与甘薯茎叶复合制茶, 可以显著提高茶叶的保健功能。

7 展 望

甘薯在我国种植范围广、经济成本低, 茎叶富含多种营养物质, 具有抗癌、抗氧化等多种生理功能, 作为低成本的食品加工原料具有巨大的发展前景。近年来, 虽然对甘薯茎叶的活性成分与生理功能进行了一定的研究, 但是多停留在体外实验。在甘薯茎叶的加工技术研究方面还比较简单, 主要是传统的食品产品开发, 在市场前景方面还有待于消费者认识和接受。此外, 甘薯茎叶的加工技术在其产业化发展中依旧存在诸多难题亟待解决, 如甘薯茎叶的保鲜技术、精深加工技术及高附加值产品的开发。

参考文献

- [1] 王昊, 晏玉, 谢娅鑫, 等. 甘薯多糖的提取工艺研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2017, 33(6): 698-701.
Wang H, Yan Y, Xie YX, et al. Extraction of sweet potato polysaccharides [J]. J Harbin Univ Comm (Nat Sci Ed), 2017, 33(6): 698-701.
- [2] 李都, 钟太昌. 蔬菜新品种“长寿菜”热销[J]. 蔬菜, 2018, (9): 81.
Li D, Zhong TC. New vegetable variety "longevity vegetable" is hot-selling [J]. Vegetables, 2018, (9): 81.
- [3] 谢克英, 杨庆莹, 孙瑞琳, 等. 红薯叶的营养研究[J]. 河南农业, 2015, (14): 37-38.
Xie KY, Yang QY, Sun RL, et al. Study on nutrition of sweet potato leaves [J]. Agric Henan, 2015, (14): 37-38.
- [4] 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 BY, Lu HY, Chen XW, et al. Sensory evaluation and nutrition ingredients analysis of 7 kinds of sweet potato stem-apex for vegetable [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(24): 232-234.
- [5] 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]. Food Ind, 2019, 40(7): 312-314.
- [6] 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, 2015, (4): 207-209.
Shen ML, Pang LJ, Lu GQ, et al. Application value and research status of storage and preservation of sweet potato leafy vegetables [J]. Food Ind, 2015, (4): 207-209.
- [7] 杨汉, 黄志谋, 刘伟, 等. 中国菜用甘薯开发利用现状与展望[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(17): 3201-3204.
Yang H, Huang ZM, Liu W, et al. The situation and prospect of development and utilization of sweet potato for vegetable in China [J]. Hubei Agric Sci, 2017, 56(17): 3201-3204.
- [8] Drapal M, Rossel G, Heider B, et al. Metabolic diversity in sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.) leaves and storage roots [J]. Hort Res, 2019, DOI: 10.1038/s41438-018-0075-5
- [9] 傅志丰. 红薯叶多酚的溶剂提取、消化性及体内降血脂作用研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
Fu ZF. Solvent extraction of polyphenols from sweet potato leaves and

