

# 红薯叶黄酮分离纯化工艺及抗氧化性研究

陆英<sup>1,2</sup>, 吴朝比<sup>2</sup>, 蒋华军<sup>2</sup>, 罗巍<sup>2</sup>, 廖红梅<sup>2</sup>, 刘仲华<sup>1,2,\*</sup>

(1.湖南农业大学天然产物研究中心, 湖南长沙 410128;

2.湖南农业大学园艺园林学院植物资源工程系, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 本实验以红薯叶为原料, 研究了黄酮类化合物分离纯化工艺, 并研究了粗提物与纯化产物对羟基自由基、1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(OPPH·)的清除作用。结果表明, 红薯叶黄酮最佳提取工艺为60%乙醇水溶液90℃回流提取60min, 料液比1:40, 粗提物中总黄酮含量为101.3mg/g。提取液用HPD500大孔树脂进行纯化效果好, 最佳纯化工艺为: 吸附条件: 上样原料液黄酮含量1.8mg/ml, pH3 上样流速为3BV/h; 洗脱条件: 50%乙醇、流速3BV/h, 流量4BV, 在此条件下, 纯化产品黄酮含量为488.7mg/g; 粗提物与纯化产物均具有对自由基的清除作用, 是一种有效的天然抗氧化剂新资源。

**关键词:** 红薯叶; 黄酮; HPD500大孔树脂; 分离纯化; 抗氧化性

## Extraction, Purification and Antioxidation of Total Flavonoids from Sweet Potato Leaves

LU Ying<sup>1,2</sup>, WU Chao-bi<sup>2</sup>, JIANG Hua-jun<sup>2</sup>, LUO Wei<sup>2</sup>, LIAO Hong-mei<sup>2</sup>, LIU Zhong-hua<sup>1,2,\*</sup>

(1. Research Center of Natural Products, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Department of Herb Resource Engineering, College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Except that few sweet potato leaves are taken as edible food or livestock feed, most of them that contain large amounts of bioactive flavonoids are discarded, which leads to a great waste of available resource. In the present study total flavonoids were extracted from sweet potato leaves using ethanol and purified using macroporous adsorption resin. The extraction and purification procedures were optimized by orthogonal array design and one-factor-at-a-time methods, respectively. Additionally, antioxidant properties of the purified total flavonoids were evaluated by assaying their ·OH and DPPH· scavenging activities. The optimal extraction conditions were as follows: ethanol concentration 60%, material/liquid 1:40, and temperature 90 °C for a thermal refluxing extraction duration of 60 min, and 1 g of the crude extract obtained under such conditions contained 101.3 mg of total flavonoids. The optimal purification parameters using macroporous resin HPD 500 whose adsorption and desorption performance was superior to those of other resins including AB-8, NKA-9, HPD 600 and HPD 450 were as follows: sample concentration 1.8 mg/ml, pH 3, and sample flow rate 3 BV/h; taking 50% ethanol as eluent, eluent flux 3 BV/h, and eluent quantity 4 BV, and the content of total flavonoids in the purified extract was 488.7 mg/g. Both of the crude extract and the purified product displayed a good scavenging activity to ·OH and DPPH·.

**Key words:** sweet potato leaves; flavonoids; HPD500 resin; extraction and purification; antioxidant activity

中图分类号: O623.54

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)14-0114-05

红薯是我国广泛栽培的四大作物之一, 资源十分丰富。近年来的研究表明, 红薯叶具有以下生物活性: 红薯叶含有胰岛素样成分对糖尿病有治疗作用、对致病菌的抑制作用、抗肿瘤活性、抗诱变性、增强血小板和止血作用、增强免疫作用、降血脂、降胆固醇作用、清除自由基、保护视力等作用<sup>[1-3]</sup>。红薯叶中含有较高的黄酮类化合物<sup>[3]</sup>, 是其主要生物活性成分之一, 目前

红薯叶除部分食用或作牲畜饲料外, 绝大部分被丢弃, 造成了资源的极大浪费。20世纪50年代以后, 对黄酮类化合物的研究逐渐转向其清除自由基抗衰老及对老年性疾病的防治功效上, 评价和筛选富含黄酮类化合物的植物资源已成为农学、医学、食品科学的研究热点之一。本实验旨在通过对红薯叶中黄酮类化合物的分离纯化工艺技术研究及其体外抗氧化性研究, 为红薯的进一

