

张毅,钮福祥,孙健,等. 不同地区紫薯的花青素含量与体外抗氧化活性比较[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):205-207.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.058

# 不同地区紫薯的花青素含量与体外抗氧化活性比较

张毅,钮福祥,孙健,徐飞,朱红,岳瑞雪

(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所,江苏徐州 221131)

**摘要:**为研究不同生长环境对紫薯花青素含量和体外抗氧化活性的影响,分别选取同时在我国两大甘薯主产区山东省和湖北省种植的 8 个紫薯品种(系),测定其干物率、花青素含量和体外抗氧化能力,通过多重比较分析品种(系)和地区之间的差异。结果表明,2 地区内参试样品间的干物率、花青素含量、总抗氧化能力和清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,简称 DPPH)自由基能力的差异均较大;山东地区种植的紫薯品种(系),除龙紫薯 4 号外,干物率极显著低于湖北地区种植的紫薯品种(系)( $P < 0.01$ );山东地区种植的紫薯品种(系),除漯紫薯 1 号外,花青素含量显著或极显著高于湖北地区种植的紫薯品种(系);总抗氧化能力和清除 DPPH 自由基能力与花青素含量呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )。

**关键词:**紫薯;花青素;抗氧化活性;干物率;多重比较

**中图分类号:**S531.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)21-0205-03

紫薯(*Ipomoea batatas* L.)属于旋花科一年生草本植物,富含的花青素具有着色、营养和保健等多重功能,是农业产业转型升级、结构调整的优势作物<sup>[1]</sup>。紫薯的块根和茎叶中均含有花青素,尤其在块根中的含量非常高,是提取花青素的主要原料。国内一直在开展富含花青素紫薯品种的筛选培育工作,笔者所在研究所目前已经筛选出包括徐紫薯 3 号、徐紫薯 6 号和徐紫薯 8 号等数十个适合紫薯花青素加工的优良品种<sup>[2-3]</sup>。

收稿日期:2017-01-16

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:CARS-10-B20);江苏徐淮地区徐州农业科学研究所科研基金(编号:2015001)。

作者简介:张毅(1987—),男,江苏徐州人,助理研究员,从事紫薯产后加工研究。E-mail:zhangyisnu@163.com。

通信作者:钮福祥,研究员,主要从事甘薯深加工研究。Tel:(0516)82028150;E-mail:niufuxiang@sina.com。

通过呼吸进入人体内的氧,少部分没有燃尽会转变为活性氧,活性氧可与体内的不成对电子结合形成自由基。人体内的自由基既可以帮助传递维持生命的能量,也可被用来杀灭病菌和寄生虫,还能参与毒素排出,一定范围内的自由基含量对人体是有益的。但当自由基在体内超过一定量时,会造成脂类代谢紊乱,引起蛋白质变性和酶失活,致使基因突变和细胞衰老,诱发多种慢性疾病。

花青素,以 C6-C3-C6 作为基本骨架,具有 2-苯基-苯并吡喃阳离子的典型结构,属类黄酮化合物。紫薯花青素具有抗氧化活性、抗炎活性、抗肿瘤活性及抑制肥胖等生物学作用<sup>[4]</sup>,特别是对自由基及机体抗氧化防御系统有明显的生理效应。目前关于环境对紫薯花青素含量与体外抗氧化活性影响的研究较少,本研究以 8 个紫薯品种(系)为材料,分别在山东泗水和湖北红安 2 地种植收获后,测定样品的干物率、花青素含量、总抗氧化能力和清除 DPPH 自由基能力,分析比较地区内样品本身的差异和地区间的差异,以期紫薯的育种、加工及综合利用提供理论依据。

## 参考文献:

- [1]靳鑫,时圣明,张东方,等. 穿心莲化学成分的研究[J]. 中草药,2012,43(1):47-50.
- [2]邵艳华. 穿心莲种质资源及其质量评价研究[D]. 广州:广州中医药大学,2015.
- [3]李志亨,路新华,龙晓英,等. 穿心莲内酯的研究进展[J]. 时珍国医国药,2012(11):2854-2857.
- [4]管晨,李敏,任庆杰,等. 穿心莲内酯通过抗炎和调节免疫提高 EV71 感染小鼠的生存率[J]. 免疫学杂志,2013,29(9):737-744.
- [5]程慧娟,刘江,张庚. 穿心莲内酯抗铜绿假单胞菌生物被膜及与阿奇霉素协同抗菌作用[J]. 中国微生态学杂志,2012,24(2):120-123.
- [6]Sheeja K, Guruvayoorappan C, Kuttan G. Antiangiogenic activity of

*Andrographis paniculata* extract and andrographolide [J]. International Immunopharmacology, 2007, 7(2):211-221.