- study on its *in vitro* digestibility, *in vivo* antihyperlipidemic effects [D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.
- [10] Islam MS, Yoshimoto M, Yamakawa O. Distribution and physiological functions of caffeoylquinic acid derivatives in leaves of sweet potato genotypes [J]. *J Food Sci*, 2003, 68(1): 111–116.
- [11] 朱亚珠. 甘薯叶中咖啡酰奎尼酸类物质的分离纯化和高效液相色谱法分析[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 73–82.
Zhu YZ. Purification of caffeoylquinic acids from sweet potato leaves and their analysis by high performance liquid chromatography [J]. *Sci Technol Food Sci*, 2015, 36(10): 73–82.
- [12] 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, 2018.
Wang YX. Extraction and genotypic variation of antioxidant functional components from sweet potato vines [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2018.
- [13] 郑丽. 紫薯茎叶中黄酮类化合物提取纯化及抗氧化性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
Zheng L. Study on extraction purification and antioxidation of flavonoids from purple potato stem leaves [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2018.
- [14] 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, (1): 71–74.
Jin YL, Tan L, Yang L, *et al.* Antioxidant activity of different parts from different sweet potato varieties [J]. *Food Res Dev*, 2019, (1): 71–74.
- [15] 王振宇, 孔子浩, 孔令华, 等. 天然多酚提取、分离及鉴定方法的研究进展[J]. *保鲜与加工*, 2017, 17(4): 113–120.
Wang ZY, Kong ZH, Kong LH, *et al.* Research progress in extraction, purification and identification of natural polyphenols [J]. *Stor Pro*, 2017, 17(4): 113–120.
- [16] 刘汉文, 陈洪兴, 龚晓钰. 超声微波协同提取甘薯叶中黄酮类化合物的研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 298–301.
Liu HW, Chen HX, Gong XY. Study on microwave and ultrasonic-assisted extraction of flavonoids in the sweetpotato leaves [J]. *Sci Technol Food Sci*, 2014, 35(16): 298–301.
- [17] Song J, Li D, Liu C, *et al.* Optimized microwave-assisted extraction of total phenolics (TP) from *Ipomoea batatas* leaves and its antioxidant activity [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2011, 12(3): 282–287.
- [18] 王永徐, 李臣, 邱天越, 等. 超声耦合双水相提取甘薯叶多酚的响应面优化[J]. *江苏师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(4): 48–52.
Wang YX, Li C, Qiu TY, *et al.* Response surface optimization of polyphenols extracted from sweet potato leaves by ultrasonic coupled aqueous two-phase extraction [J]. *J Jiangsu Normal Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 36(4): 48–52.
- [19] 蒋益花, 蒋新龙. 甘薯叶绿原酸的微波协同双水相提取及其抗氧化活性[J]. *中国粮油学报*, 2018, (8): 94–100.
Jiang YH, Jiang XL. Extraction technology and antioxidant ability of chlorogenic acids in sweet potato leaves through aqueous two-phase method cooperated with microwave [J]. *J Chin Cere Oils Assoc*, 2018, (8): 94–100.
- [20] Huang XQ, Tu ZC, Xiao H, *et al.* Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and antioxidant activities of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves flavonoid [J]. *Food Bioprod Pro*, 2013, 91(1): 1–6.
- [21] 张露, 卢遇, 涂宗财, 等. 动态高压微射流预处理对甘薯叶多酚提取物抗氧化性的影响机制初探[J]. *食品与发酵工业*, 2017, (6): 173–178.
Zhang L, Lu Y, Tu ZC, *et al.* Mechanism of dynamic high pressure microfluidization assisted-extraction on the effect of antioxidant activities of polyphenols from *Ipomoea batatas* leaves [J]. *Food Ferment Ind*, 2017, (6): 173–178.