收稿日期: 2008-11-03

作者简介: 陆英(1970—), 女, 讲师, 硕士, 主要从事植物功能成分的分离纯化工程研究。E-mail: luying960522@163.com

\* 通讯作者: 刘仲华(1965—), 男, 教授, 硕士, 主要从事天然产物研究与开发。E-mail: larkin-liu@163.com

步开发利用提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

红薯叶于湖南农业大学蔬菜市场购买, 60℃干燥后粉碎。

芦丁标准品 中国药品生物制品检定所; 树脂 AB-8、NKA-9、HPD600、HPD500、HPD450 河北沧州宝恩公司; 30目聚酰胺; 1,1-二苯基-2-苦苯肼自由基(DPPH·) 日本东京化成工业株式会社; 其他所用试剂皆为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HY-4 调速振荡仪 江苏金坛中大仪器厂; 超声波清洗机 上海 BRANSON 公司; 恒温水浴锅 北京国华医疗器械厂; Startorius 精密电子天平 瑞士 Startorius 公司; Modulyod-230 冷冻干燥机 美国热电公司; UV-2550 型紫外分光光度计 日本岛津仪器公司; 循环水式多用真空泵 河南巩义英峪予华仪器厂。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 原料处理

分别称取红薯叶、红薯柄、红薯茎 2.00g, 用 70% 乙醇溶液 80ml, 90℃ 下回流提取 30min。过滤后定容至 50ml, 备用。

#### 1.3.2 黄酮含量的检测方法

取纯度为 95% 的芦丁标样 11.38mg, 用 60% 乙醇定容至 10ml, 标样的浓度为 1.0811mg/ml。分别吸取待用的标样 0.10、0.20、0.30、0.40、0.50、0.60ml 至 10ml 容量瓶中, 加 70% 的乙醇至 2ml; 加入 5% 亚硝酸钠 0.4ml, 摇匀, 放置 6min; 加入 10% 硝酸铝 0.4ml, 摇匀, 放置 6min; 再加入 5% 氢氧化钠 4ml, 用 70% 乙醇定容, 摇匀后放置 10min, 在 510nm 波长处测定吸光度。根据标准曲线制作方法得到标准曲线方程  $y=11.74x+0.007(R^2=0.9992)$ , 表明芦丁浓度与吸光度具有良好的线性关系。取适量样品溶液按标准曲线制作方法测定吸光度, 通过标准曲线计算样品中黄酮含量。

$$\text{样品中黄酮含量(mg/g)} = \frac{\text{标准曲线计算样品浓度值} \times 10 \times \text{样品总体积(ml)}}{\text{原料干重(g)} \times \text{取样体积(ml)}}$$

#### 1.3.3 红薯叶中总黄酮的提取条件的优化

在单因素试验的基础上, 着重考察提取温度(A)、提取时间(B)、料液比(C)、乙醇浓度(D)对红薯叶黄酮提取效果的影响, 选用  $L_9(3^4)$  正交试验设计, 对提取条件进行优化。

#### 1.3.4 红薯叶总黄酮大孔吸附树脂纯化工艺

树脂预处理: 大孔吸附树脂先用 95% 乙醇浸泡

24h, 湿法装柱, 用 4BV 左右的 95% 乙醇在柱上流动洗脱, 洗至乙醇液与水混合(1:5, V/V) 不呈白色混浊为止, 然后用去离子水洗去乙醇, 使洗脱液无醇味即可。

#### 1.3.4.1 原料液的制备

在 1.3.3 节所得最佳提取工艺条件下提取, 料液过滤, 减压回收乙醇至原体积的 1/10, 离心, 上清液根据实验要求用蒸馏水稀释到不同浓度。

#### 1.3.4.2 吸附树脂的筛选

预处理好的 6 种大孔吸附树脂去表面水后, 各精密称取 10ml, 放置于具塞磨口锥形瓶中, 分别加入 200ml 黄酮含量为 0.3357mg/ml 的原料液, 置摇床中振荡 24h, 根据吸附前后溶液中的黄酮含量变化, 计算树脂的吸附量。吸附后的树脂过滤, 用 40ml 蒸馏水淋洗后加入 100ml 80% 乙醇解吸 2h, 检测洗脱液中黄酮含量, 计算洗脱率。

$$\text{吸附量(mg 黄酮/ml 树脂)} = \frac{\text{原料液体积} \times (\text{吸附前浓度} - \text{吸附后浓度})}{\text{树脂体积}}$$

$$\text{洗脱率(\%)} = \frac{\text{洗脱液黄酮浓度} \times \text{洗脱液体积}}{\text{吸附量}} \times 100$$

