

红薯叶、紫薯块根及不同时期紫薯叶中主要活性成分含量比较

Comparison of the content of main active components in sweet potato leaves, purple potato tuber and purple potato leaves of different development stages

徐柯¹ 曾凡坤^{1,2} 袁美¹ 罗婧文¹

XU Ke¹ ZENG Fan-kun^{1,2} YUAN Mei¹ LUO Jing-wen¹

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Engineering Technique Research Center of Chongqing for Special Food, Chongqing 400715, China)

摘要:研究紫薯叶中主要活性成分含量的动态变化规律,确定紫薯叶的最佳采样时期;比较紫薯叶、红薯叶、紫薯块根中主要活性成分的含量。总多酚、总黄酮、花色苷的含量采用紫外分光光度计测定,绿原酸、芦丁含量采用高效液相色谱测定。结果表明:不同品种紫薯叶中活性成分含量的动态变化特征大体一致,但不同采收期的含量变化并不完全一致,且不同品种间活性成分含量差异显著。紫薯叶中活性成分的含量较红薯叶、紫薯块根更高,因此更具营养价值。紫薯叶中几种活性成分的累积含量均在采收期 150 d 时达到最大,此时薯叶资源丰富,采收紫薯块根的同时采收紫薯叶进行开发和研究,有利于紫薯资源的综合利用。

关键词:紫薯;叶;块根;活性成分;变化规律

Abstract: The dynamic changes of the main active components in purple potato leaves were studied. The optimal sampling period was determined, and the content of main active components in purple potato leaves, sweet potato leaves and purple potato tuber were compared. The content of total polyphenols, flavonoids and anthocyanins were determined by ultraviolet spectrophotometer, and chlorogenic acid and rutin were determined by HPLC. The results showed that the dynamic characteristics of active components in different varieties of purple sweet potato leaves showed a similar trend, but the content were not exactly consistent in different sampling time, and the content of active components in different varieties were significantly different. The content of active components in purple sweet potato leaves were higher than those in sweet potato leaves and purple

potato tuber. The accumulation of several active components in the purple potato leaves was the maximum in the 150 d harvesting period, and the purple sweet potato leaves were abundant. The exploitation and research of purple potato leaves during the harvesting of purple potato tuber are beneficial to the comprehensive utilization of the purple potato resources.

Keywords: purple sweet potato; leaves; potato tuber; active components; law of change

甘薯(Sweet potato)又名地瓜、番薯等,属旋花科一年生草本植物^[1]。根据块根内部的颜色可以将甘薯大致划分为白薯、红薯和紫薯。紫薯(Purple sweet potato)自引入中国以来得到广泛的种植,近年来它的营养价值得到越来越多研究者的认可^[2-3]。紫薯叶作为紫薯的副产物,资源量巨大,目前除了部分用作家畜饲料外,绝大部分被丢弃,鲜有其他形式的开发,造成了资源的极大浪费^[4-5]。而引入中国更早、营养价值较紫薯叶差的红薯叶已经作为新鲜蔬菜直接进入百姓厨房。因此,紫薯叶这一植物资源的研究与利用已成为一项亟待解决的问题。

据报道,紫薯叶中含有丰富的多糖^[5]、氨基酸^[6]、粗纤维、矿物质元素、多酚^[7-9]、黄酮^[10-12]、花色苷^[13]、类胡萝卜素^[14-15]等成分,其中很多都具有抗氧化、抑菌、降血脂的功效^[16],对生理具有促进作用,被称为活性成分^[17]。了解不同品种的紫薯叶中主要活性成分的含量,可为紫薯种植品种的选择和从叶中提取活性成分进行开发利用提供理论依据,对提高紫薯的社会和经济效益亦有重要的意义。

近年来,研究者对紫薯叶的关注日益增加,但研究最多的是紫薯叶中某一种或某一类活性成分的提取^[18-20],鲜有涉及不同品种紫薯叶中活性成分含量的比较,对紫薯叶中活

基金项目:重庆市科研创新项目(编号:CYS17083)

作者简介:徐柯,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:曾凡坤(1963—),男,西南大学教授,硕士。