- [22] 刘汉文, 陈洪兴, 龚晓钰. 超声微波协同提取甘薯叶中黄酮类化合物的研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 298–301.
Liu HW, Chen HX, Gong XY. Study on microwave and ultrasonic-assisted extraction of flavonoids in the sweetpotato leaves [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(16): 298–301.
- [23] 谢仁有, 潘明. 超声波辅助提取甘薯叶中绿原酸的工艺研究[J]. *食品与发酵科技*, 2014, (1): 64–67.
Xie RY, Pan M. Research of technology for ultrasonic-assisted extraction of chlorogenic acid from sweet potato leaf [J]. *Food Ferment Technol*, 2014, (1): 64–67.
- [24] 潘明, 王世宽, 谢仁有, 等. 甘薯叶中 SOD 的分离纯化研究[J]. *食品科技*, 2012, (12): 239–242.
Pan M, Wang SK, Xie YR, *et al.* Separation and purification of SOD from sweet potato leaves [J]. *Food Sci Technol*, 2012, (12): 239–242.
- [25] 孙健, 周波, 钮福祥, 等. 甘薯多糖国内外研究进展[J]. *江西农业学报*, 2018, 46(2): 182–186, 206.
Sun J, Zhou B, Niu FX, *et al.* Worldwide research progress in polysaccharide from sweet potato [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2018, 46(2): 182–186, 206.
- [26] Xu Z, Chen X, Zhong Z, *et al.* Ganoderma lucidum polysaccharides: immunomodulation and potential anti-tumor activities [J]. *Am J Chin Med*, 2011, 39(1): 15–27.
- [27] 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.
Zhao S, Feng JY, Li X, *et al.* Determination and analysis of polysaccharide content in stem and leaves of different sweet potato varieties [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 2018, 46(2): 182–186, 206.
- [28] 吕淑河, 林聪, 徐平声. 引种巴西甘薯叶抗肿瘤活性部位的筛选[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2015, 40(5): 499–503.
Lv SH, Lin C, Xu PS. Screening of the anti-tumor active fraction from *Ipomoea batatas* Lam.(cv.simon) leaves [J]. *J Cent South Univ (Med Sci Ed)*, 2015, 40(5): 499–503.
- [29] 吴忆微, 蒋立勤. 红薯叶功效成分及抗肿瘤作用研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2013, 19(12): 63–65.
Wu YW, Jiang LQ. Research advancement in active components and anti-tumor activity of sweet potato leaves [J]. *Food Nutr China*, 2013, 19(12): 63–65.
- [30] Chang HS, Yang HA, Lin HH, *et al.* IbACP, a sixteen-amino-acid peptide isolated from *Ipomoea batatas*, leaves, induces carcinoma cell apoptosis [J]. *Peptides*, 2013, 47: 148–156.
- [31] Ishida H, Suzuno H, Sugiyama N, *et al.* Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* pair) [J]. *Food Chem*, 2000, 68(3): 359–367.
- [32] 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*, 1–10. [2019-09-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190618.1100.006.html>.
Wu YW, Zhang Y, Geng XL, *et al.* Antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf extracts from different varieties [J]. *Sci Technol Food Ind*, 1–10. [2019-09-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190618.1100.006.html>.
- [33] 钟伟, 曹双, 郑必胜. 红薯叶不同极性溶剂提取物的体外抗氧化活性[J]. *食品工业*, 2015, (4): 207–209.
Zhong W, Cao S, Zheng BS. Antioxidant activities of different solvent extracts from *ipomoea batatas* leaves [J]. *Food Ind*, 2015, (4): 207–209.
- [34] 涂宗财, 傅志丰, 王辉, 等. 红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 1–6.
Tu ZC, Fu ZF, Wang H, *et al.* Comparison of antioxidant activities of