#### 1.3.5 吸附条件的选择

##### 1.3.5.1 原料液 pH 值对吸附效果的影响

取黄酮含量为 0.3357mg/ml 的原料液 5 份(pH6.13), 每份 100ml, 用 10mol/L HCl 和 10% NaOH 调 pH 值到 3.13、4.13、5.13、6.13、7.13, 分别加入盛有 10ml 树脂的锥形瓶中, 在摇床上振荡吸附 5h, 检测吸附后黄酮含量, 计算树脂吸附量。

##### 1.3.5.2 原料液浓度对吸附效果的影响

取 30ml HPD500 树脂装柱, 用不同浓度 0.70、1.20、1.80、3.00mg/ml pH3.2 的原料液以 3BV/h 的流速上样, 吸附饱和时(流出液中黄酮浓度与上样液黄酮浓度相等) 停止上样, 考察原料液浓度对吸附效果的影响。

##### 1.3.5.3 原料液流速对吸附效果的影响

同上装柱, 用黄酮含量为 1.595mg/ml 的原料液(pH3.2) 120ml 分别以 1、2、3、4BV/h 的流速上样, 检测流出液中黄酮含量, 考察上样液流速对吸附效果的影响。

#### 1.3.6 洗脱条件的选择

##### 1.3.6.1 洗脱液的确定

将 200ml 浓度为 1.80mg/ml 的原料液(pH3.2) 以 3BV/h 的流速通过 30ml HPD500 色谱柱(吸附黄酮量为 276mg), 依次用 4BV 不同乙醇浓度 0、10%、30%、50%、70%、90% 的水溶液进行洗脱, 分别检测洗脱液中的黄酮含量, 计算各种洗脱剂的洗脱率。

### 1.3.6.2 洗脱液流速的影响

分别将4支黄酮吸附量为276mg的30ml HPD500树脂用120ml蒸馏水洗后,用50%的乙醇以不同流速(1、2、3、4BV/h)进行洗脱,检测洗脱液中的黄酮含量,计算不同流速下黄酮的洗脱率。

### 1.3.6.3 洗脱液体积的确定

将吸附黄酮量为276mg的30ml HPD500树脂用50%的乙醇溶液以3BV/h的流速进行洗脱,以1BV为一个流分分步接收,检测黄酮含量,计算不同流分的洗脱率。

### 1.3.7 红薯叶黄酮的抗氧化性研究

以1.3.3节工艺条件下的红薯叶粗提产品及HPD500大孔吸附树脂纯化产品为原料,由实验用蒸馏水配制成不同质量浓度的黄酮溶液。

#### 1.3.7.1 清除羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )

采用芬顿试剂生成羟基自由基<sup>[4]</sup>。取5mmol/L的邻二氮菲溶液1.5ml,加入pH7.4的磷酸盐缓冲液2.0ml,充分混匀后,加入7.5mmol/L的 $\text{FeSO}_4$ 溶液1.0ml,立即混匀,加入1.0ml试样,再加入1.0ml/L的 $\text{H}_2\text{O}_2$  1.0ml,最后以蒸馏水补充至10.0ml,37℃保温1h,在510nm处测定吸光度 $A_1$ ,蒸馏水替代试样的吸光度为 $A_2$ ,蒸馏水替代试样及 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的吸光度为 $A_0$ ,按下式计算清除率。

$$\cdot\text{OH} \text{ 清除率}(\%) = \frac{A_1 - A_2}{A_0 - A_2} \times 100$$

#### 1.3.7.2 清除1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(DPPH $\cdot$ )<sup>[5]</sup>

取2ml不同浓度的样品液于试管中,加入2ml 2 $\times$ 10<sup>-4</sup>mol/L DPPH $\cdot$ 溶液(无水乙醇配制),混合均匀,反应30min后在518nm处测定其吸光度 $A_1$ ,以2ml水代替样品 $A_0$ ;以2ml样品与2ml无水乙醇混合液为 $A_2$ ,以消除样品本身的影响,以2ml水与2ml无水乙醇的混合液调零点。按下式计算清除率。

$$\text{DPPH}\cdot \text{清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100$$