- [7]Chao W W, Kuo Y H, Lin B F. Anti-inflammatory activity of new compounds from *Andrographis paniculata* by NF- $\kappa$ B transactivation inhibition [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(4):2505-2512.
- [8]李曙光,叶再元. 穿心莲内酯的药理活性作用[J]. 中华中医药学刊, 2008, 26(5):984-986.
- [9]王艳辉,王伽伯,郝庆秀,等. 不同产地穿心莲的含量测定, 化学指纹图谱及抑菌活性评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(9):77-82.
- [10]徐靓. 穿心莲内酯的提取及纯化工艺研究[D]. 成都:成都理工大学, 2007.
- [11]范云鸽,张秀莉,史作清,等. 大孔吸附树脂提取穿心莲总内酯的研究[J]. 离子交换与吸附, 2002, 18(1):30-35.

1 材料与方法

1.1 试验材料

以 8 个紫薯品种(系)(南紫薯 018、绵紫薯 9 号、济 10216、济 10270、烟紫薯 3 号、阜紫薯 1 号、漯紫薯 1 号、龙紫薯 4 号)为试验材料。

收获后的紫薯储存于 14~16℃ 的甘薯库,1 周内所有样品同时进行干物率测定和花青素提取。

1.2 试验设计

试验于 2016 年在山东省泗水县中西部(117.23°E, 35.66°N)和湖北省红安县西南部(114.56°E,31.06°N)进行。泗水县位于山东省中南部,属温带季风气候,年平均气温为 14.0℃,平均降水量为 650~800 mm,平均相对湿度为 65%,主要土壤类型为棕壤和褐土。红安县位于湖北省东北部,属亚热带季风气候,年平均气温为 15.7℃,平均降水量为 1 103~1 122 mm,平均相对湿度为 77%,主要土壤类型为黄棕壤。试验田土壤肥力中等,以当地最适播期种植,生长期相同。

1.3 测定指标与方法

干物率测定采用吕长文等的方法<sup>[5]</sup>进行,将 50 g 薯块切成颗粒,105℃ 下杀青 15 min,80℃ 烘至恒质量,精确称量干样。花青素含量测定采用 pH 值示差法<sup>[6]</sup>,当 pH 值为 1.0 时,花色苷在 530 nm 处有最大吸收峰;而当 pH 值为 4.5 时,花色苷转变为无色查尔酮,在 530 nm 处无吸收峰,利用此特性分别测定在不同 pH 值下 530、700 nm 处的吸光度。总抗氧化能力的测定采用 3 价铁降低抗氧化能力(FRAP)法<sup>[7]</sup>,按江苏苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒说明书进行检测。清除 DPPH 自由基能力的测定参照 Sánchez - Moreno 等的方法<sup>[8]</sup>并稍作修改,清除 DPPH 自由基能力 =  $[D_0 - (D_1 - D_s)]/D_0 \times 100\%$ ,其中  $D_0$  为 DPPH 单独时的吸光度; $D_1$  为 DPPH 和提取物的吸光度; $D_s$  为只有提取物的吸光度。

1.4 统计分析

采用 SPSS 18.0 软件处理数据,以平均值 ± 标准误差表示。采用 LSD 法进行多重比较和描述性统计;相关性检验采用皮尔森相关系数。

2 结果与分析

2.1 干物率

甘薯的品种差异是影响干物质积累的主要原因。甘薯干物质主要由淀粉、糖类、蛋白质、纤维素和花青素等组成,其中淀粉含量占 45%~75%。由表 1 可知,不同品种(系)干物率存在差异,但总体上各紫薯品种(系)干物率都较高。8 个紫薯品种(系)种植在山东地区时干物率平均为 32.27%,种植在湖北地区时干物率平均为 35.33%。除龙紫薯 4 外,湖北与山东紫薯样品干物率有极显著差异( $P < 0.01$ )。