E-mail: zengfankun@swu.edu.cn

收稿日期:2018-01-13

性成分随时间变化规律的研究更是罕见。为了更好地了解薯叶中某类活性成分含量的大致情况,本研究选取总多酚、总黄酮、花色苷、绿原酸和芦丁作为考察指标,探讨不同品种及不同采收期紫薯叶中主要活性成分含量的动态变化,揭示紫薯叶活性成分含量随时期的变化规律,进而确定紫薯叶的最佳采收期。通过比较紫薯叶与红薯叶、紫薯叶与紫薯块根中主要活性成分含量,突出紫薯叶的优势,使其能得到更好的开发和利用。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

本试验选用重庆市常见的6个紫薯品种(渝紫3号,渝紫7号,11-10-153,渝苏43,山川紫,宁紫1号)和6个红薯品种(徐渝34,徐渝35,渝薯17,渝薯99,万薯7号,y₂₅),于2017年6月24日将试验田设置在重庆市合川区渭沱镇西南大学合川基地,试验的光照、土壤肥力和管理措施等条件一致。试验田中每种紫薯苗种植30株,每种红薯苗种植6株;每30d采样一次,每次每个品种采样6株。30~120d每次采摘6种紫薯叶,150d采摘6种红薯叶、6种紫薯叶和紫薯。要求叶片无病虫害,清洗晾干,45℃下烘干、粉碎过100目筛、编号备用;块根无病虫害,紫薯粉的制备参照孙海燕等^[21]的方法进行,并编号备用。

没食子酸、绿原酸、芦丁、苋菜红标准品:纯度均为98%,北京索莱宝科技有限公司;

柠檬酸、氢氧化钠、硝酸铝、亚硝酸钠、亚硫酸钠、碳酸钠、无水乙醇:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

磷酸、甲醇:色谱纯,成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

小型超微粉碎机:ZK-FDV-98型,北京中科浩宇科技发展有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-6100型,上海元析仪器有限公司;

台式离心机:TGL-16G型,上海安亭科学仪器厂;

数控超声波发生器:KQ5200DE型,昆山市超声仪器有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20A型,日本岛津公司;

数显恒温水浴锅:HWS-28型,上海齐欣科学仪器有限公司;

旋转蒸发仪:RE-52AA型,上海亚荣生化仪器厂;

微波快速制样系统:MAS-II型,上海新仪微波化学科技

有限公司。

1.3 方法

1.3.1 提取方法对提取物中主要活性成分含量的影响 选用采收期150d渝紫7号为材料,采用传统提取法^[22]、酶提取法^[22]、超声波提取法^[23]及微波提取法^[24]4种方法提取紫薯叶中主要活性成分,测定并比较其含量。

1.3.2 紫薯叶、紫薯块根、红薯叶提取物中主要活性成分含量比较 红薯和紫薯的生长周期即采收期一般为150d左右。因此选取30~150d的6个品种紫薯叶,分别测定总酚、总黄酮、花色苷、绿原酸及芦丁的含量,绘制各成分含量随时间变化的动态图;比较采收期150d的紫薯叶与红薯叶、采收期150d的紫薯叶与紫薯块根中总酚、总黄酮、花色苷、绿原酸和芦丁含量。

1.3.3 指标及测定方法

(1)总酚:采用Folin—酚法^[25-26]测定,以没食子酸为标准品绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 0.085\ 86x + 0.063\ 23(R^2 = 0.996\ 3)$ 。

(2)总黄酮:采用NaNO₂-Al(NO₃)₃-NaOH显色法^[27]测定,以芦丁为标准品绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 11.887x + 0.007\ 9(R^2 = 0.999\ 8)$ 。

(3)总花色苷:采用可见分光光度法^[28]测定,以苋菜红为标准品绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 0.023\ 4x - 0.020\ 9(R^2 = 0.999\ 1)$ 。

(4)绿原酸:采用高效液相色谱法,参照刘华亮^[29]²⁸的方法并稍做修改,以绿原酸为标准品绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 22\ 442x - 24\ 815(R^2 = 0.999\ 5)$ 。