## 2 结果与分析

### 2.1 原料中黄酮含量检测

红薯茎叶地上干燥部分的不同部位黄酮含量见表1。可见红薯叶、茎部的含量相近,而叶柄部位黄酮化合物含量很低。

表1 原料不同部位黄酮含量分析

Table 1 Contents of total flavonoids in different parts of sweet potato

原料部位	红薯叶	红薯柄	红薯茎
黄酮含量(mg/g)	27.63	3.68	26.20

### 2.2 红薯叶中总黄酮的提取工艺优化

正交试验设计因素水平见表2,实验结果见表3。从极差分析可以看出,影响红薯叶中黄酮化合物浸出的影响因素大小为:乙醇浓度>温度>固液比>时间。红薯叶中黄酮的最佳提取工艺条件为: $A_2B_2C_3D_1$ ,即提取时间60min、提取温度90℃、料液比1:40,乙醇浓度60%。该工艺制备得到黄酮提取物回收溶剂后冷冻干燥,得粗提物。经检测粗提物中黄酮含量为101.3mg/g。

表2 红薯叶总黄酮提取因素水平表

Table 2 Factors and levels in orthogonal array design for optimizing extraction conditions of total flavonoids

水平	A 提取温度(℃)	B 提取时间(min)	C 料液比(m/V)	D 乙醇浓度(%)
1	80	30	1:20	60
2	90	60	1:30	70
3	100	90	1:40	80

表3 正交试验结果

Table 3 Orthogonal array design arrangement and the experimental data

试验号	因素				样品中黄酮含量(mg/g)
	A 时间	B 温度	C 料液比	D 乙醇浓度	
1	1	1	1	1	19.85
2	1	2	2	2	24.55
3	1	3	3	3	20.84
4	2	1	2	3	18.24
5	2	2	3	1	27.12
6	2	3	1	2	25.58
7	3	1	3	2	23.43
8	3	2	1	3	19.74
9	3	3	2	1	26.66
均值1	21.75	20.51	21.73	24.54	
均值2	23.65	23.80	23.15	24.52	
均值3	23.28	24.36	23.79	19.61	
极差	1.90	3.85	2.06	4.93	

### 2.3 大孔树脂纯化工艺研究

#### 2.3.1 红薯叶黄酮吸附树脂的选择

实验中选用的6种吸附树脂都是分离黄酮类化合物的常用树脂,静态吸附及洗脱结果见表4。可见HPD系列树脂对红薯黄酮的吸附、洗脱性能都优于其他树脂,尤以HPD500最佳,因此选用HPD500作为吸附树脂。

表4 不同大孔树脂的吸附量及解吸率

Table 4 Adsorption and desorption capabilities of different resins to total flavonoids

树脂型号	AB-8	NKA-9	HPD600	HPD500	HPD450	聚酰胺(30目)
吸附总量(mg)	44.89	45.23	50.25	52.67	47.54	37.23
洗脱率(%)	69.13	69.21	72.32	76.43	70.56	48.97

#### 2.3.2 原料液pH值对吸附效果的影响

从表5可看出,当原料液pH3~4时,HPD500树脂的吸附量比较大。根据大孔吸附树脂吸附原理,吸附过程中吸附质以分子状态被吸附剂吸附,因此要达到

较好的效果必须使吸附质保持分子状态。一般情况下, 酸性化合物在适当酸性溶液中充分吸附, 碱性化合物则在适当条件下较好被吸附, 中性化合物可在大约中性的情况下吸附。黄酮类化合物呈弱酸性, 因此在 pH 值较低时吸附量较大。原料液在上柱前调 pH3 左右。

表5 料液 pH 值对吸附效果的影响  
Table 5 Effects of pH value on adsorption amount

料液 pH 值	3.13	4.13	5.13	6.13	7.13
树脂吸附总量(mg)	48.46	45.93	39.60	34.52	33.31

### 2.3.3 上柱条件的选择

上柱流速对吸附效果的影响见表 6。从表 6 可看出, 随着上柱流速的增大, 树脂泄漏加快, 吸附量降低, 综合考虑树脂的吸附性能及工作效率, 确定吸附流速以 3BV/h 为宜。

表6 上柱流速对吸附量的影响  
Table 6 Effects of sample flow rate on adsorption amount

上柱流速(BV/h)	1	2	3	4
流出液中黄酮含量(mg)	6.5	25.1	27.3	42.9
吸附总量(mg)	184.9	166.3	164.1	148.5