2.2 花青素含量

紫薯除了含有普通甘薯的营养成分外,还富含大量的花青素。由表 1 可知,不同品种(系)中,山东泗水绵紫薯 9 号的紫薯花青素含量最高,为(79.65 ± 6.19) mg/100 g,湖北红安漯紫薯 1 号最低,为(6.40 ± 0.15) mg/100 g,不同品种(系)间花青素含量有明显差异。目前研究表明,多种外界因素影响紫薯花青素的积累,如光的强弱、光质和温度等<sup>[9-10]</sup>。种

表 1 参试紫薯品种(系)干物率和花青素含量的比较

种植地区	品种(系)	干物率 (%)	花青素含量 (mg/100 g)
山东泗水	南紫薯 018	29.83 ± 0.31jH	25.56 ± 0.87cCD
	绵紫薯 9 号	33.52 ± 0.23eD	79.65 ± 6.19aA
	济 10216	32.67 ± 0.21fEF	25.66 ± 1.17cCD
	济 10270	31.09 ± 0.40iG	26.73 ± 0.70cC
	烟紫薯 3 号	31.91 ± 0.12hF	13.29 ± 0.57fFG
	阜紫薯 1 号	33.72 ± 0.17eD	23.95 ± 0.72cdCD
	漯紫薯 1 号	33.42 ± 0.23eDE	8.64 ± 0.10gH
	龙紫薯 4 号	32.02 ± 0.13ghF	17.30 ± 0.96eE
湖北红安	南紫薯 018	33.50 ± 0.03eD	22.55 ± 0.29dD
	绵紫薯 9 号	34.56 ± 0.09dC	60.78 ± 2.42bB
	济 10216	35.61 ± 0.10cB	14.40 ± 0.12efEFG
	济 10270	32.64 ± 0.17fF	17.05 ± 0.44eEF
	烟紫薯 3 号	36.35 ± 0.14bB	8.60 ± 0.24gH
	阜紫薯 1 号	38.57 ± 0.05aA	12.73 ± 0.63fG
	漯紫薯 1 号	38.87 ± 0.05aA	6.40 ± 0.15gH
	龙紫薯 4 号	32.54 ± 0.31fgF	13.77 ± 0.11fEFG

注:同列数据后不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上的差异显著。地区平均值处的多重比较指山东泗水和湖北红安相应指标的比较。表 2 同。

植在山东地区的 8 个品种(系)中,漯紫薯 1 号花青素含量与湖北地区的无显著差异,南紫薯 018 和龙紫薯 4 号与湖北地区的有显著性差异( $P < 0.05$ ),其余 5 个品种(系)的花青素含量在地区间差异极显著( $P < 0.01$ )。总体上看,相同品种(系)的干物质积累量在湖北地区较多,花青素积累量反而较少,而山东地区干物质积累量较少,花青素积累量反而较多。

2.3 总抗氧化能力

在酸性环境下,紫薯花青素还原  $Fe^{3+}$  - 三吡啶三吡啶( $Fe^{3+}$  - TPTZ)产生蓝色的  $Fe^{2+}$  - TPTZ,于 593 nm 波长处具有最大吸光度,检测蓝色物质的生成量可以反映其总抗氧化能力,总抗氧化能力越强,溶液颜色越深。由表 2 可知,2 个地区紫薯品种(系)的总抗氧化能力差异较大。不同地区间,南紫薯 018、烟紫薯 3 号、漯紫薯 1 号和龙紫薯 4 号有显著差异( $P < 0.05$ ),绵紫薯 9 号、济 10216、济 10270 和阜紫薯 1 号有极显著差异( $P < 0.01$ )。山东泗水地区的不同品种(系)中,漯紫薯 1 号总抗氧化能力最弱,绵紫薯 9 号总抗氧化能力最强;而湖北红安地区的不同品种(系)中,济 10216 总抗氧化能力最弱,绵紫薯 9 号总抗氧化能力最强。总体上,总抗氧化能力随花青素含量的升高而增强。