(5)芦丁:采用高效液相色谱法,参照李鑫^[30]的方法并稍做修改,以芦丁为标准品绘制标准曲线,得到回归方程为 $y = 17\ 584x - 3\ 277(R^2 = 0.999\ 6)$ 。

1.3.4 数据处理方法 每组试验重复3次,采用Excel和Origin 9.0对试验数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 提取方法对提取物中主要活性成分含量的比较

从表1可以看出超声提取法对紫薯叶中主要活性成分的提取效果明显优于其他方法。传统提取法、酶提取法和微波提取法对活性物质的提取不充分,导致提取效果不佳。且传统提取法耗时太长,酶提取法所用的纤维素酶价格昂贵,微波提取法工艺繁琐。综上,选择超声提取法作为本试验的提取方法。

表1 不同方法提取物中主要活性成分含量 [†]					
Table 1 Content of main active components in extracts by different extraction methods mg/g					
提取方法	总多酚	总黄酮	花色苷	绿原酸	芦丁
传统提取法	55.87±1.58 ^b	83.46±1.83 ^b	0.44±0.01 ^b	5.46±0.08 ^b	3.62±0.04 ^b
酶提取法	50.66±0.83 ^c	76.83±1.26 ^c	0.45±0.02 ^b	5.59±0.09 ^b	2.92±0.09 ^c
超声提取法	62.68±1.81 ^a	97.07±2.08 ^a	0.54±0.03 ^a	6.04±0.14 ^a	4.18±0.03 ^a
微波提取法	57.35±0.90 ^b	97.67±1.35 ^a	0.21±0.01 ^c	5.98±0.03 ^a	4.02±0.03 ^a

[†] 同列上标字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.2 不同生长期不同品种的紫薯叶中主要活性成分含量比较

根据上述测定方法,计算出不同生长期及不同品种紫薯叶中总多酚、总黄酮、花色苷、绿原酸及芦丁含量,其动态变化规律见图 1~5。

各品种紫薯叶中总多酚含量随生长期增加均呈现曲折上升的趋势(图 1)。11-10-153 和宁紫 1 号在 30~90 d 含量先上升后下降,而其他品种与之相反;90~120 d 时有 3 个品种的紫薯叶总多酚含量下降,3 个品种含量上升,且 120 d 时各品种间含量差异达到最小。所有品种的紫薯叶都在 150 d 采收期时总多酚含量达到最高,此时山川紫含量最大,为 84.58 mg/g。因此 150 d 采样比较适宜,同时也能作为提取多酚的有用资源。

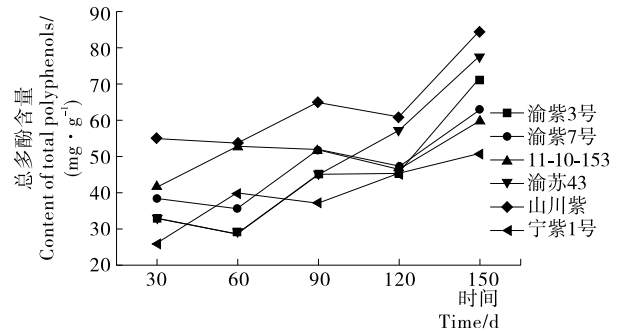


图 1 不同时期紫薯叶中总多酚含量
Figure 1 Content of total polyphenols in purple potato leaves during different periods

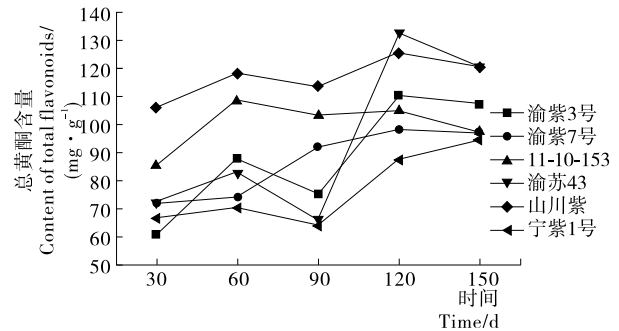


图 2 不同时期紫薯叶中总黄酮含量
Figure 2 Content of total flavonoids in purple potato leaves during different periods