原料液浓度对吸附效果的影响见表 7。从表 7 可看出, 随着上柱浓度增大, 树脂的吸附量先增后减, 综合考虑吸附性能和工作效率, 选择料液浓度为 1.80mg/ml 左右为宜。

表7 上样浓度对吸附量的影响  
Table 7 Effects of sample concentration on adsorption amount

料液浓度(mg/ml)	饱和时上样体积(ml)	流出液中黄酮总量(mg)	树脂吸附总量(mg)
0.70	1590	123.9	984.4
1.20	1020	129.6	1094.4
1.80	690	153.6	1088.4
3.00	325	210.0	765.0

### 2.3.4 解吸条件的选择

表8 乙醇浓度对洗脱效果的影响  
Table 8 Effects of ethanol concentration on desorption rate

洗脱剂	洗脱液中黄酮含量(mg)	洗脱率(%)
水	4.97	1.79
10%	19.47	7.04
30%	126.69	45.80
乙醇 50%	95.63	34.57
70%	9.53	3.44
90%	2.97	1.07

乙醇是大孔吸附树脂洗脱最常用的洗脱剂, 不同的乙醇浓度洗脱效果见表 8。从表 8 可以看出, 水洗基本不能将红薯叶黄酮洗脱下来, 10%乙醇只能把少量的黄酮洗下来, 黄酮主要集中在 30% 与 50% 乙醇洗脱液中,

考虑到乙醇浓度越高, 带出的杂质也越多, 同时后续工序回收乙醇工作量增大, 所以选用 50% 乙醇作为洗脱剂。

表9 洗脱剂流速对洗脱率的影响  
Table 9 Effects of eluent flux on desorption rate

洗脱剂流速(BV/h)	1	2	3	4
洗脱液中黄酮含量(mg)	256.13	249.64	245.03	222.26
洗脱率(%)	92.80	90.45	88.78	80.53

洗脱剂流速对洗脱效果的影响见表 9。流速越慢, 洗脱率越高, 但流速过慢, 耗时, 会延长生产周期, 不经济。综合考虑, 洗脱流速选择 3BV/h 为宜。

洗脱剂用量对洗脱效果的影响见表 10, 洗脱剂用量为 4BV 时总洗脱率可达到 87.01%, 综合经济、生产效率因素, 选择 4BV 作为洗脱剂的用量。

表10 洗脱剂用量对洗脱率的影响  
Table 10 Effects of eluent quantity on desorption rate

洗脱剂用量(BV)	1	2	3	4	5	6
洗脱液中黄酮含量(mg)	29.95	84.04	95.99	30.17	13.88	1.46
洗脱率(%)	10.85	30.45	34.78	10.93	5.03	0.53

### 2.3.5 HPD500 树脂纯化红薯叶黄酮效果分析

利用 HPD500 树脂可以除去原料液中的一部分杂质, 通过上柱, 黄酮被吸附到树脂上, 部分杂质与上柱流出液一块流出, 再通过水洗, 洗出部分杂质, 再用 50% 乙醇将吸附的黄酮洗脱, 黄酮含量得到富集纯化。从实验可以看出 HPD500 树脂对红薯叶中的黄酮类化合物具有吸附解吸作用, 适宜于该类化合物的分离纯化。

根据上述选择得到的工艺条件, 在一根装有 120ml 树脂的色谱柱中进行工艺放大, 洗脱液经溶剂回收、冷冻干燥得棕黄色干粉, 经检测干物质中的黄酮含量为 488.7mg/g, 较粗提液纯度提高了近 5 倍。

## 2.4 红薯叶黄酮的抗氧化性研究

### 2.4.1 清除 ·OH 作用

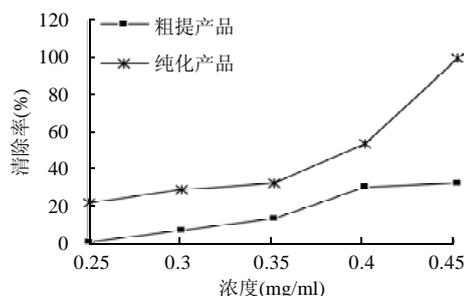


图1 红薯叶黄酮对羟基自由基的清除作用  
Fig.1 Scavenging activity of crude extract and purified product of total flavonoids from sweet potato leaves to ·OH