2.4 清除 DPPH 自由基能力

DPPH 是一种以氮为中心的稳定的自由基,DPPH 甲醇溶液呈紫色,其浓度与 517 nm 波长处的吸光度呈线性关系。紫薯花青素可与 DPPH 自由基结合或发生替代,使溶液颜色变浅,清除自由基。由表 2 可知,相同地区不同品种(系)中,绵紫薯 9 号清除自由基率最高,在 80% 以上;漯紫薯 1 号最低,在 30% 左右。总体上,2 个地区品种(系)清除 DPPH 自由基能力差异较大,南紫薯 018 和漯紫薯 1 号有显著差异( $P < 0.05$ ),其余 6 种差异极显著( $P < 0.01$ )。

2.5 各指标间的相关性

由表 3 可知,花青素含量和总抗氧化能力、清除 DPPH 自由基能力呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )。不同品种(系)紫

表 2 紫薯品种(系)花青素总抗氧化能力和清除 DPPH 自由基能力的比较

种植地区	品种(系)	总抗氧化能力 (U/mL)	清除 DPPH 自由基 能力(%)
山东泗水	南紫薯 018	74.37 ± 1.19dDE	59.53 ± 1.21dD
	绵紫薯 9 号	118.81 ± 2.77aA	89.30 ± 2.07aA
	济 10216	76.39 ± 2.02dD	58.64 ± 1.56deDE
	济 10270	102.28 ± 3.43cC	68.13 ± 1.81cC
	烟紫薯 3 号	55.04 ± 1.62ghGHI	49.87 ± 0.17gF
	阜紫薯 1 号	73.03 ± 2.60deDE	55.33 ± 0.35fE
	漯紫薯 1 号	51.51 ± 0.29hiHJ	31.71 ± 0.23jHI
	龙紫薯 4 号	58.22 ± 0.57fgGH	51.36 ± 0.62gF
	南紫薯 018	68.03 ± 1.42eEF	55.89 ± 0.61eDE
	绵紫薯 9 号	110.81 ± 1.32bB	80.47 ± 1.26bB
湖北红安	济 10216	41.78 ± 2.51kK	49.56 ± 0.37gF
	济 10270	59.51 ± 0.43fgG	50.76 ± 1.13gF
	烟紫薯 3 号	48.24 ± 1.56ijJK	34.65 ± 0.43iGH
	阜紫薯 1 号	61.42 ± 2.06fG	37.77 ± 0.19hG
	漯紫薯 1 号	45.02 ± 1.48jkJK	27.85 ± 0.44kI
	龙紫薯 4 号	51.92 ± 1.55hiHJ	36.91 ± 0.79hiG

表 3 各指标间的相关系数

指标	相关系数		
	干物率	花青素含量	总抗氧化能力
花青素含量	-0.196		
总抗氧化能力	-0.317	0.904**	
清除 DPPH 自由基能力	-0.437	0.913**	0.915**

注:\*\*表示在 0.01 水平上显著相关。

薯体外抗氧化活性总体随花青素含量的升高而增强;相同品种(系)种植在山东地区的紫薯比湖北地区花青素积累多,总抗氧化能力和清除 DPPH 自由基能力也较强。

### 3 结论与讨论

本研究发现,不同品种(系)紫薯干物率变异很大,干物率变幅为 29.83% ~ 38.87%,湖北地区干物率平均为 35.33%,高于山东地区的 32.27%。湖北地区漯紫薯 1 号花青素含量最低,为 6.40 mg/100 g;山东地区绵紫薯 9 号花青素含量最高,为 79.65 mg/100 g;相同品种(系)种植在山东地区的花青素积累量均高于湖北地区。不同地区种植的 8 个紫薯品种(系)总抗氧化能力变幅为 41.78 ~ 118.81 U/mL,清除 DPPH 自由基能力变幅为 27.85% ~ 89.30%,花青素含量和总抗氧化能力、清除 DPPH 自由基能力呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ),紫薯花青素含量越高,体外抗氧化活性越强。蒋海伟等也证实,紫薯具有较强的抗氧化作用,并且紫薯中的总酚也提供了较强的体外抗氧化活性<sup>[11]</sup>。