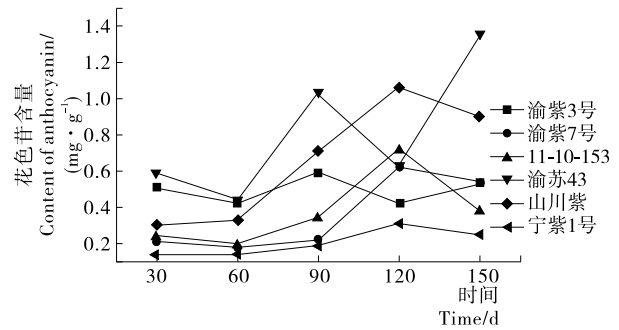


图 3 不同时期紫薯叶中花色苷含量
Figure 3 Content of anthocyanin in purple potato leaves at different periods

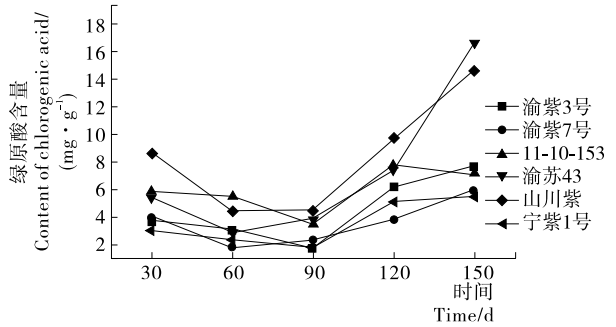


图 4 不同时期紫薯叶中绿原酸含量
Figure 4 Content of chlorogenic acid in purple potato leaves in different periods

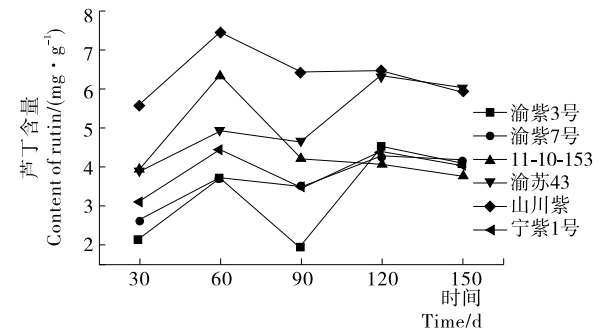


图 5 不同时期紫薯叶中芦丁含量
Figure 5 Content of rutin in purple potato leaves in different periods

由不同生长时期各品种紫薯叶中总黄酮含量变化(图 2)可知,各品种总黄酮含量变化大体一致,除了渝紫 7 号在 60~90 d 呈上升趋势,其他品种均为下降趋势。此外,不同品种紫薯叶中总黄酮含量存在显著性差异($P<0.05$),山川紫 $>11-10-153>$ 渝紫 3 号 $>$ 渝紫 7 号 $>$ 渝苏 43 $>$ 宁紫 1 号,且山川紫在各时期总黄酮含量几乎都为宁紫 1 号的 2 倍。所有品种紫薯叶的总黄酮含量都在 120 d 时达到最高,此时渝苏 43 含量最大,为 132.68 mg/g。与李文芳等^[31]研究结果基本一致,但本试验结果总黄酮含量稍高,可能是所选的薯类品种和生长环境不同。

所有品种的紫薯叶在 30~90 d 花色苷含量变化趋势一致;在 90~150 d 渝苏 43 和渝紫 3 号花色苷含量呈现先下降后上升的趋势,而其他 4 个品种的变化趋势与之相反(图 3)。傅玉凡等^[32]认为是紫甘薯品种间的花色苷含量在生育过程中存在缓慢增加、波动变化和曲折上升等变化类型。此外,各品种紫薯叶中花色苷含量差异大,宁紫 1 号在各时期花色苷含量都很低,渝苏 43 和山川紫花色苷含量较高,渝苏 43 花色苷含量最高时可达 1.35 mg/g。