羟自由基是活性氧中最活泼的自由基,也是毒性最大的自由基,几乎能与活细胞中任何分子发生反应,可导致机体组织脂质过氧化,蛋白质聚合与解聚,核酸断裂等生化过程,引发组织细胞病变,导致各种疾病的发生和加速机体衰老<sup>[6]</sup>。红薯叶黄酮对·OH清除能力见图1。粗提产品与纯化产品的IC<sub>50</sub>分别为0.4665、0.3263mg/ml,在实验浓度范围同内纯化产品的清除作用强于粗提产品。

#### 2.4.2 清除DPPH·的作用

1,1-二苯基-2-苦基肼自由基(DPPH·)在国内外广泛用于清除自由基物质性质的研究与天然抗氧化剂的筛选。若受试物能将其清除,则表明受试物具有降低羟自由基、烷基自由基或过氧化自由基的有效浓度和打断脂质过氧化链的作用<sup>[7]</sup>。红薯叶黄酮对DPPH·的清除结果见图2。由图2可知,样品对DPPH·均具有较强的清除作用,粗提产品与纯化产品的IC<sub>50</sub>分别为3.06×10<sup>-2</sup>、3.58×10<sup>-3</sup>mg/ml,纯化产品清除DPPH·明显强于粗提产品。

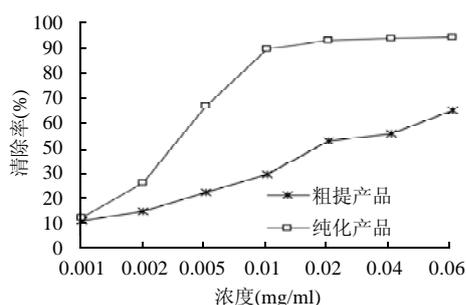


图2 红薯叶黄酮对DPPH·的清除作用

Fig.2 Scavenging activity of crude extract and purified product of total flavonoids from sweet potato leaves to DPPH·

### 3 结论

3.1 影响红薯叶中黄酮化合物浸出的影响因素大小为:乙醇浓度>提取温度>溶剂用量>提取时间。红薯叶中黄酮的最佳提取工艺条件为:60%乙醇为提取溶剂,提取时间60min,提取温度90℃,料液比1:40,该工艺制备得到红薯叶黄酮粗提取中黄酮含量为101.3mg/g。

3.2 红薯叶中黄酮纯化时上样条件为:HPD500大孔吸附树脂,上样原料液黄酮含量1.80mg/ml,pH3,上样流速为3BV/h,洗脱条件为:体积为4BV的50%的乙醇溶液,流速3BV/h。纯化产品中黄酮含量为488.7mg/g。

3.3 以粗提液干燥产品及过柱液纯化产品为原料,通过清除羟基自由基、清除DPPH·的体外抗氧化性实验,可知红薯叶中黄酮具有较好的抗氧化作用,粗提产品清除羟基自由基、DPPH·的IC<sub>50</sub>分别为0.4665、3.06×10<sup>-2</sup>mg/ml,大孔吸附树脂纯化产品的IC<sub>50</sub>分别为0.3263、3.58×10<sup>-3</sup>mg/ml。

#### 参考文献:

- [1] 吴祎南,张彧,耿晓璐,等.红薯茎叶提取物抗氧化性的研究[J].食品科学,2005,26(9):521-523.
- [2] 谢丽玲,余纲哲,李剑欢,等.红薯茎叶提取物对五种致病菌的抑制作用[J].汕头大学学报,1996,11(2):78-84.
- [3] 张彧,吴祎南,陈莉,等.红薯茎叶化学组成的研究进展[J].食品科学,2006(3):252-256.
- [4] 金鸣,蔡亚欣,李金荣,等.邻二氮菲-Fe<sup>2+</sup>氧化法检测H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>产生的羟自由基[J].生物化学与生物物理进展,1996,23(6):553-555.
- [5] VATTEM D A, LIN Y T, LABBE R G, et al. Phenolic antioxidant mobilization in cranberry pomace by solid-state bioprocessing using food grade fungus *Lentinus edodes* and effect on antimicrobial activity against select food borne pathogens[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004(5): 81-91.
- [6] 莫简.医用自由基生物学导论[M].北京:人民卫生出版社,1989:21-25.
- [7] 凌关庭.抗氧化食品与健康[M].北京:化学出版社,2004:344.