由于甘薯是一种块根类淀粉作物,干物率主要反映淀粉的积累情况<sup>[12]</sup>。相同品种(系)湖北地区干物质积累高于山东地区,可能是因为种植地区栽培条件不同,湖北种植区为丘陵山地,山东种植地区为平原。储藏和加工过程块根中的淀粉会分解成还原糖,所以湖北地区的紫薯适合休闲食品的加工。

Wang 等研究发现,紫薯中 50 种蛋白的表达与花青素的积累有关,在紫薯的块根中淀粉的分解有利于花青素的积累<sup>[13]</sup>。本研究结果表明,相同品种(系)山东地区和湖北地区的花青

素含量存在差异,可能与干物率的积累有关,山东地区紫薯花青素含量较高,这一品质有利于花青素的提取,但由于目前只有 1 年的数据,还需要进行连续几年的栽培种植和统计。

本研究从紫薯花青素的总抗氧化能力和清除 DPPH 自由基能力 2 个方面进行了探讨,进而对紫薯花青素的体外抗氧化活性进行较全面的评价。不同品种(系)在体外抗氧化中具有不同的总抗氧化能力和清除自由基的能力,并且随着花青素含量的增加而增强;相同品种(系)山东地区体外抗氧化作用均高于湖北地区,今后可从山东地区筛选高花青素紫薯品种(系),为抗氧化和抗衰老的产品提供新的原料。

总体来说,山东和湖北 2 个地区种植紫薯的干物率、花青素含量和体外抗氧化能力具有差异。选育优良的紫薯品种(系)和适宜的推广种植产地,需要进行连续的种植和观察,研究不同外界因素对紫薯特性以及紫薯产量变化的影响也是今后的一个主要课题。

### 参考文献:

- [1] 蒋玉峰,马代夫. 国家甘薯产业技术体系建设推动甘薯产业和学科发展[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版),2016,34(3): 23-27.
- [2] 李 强,王 欣,张允刚,等. 高花青苷高淀粉甘薯品种‘徐紫薯 3 号’的创制及特性鉴定[J]. 西南农业学报,2014,27(4): 1409-1412.
- [3] 唐 维,李 强,张允刚,等. 外界因素对徐紫薯 3 号产量与花青素积累的影响[J]. 华北农学报,2015,30(增刊 1): 184-188.
- [4] Zhang Y, Niu F X, Sun J, et al. Purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) color alleviates high-fat-diet-induced obesity in SD rat by mediating leptin's effect and attenuating oxidative stress[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(4): 1523-1532.
- [5] 吕长文,唐道彬,罗小敏,等. 甘薯干物质测定方法研究[J]. 江苏农业科学,2009(3): 307-308.
- [6] 张 毅,王洪云,钮福祥,等. ‘宁紫薯 1 号’花青素组分鉴定及其对大鼠高脂诱导肥胖的预防效果[J]. 中国农业科学,2016,49(9): 1787-1802.
- [7] 陈玉霞,刘建华,林 峰,等. DPPH 和 FRAP 法测定 41 种中草药抗氧化活性[J]. 实验室研究与探索,2011,30(6): 11-14.
- [8] Sánchez - Moreno C, Larrauri J A, Saura - Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols[J]. Journal of Food and Agriculture, 1998, 76(2): 270-276.
- [9] 姜卫兵,徐莉莉,翁忙玲,等. 环境因子及外源化学物质对植物花色苷的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(4): 1546-1552.
- [10] Christie P J, Alfenito M R, Walbot V. Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings[J]. Planta, 1994, 194(4): 541-549.
- [11] 蒋海伟,杨婷婷,李红艳,等. 茄子、紫薯和胡萝卜中植物化学物之间的抗氧化相互作用[J]. 中国食品学报,2016,16(7): 17-24.
- [12] 钱秋平,陆国权,衣申艳,等. 不同干率甘薯铁、锌、钙、硒微量元素含量的产地差异[J]. 浙江农业学报,2009,21(2): 168-172.
- [13] Wang S Q, Pan D Z, Lv X J, et al. Proteomic approach reveals that starch degradation contributes to anthocyanin accumulation in tuberous root of purple sweet potato[J]. Journal of Proteomics, 2016, 143: 298-305.