如图 4 所示,各品种紫薯叶中绿原酸含量随时间变化呈现大体相似的趋势,均为先下降再上升的过程,且采收期 150 d 时各品种紫薯叶中绿原酸含量均达到最大值,渝苏 43 可达 16.66 mg/g。向昌国等^[33]研究表明甘薯叶中绿原酸含量在 10 月份达到最大,而本试验在 150 d(11 月)含量达到最大,可能是本研究所种植的紫薯时期比正常的甘薯种植期晚 1 个月。刘华亮^[29]34]研究表明,甘薯叶中绿原酸含量最大

为 3.977 mg/g,可能与所选甘薯品种、采摘时期及生态环境等因素有关。

由图 5 可知,6 种紫薯叶中芦丁含量的变化趋势大体一致,除了 11-10-153 和山川紫在 90~120 d 芦丁含量有所降低,其他品种在该时期黄酮含量均呈上升趋势。从图 5 中还可看出,不同品种紫薯叶中芦丁含量存在显著性差异($P<0.05$),山川紫>11-10-153>渝苏 43>宁紫 1 号>渝紫 7 号>渝紫 3 号,与图 2 的结果相似。60 d 时山川紫中的芦丁含量达到最大,为 7.48 mg/g。

2.3 紫薯叶与红薯叶中主要活性成分含量比较

6 种紫薯叶和 6 种红薯叶中总多酚、总黄酮、花色苷、绿

原酸及芦丁含量结果见表 2。

从表 2 可知,紫薯叶的总多酚、花色苷及芦丁含量普遍较红薯叶多;总黄酮和绿原酸含量在紫薯叶和红薯叶中大体一致,且几种活性成分的含量在品种间产生的差异显著($P<0.05$),紫薯叶尤其突出。因此,红薯叶和紫薯叶都是很好的自然资源,特别是紫薯叶中某些活性成分的含量比红薯叶更高,值得开发和研究。

2.4 紫薯叶与紫薯块根中主要活性成分含量比较

从 6 种紫薯叶和紫薯块根中主要活性成分的含量(表 3)来看,紫薯块根除了花色苷含量比紫薯叶高,其他几种活性成分含量都远低于紫薯叶。因此,紫薯叶值得开发利用。

表 2 紫薯叶红薯叶中主要活性成分含量[†]
Table 2 Content of main active components in purple potato leaves and sweet potato leaves mg/g

名称	品种	总多酚	总黄酮	花色苷	绿原酸	芦丁
紫薯叶	渝紫 3 号	71.23±1.68 ^b	107.30±4.16 ^b	0.53±0.02 ^c	7.70±0.19 ^c	4.10±0.08 ^{cd}
	渝紫 7 号	62.68±1.81 ^c	97.06±2.08 ^{bc}	0.54±0.02 ^c	6.04±0.14 ^e	4.18±0.04 ^c
	11-10-153	59.73±0.82 ^c	97.21±2.56 ^{bc}	0.38±0.03 ^d	7.18±0.02 ^d	3.77±0.01 ^c
	渝苏 43	77.44±2.74 ^a	120.34±2.38 ^{ab}	1.35±0.01 ^a	16.66±0.44 ^a	6.03±0.02 ^b
	山川紫	84.58±1.82 ^a	130.72±0.59 ^a	0.90±0.04 ^b	14.59±0.24 ^b	7.94±0.12 ^a
	宁紫 1 号	50.73±1.31 ^d	94.68±1.49 ^c	0.31±0.01 ^e	5.52±0.07 ^f	4.03±0.03 ^d
红薯叶	徐渝 34	46.72±1.47 ^b	119.08±2.76 ^a	0.37±0.01 ^b	8.23±0.11 ^c	2.27±0.07 ^e
	徐渝 35	56.85±2.12 ^a	104.78±3.27 ^b	0.40±0.02 ^b	6.68±0.02 ^d	3.17±0.11 ^d
	渝薯 17	44.92±1.48 ^b	98.75±1.48 ^c	0.36±0.03 ^b	6.59±0.14 ^d	3.72±0.09 ^c
	渝薯 99	50.86±0.86 ^{ab}	98.89±1.93 ^c	1.19±0.05 ^a	8.88±0.03 ^b	4.31±0.00 ^b
	万薯 7 号	57.55±2.47 ^a	115.15±2.95 ^a	0.32±0.03 ^b	12.34±0.30 ^a	7.47±0.04 ^a
	y25	60.81±0.20 ^a	117.54±2.16 ^a	0.27±0.07 ^b	6.56±0.07 ^d	3.08±0.05 ^d