- various solvent extracts of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves and identification of antioxidant constituents of the methanol extract [J]. *Food Sci*, 2015, 36(17): 1–6.
- [35] 席利莎, 孙红男, 木泰华, 等. 甘薯茎叶多酚的体外抗氧化活性与加工稳定性研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(10): 147–156.
- Xi LS, Sun HN, Mu TH, *et al.* The antioxidant activity *in vitro* and processing stability of sweet potato leaf polyphenols [J]. *J Chin Instit Food Sci Technol*, 2015, 15(10): 147–156.
- [36] 陈彤, 李丽洪, 陈小河, 等. 紫甘薯叶超声波提取工艺优化及其对小鼠肝脏保护作用研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2016, (8): 1212–1218.
- Chen T, Li LH, Chen XH, *et al.* Optimization of ultrasonic extraction technology of purple sweet potato leaves and its protective effect on mouse liver [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2016, (8): 1212–1218.
- [37] 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.
- Gu DD. The color value, antioxidant capacity of lipid-soluble extraction and their relationships with β - carotene content in sweet potato vine tips [D]. Chongqing: Southwest University, 2016.
- [38] 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 HY, Zhan ZZ, Gao YY, *et al.* Determination of phenolic composition of active in sweet potato leaves extracts and their application in the preservation of chilled pork [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 34(6): 149–156, 114.
- [39] 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.
- Wang QY, Xue H. Progress of the extraction of effective components in the sweet potato leaves and their applications [J]. *Food Ind*, 2018, 39(7): 260–263.
- [40] 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(自然科学版)*, 2012, 25(4): 21–25.
- Wang SK, Xie RY, Hong YC. Research on antibacterial efficiency of chlorogenic acid from sweet potato leaf and effect of compound preservatives on fermented sausages [J]. *J Sichuan Univ Sci Eng (Nat Sci Ed)*, 2012, 25(4): 21–25.
- [41] 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, (6): 628–632.
- Yang M, Yang LX, Wen N, *et al.* A study on protective effects of total flavonoids from sweet potato leaves on cerebral ischemia and hypoxia in mice [J]. *Chin Youjiang Med J*, 2018, (6): 628–632.
- [42] 董加宝, 张长贵, 王祯旭. 甘薯在食品工业中的开发利用现状、存在问题及对策[J]. *中国食物与营养*, 2006, (3): 31–34.
- Dong JB, Zhang CG, Wang ZX. Status, problems and countermeasure of sweet potato development and utilization in food industry [J]. *Food Nutr China*, 2006, (3): 31–34.
- [43] 蔡秋亮. 甘薯叶保健系列产品的研制与开发[J]. *现代农业科技*, 2015, (24): 266–267.
- Cai QL. Research and development of a series of protective foods on sweet potato leaves in brief [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2015, (24): 266–267.
- [44] 董玲霞. 甘薯茎叶采后保鲜技术研究[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(16): 176–178.
- Dong LX. Study on postharvest fresh-keeping of vegetable-used sweet potato [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2018, 46(16): 176–178.
- [45] 司金金. 红薯叶保鲜及干燥方式对红薯叶粉品质特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- Si JJ. Sweet potato leaves preservation and effect of different drying methods on quality characteristics of sweet potato leaf powder [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.
- [46] 李俊玲. 红薯茎叶功能性成分分析及其饮料的研制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- Li JL. Functional component analysis and beverage preparation of stems and leaves of sweet potato [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008.
- [47] 岳春, 李继红, 胡保珍, 等. 乳酸菌发酵红薯叶茶饮料的研究[J]. *食品工业*, 2007, (5): 31–32.
- Yue C, Li JH, Hu BZ, *et al.* Lactobacillus fermentation sweet potato leaf tea drink research [J]. *Food Ind*, 2007, (5): 31–32.
- [48] 李卫林, 杨雯, 许原, 等. 紫薯叶芦荟叶复合保健醋的研制[J]. *食品工业*, 2017, 38(6): 99–100.
- Li WL, Yang W, Xu Y, *et al.* Optimization on compound health care vinegar process of purple sweet potato leaves and aloe leaves [J]. *Food Ind*, 2017, 38(6): 99–100.
- [49] 黄达伟, 岳春, 李继红. 红薯叶醋饮料的研究[J]. *食品科技*, 2014, (7): 69–73.
- Huang DW, Yue C, Li JH. Preparation on the vinegar drink of the sweet potato leaf [J]. *Food Sci Technol*, 2014, (7): 69–73.
- [50] 徐君飞, 张居作, 莫亦佳. 红薯茎叶保健醋饮料的研究与开发[J]. *中国酿造*, 2014, 33(1): 150–153.
- Xu JF, Zhang JZ, Mo YJ. Research and development of health vinegar beverage with sweet potato stem and leaf [J]. *China Brew*, 2014, 33(1): 150–153.
- [51] 张娜, 郭楠楠, 万炎炎. 红薯叶戚风蛋糕的研制[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(6): 37–40.
- Zhang N, Guo NN, Wan YY. Study on development of chiffon cake made with sweet potato leaves [J]. *Cere Oils*, 2018, 31(6): 37–40.
- [52] 王岩. 紫薯叶弹性香肠的制作[J]. *肉类工业*, 2016, (10): 11–12.
- Wang Y. Production of elastic sausage with purple sweet potato leaves [J]. *Meat Ind*, 2016, (10): 11–12.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



郭政铭, 主要研究方向为功能性食品配料与添加剂。

E-mail: 1735603188@qq.com



王卫东, 博士, 教授, 主要研究方向为功能性食品配料与添加剂。

E-mail: wwd.123@163.com