† 同列同类薯叶上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 紫薯叶紫薯块根中主要活性成分含量
Table 3 Content of main active components in purple potato leaves and purple potato tuber mg/g

品种	名称	总多酚	总黄酮	花色苷	绿原酸	芦丁
渝紫 3 号	叶	71.23±1.68	107.30±4.16	0.53±0.02	7.70±0.19	4.10±0.08
	块根	6.16±0.29	8.39±0.15	2.15±0.04	0.71±0.00	0.18±0.01
渝紫 7 号	叶	62.68±1.81	97.06±2.08	0.54±0.02	6.04±0.14	4.18±0.04
	块根	3.06±0.05	3.76±0.05	1.07±0.01	0.41±0.00	0.08±0.00
11-10-153	叶	59.73±0.82	97.21±2.56	0.38±0.03	7.18±0.02	3.77±0.01
	块根	3.37±0.03	3.21±0.15	0.61±0.02	0.16±0.00	0.06±0.00
渝苏 43	叶	77.44±2.74	120.34±2.38	1.35±0.01	16.66±0.44	6.03±0.02
	块根	3.45±0.16	4.22±0.18	2.85±0.01	0.60±0.01	0.08±0.00
山川紫	叶	84.58±1.82	130.72±0.59	0.90±0.04	14.59±0.24	7.94±0.12
	块根	9.79±0.41	11.78±0.42	3.41±0.02	0.82±0.02	0.55±0.01
宁紫 1 号	叶	50.73±1.31	94.68±1.49	0.31±0.01	5.52±0.07	4.03±0.03
	块根	5.84±0.28	5.85±0.24	0.52±0.01	0.21±0.01	0.11±0.01

3 结论

(1) 通过比较几种提取方法对紫薯叶中主要活性成分的提取效果,发现超声提取法最适合作为本试验的提取方法,且操作相对简单,节约时间和成本。

(2) 通过测定不同生长期 6 个品种的紫薯叶中主要活性成分的含量,发现每种活性成分含量随时间都有一定的变化趋势,且各品种的紫薯叶都遵循相似的变化趋势。不同品种间含量差异明显,可根据所需的活性成分选择含量最高的紫薯叶品种进行提取。几种活性成分均在采收期为 150 d 时含

量达到最大,且此时薯叶资源丰富,采收紫薯块根的同时收集薯叶,有利于紫薯资源的综合利用。

(3) 通过比较紫薯叶和红薯叶、紫薯叶和紫薯块根中主要活性成分含量,发现紫薯叶中总多酚、花色苷及芦丁含量普遍较红薯叶多,总黄酮和绿原酸含量在紫薯叶和红薯叶中大体一致;紫薯块根除了花色苷含量比紫薯叶高,其他几种活性成分含量都远低于紫薯叶。总之,紫薯叶比红薯叶和紫薯块根更具营养价值,大有开发前景。

参考文献

[1] BOVELL-BENJAMIN A C. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition[J]. *Advances in Food & Nutrition Research*, 2007, 52(6): 1-59.

[2] 龚尤惠, 钟莲富, 周其宣. 紫薯营养价值及栽培技术[J]. *现代农业科技*, 2014(7): 49-50.

[3] WANG Dong-mei, WANG Jian-ling. Nutritional component of purple sweet potato and development[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(20): 6762-6763.

[4] SHEKHAR S, MISHRA D, BURAGOHAIR A K, et al. Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 957.

[5] 高莹. 紫甘薯叶多糖和黄酮的提取及抑菌作用研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2007: 1-2.

[6] JOHNSON M, PACE R D. Sweet potato leaves: properties and synergistic interactions that promote health and prevent disease[J]. *Nutrition Reviews*, 2010, 68(10): 604-615.

[7] TRUONG V D, MCFEETERS R F, THOMPSON R T, et al. Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars in the united states[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(6): 343-349.

[8] SUN Hong-nan, MU Tai-hua, XI Li-sha, et al. Sweet potato (*Ipomoea batatas*, L.) leaves as nutritional and functional foods[J]. *Food Chemistry*, 2014, 156(8): 380-389.

[9] ISLAM S. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaf: its potential effect on human health and nutrition [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(2): 113-121.

[10] JOONSEOL L, YANGKYUN P, YOUNGSUP A, et al. Antioxidative and biological activities of extracts of sweet potato tips[J]. *Korean Journal of Crop Science*, 2007, 52(4): 228-238.

[11] FU Yu-fan, ZENG Ling-jiang, YANG Chun-xian, et al. Variations of flavanoid contents in vine tips among different varieties, parts and time of topping of sweet potato for vegetable-use[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2010, 35(9): 1104.

[12] HUE S M, BOYCE A N, SOMASUNDRAM C. Antioxidant activity, phenolic and flavonoid contents in the leaves of different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas*)[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6(3): 375-380.

[13] ISLAM M S, YOSHIMOTO M, TERAHARA N, et al. An-

thocyanin compositions in sweet potato (L.) leaves[J]. *Bioscience Biotechnology & Biochemistry*, 2014, 66(11): 2 483-2 486.

[14] TEOW C C, TRUONG V, MCFEETERS R F, et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 829-838.

[15] 石晋. 甘薯叶类胡萝卜素分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2008: 2-3.

[16] 王世宽, 吴平, 许艳丽, 等. 甘薯叶的营养成份与应用前景[J]. *四川理工学院学报: 自科版*, 2009, 22(6): 57-59.

[17] 郑建仙. 植物活性成分开发[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 67-72.

[18] 王和才, 杨巍, 王刚, 等. 超声波辅助提取紫薯茎叶总黄酮的工艺研究[J]. *农产品加工: 学刊*, 2011(10): 46-48.

[19] 马小磊, 高霞莉, 叶雯青, 等. 甘薯茎叶中花青素的定位及含量测定[J]. *植物学研究*, 2017, 6(2): 31-38.

[20] 陈丽, 王晨静, 王倩娟, 等. 紫藤甘薯茎叶花色苷的提取及其副产物的综合利用[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(8): 123-126.

[21] 孙海燕. 紫薯多酚类物质的提取及抗氧化研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(23): 21-24.

[22] 陈丛瑾, 黄克瀛, 王贵武, 等. 香椿叶总黄酮不同提取方法的比较[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(3): 57-60.

[23] 顾英, 韩凤丽, 王洪洋. 响应面法优化红薯叶类黄酮提取工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(3): 286-289.

[24] ZHANG Lu, TU Zong-cai, WANG Hui, et al. Comparison of different methods for extracting polyphenols from *Ipomoea batatas*, leaves, and identification of antioxidant constituents by HPLC-QTOF-MS 2[J]. *Food Research International*, 2015, 70: 101-109.

[25] 刘丽香. 甘薯叶中多酚提纯工艺及抗氧化活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008: 17.

[26] 李颖畅, 吕艳芳, 励建荣. Folin-Ciocalteu 法测定不同品种蓝莓叶中多酚含量[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(1): 273-278.

[27] 李光, 余霜, 邓银, 等. 甘薯叶总黄酮含量的测定[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(12): 152-154.

[28] 李金林. 紫甘薯花色苷提取、膜分离及加工稳定性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 26-27.

[29] 刘华亮. 不同品种甘薯茎叶中功能性成分分析与评价[D]. 临安: 浙江农林大学, 2013.

[30] 李鑫. 甘薯叶中主要多酚成份及其抗氧化性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009: 13.

[31] 李文芳, 黄美娥, 唐纯翼, 等. 甘薯地上部分黄酮类化合物含量变化[J]. *天然产物研究与开发*, 2006, 18(2): 304-307.

[32] 傅玉凡, 陈敏, 叶小利, 等. 紫肉甘薯花色苷含量的变化规律及其与主要经济性状的相关分析[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2 185-2 192.

[33] 向昌国, 李文芳, 聂琴, 等. 甘薯茎叶中绿原酸提取方法的研究及含量测定[J]. *食品科学*, 2007, 28(1): 126-130.