

# 地瓜叶总黄酮的超声辅助提取及生物活性研究

许瑞波, 周洪英, 陈 林, 曾艳霞, 杨树平, 胡喜兰  
(淮海工学院化工学院, 江苏 连云港 222005)

**摘 要:**以地瓜叶为原料,采用超声波辅助的方法,通过单因素和正交试验优化红薯叶总黄酮(FIBL)的提取工艺条件,并且研究了FIBL的体外抗氧化活性和抑菌作用。结果表明,从地瓜叶中提取总黄酮的最佳工艺条件为乙醇体积分数75%、液料比30:1(mL/g)、超声提取40min,然后70℃水浴加热回流提取50min,提取2次,提取率为6.03%。用紫外光谱和红外光谱对提取产物进行表征,证明产物FIBL具备黄酮类化合物的基本光谱特征。此外,抗氧化实验结果表明,FIBL对超氧阴离子自由基和DPPH自由基具有一定的清除能力,但不如VC的清除效果好。抑菌实验结果表明,FIBL对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌具有良好的抑制作用。

**关键词:**地瓜叶;黄酮类化合物;提取;抗氧化活性;抑菌作用

## Ultrasonic-Assisted Extraction and Bioactivity of Flavonoids from *Ipomoea batatas* Lam Leaves

XU Rui-bo, ZHOU Hong-ying, CHEN Lin, ZENG Yan-xia, YANG Shu-ping, HU Xi-lan  
(School of Chemical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** The ultrasonic-assisted extraction of flavonoids from *Ipomoea batatas* Lam leaves (FIBL) was explored by orthogonal array design. The antioxidant and bacteriostatic activities of FIBL *in vitro* were investigated. The results showed that the optimal extraction conditions of FIBL were ethanol concentration of 75%, liquid-solid of 30:1 (mL/g), ultrasonic treatment time of 40 min, reflux extraction time of 50 min, extraction temperature of 70 °C, and repeated extraction time of 2. Under the optimal extraction conditions, the yield of FIBL was up to 6.03%. As characterized by UV-vis and IR spectroscopy, FIBL possessed common spectral characteristics of flavonoids. Furthermore, FIBL had scavenging capacity against superoxide anion and DPPH radicals, but weaker than vitamin C. FIBL also revealed excellent inhibitory effect on *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*.

**Key words:** *Ipomoea batatas* Lam leaves; flavonoids; extraction; antioxidant activity; bacteriostatic action

中图分类号: R284.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)14-0141-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201314029

地瓜(*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)又名红薯、山芋、番薯等,学名甘薯,为旋花科(Convolvulaceae)红薯属红薯种一年生草本植物,原产于美洲中部和南美洲西北部的热带地区,现为我国4大主要粮食作物之一<sup>[1-6]</sup>。作为地瓜种植的主要副产物,地瓜叶富含氨基酸、维生素、蛋白质、矿物质等营养成分及黄酮类化合物、多糖、绿原酸等生物活性物质,具有增强免疫功能、提高抗病能力、延缓衰老、抗突变、抑菌、通便利尿、解毒、防夜盲症等保健功能<sup>[1-4,7-8]</sup>。因此,我国民间不仅食用地瓜叶,而且把它作为治疗疔积、夜盲症等的常用处方。尤其是地瓜茎叶不发生虫害,在种植过程中不需要喷洒农药,是名副其实的无污染绿色食品。近几年,随着生活水平的提高,人们越来越关注食品、保健品的安全问题,崇尚自然、追求天然已经成为消费时尚。因此,被誉为“长寿食品”、“蔬菜皇

后”的地瓜叶具有极大的开发利用价值。但是,目前人们主要采集地瓜块茎,其叶、梗除少量用于食用或牲口饲料以外,都被丢弃,不仅造成资源浪费,而且污染环境。

黄酮类化合物是一类重要的广泛存在于自然界(如蔬菜、水果、花、中草药等植物资源中)的天然有机化合物,属植物次级代谢产物,一般都具有明显的色彩<sup>[9-12]</sup>。由于黄酮类化合物具有清除自由基、抑制自由基的生成、抗菌和抗癌等生物活性,在药品、食品添加剂等领域的应用越来越受到人们的关注<sup>[13-15]</sup>。地瓜叶的医疗功能就与其所含的黄酮类化合物有着密切的关系<sup>[8]</sup>。

本实验以连云港产地地瓜叶为原料,通过单因素和正交试验考察地瓜叶总黄酮(flavonoids from *Ipomoea batatas* Lam. leaf, FIBL)的超声辅助提取工艺,并进一步研究其对超氧阴离子自由基和DPPH自由基的清除能力及对大肠

收稿日期: 2012-07-14

基金项目: 连云港市科技攻关项目(CG1132); 淮海工学院博士科研启动项目(KQ10130)

作者简介: 许瑞波(1972—),女,副教授,博士,研究方向为天然产物提取及配位化学。E-mail: xuruibo9125@163.com

杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用,旨在为加快地瓜叶中黄酮类化合物的提取与应用及充分利用连云港地区丰富的地瓜叶资源提供实验参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

原料地瓜叶于2008年10月初采自连云港花果山。原料阴干后置于烘箱中,50℃干燥至质量恒定,然后粉碎,制成地瓜叶粉即原料粉,保存于磨口瓶中,避光保存、备用。

所用化学试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

722N型紫外分光光度计 上海精谊仪器仪表有限公司;KS-150D型超声波清洗机 宁波海曙科生超声设备有限公司;RE52CS旋转蒸发器、B-220恒温水浴锅 浙江舟山市海源仪器厂;UV-Vis2550型紫外分光光度计日本岛津公司;NEXUS-870型傅里叶红外光谱仪 美国Nicolet公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 FIBL提取工艺流程

称取5.00g原料粉,放入三口烧瓶,先加入100mL石油醚(沸程为30~60℃),在40℃条件下处理2h,脱除脂溶性成分,过滤。滤渣挥干石油醚后,以乙醇为提取剂,按一定液料比(某体积分数的乙醇:原料粉, mL/g)投料。用超声波(功率300W,室温条件下)提取一定时间,再在水浴锅中某温度条件下加热提取一定时间,然后离心、真空抽滤,收集滤液;相同条件下,将滤渣进行再一次(不同提取次数)提取,合并滤液,即得FIBL提取液。

#### 1.3.2 黄酮含量测定

##### 1.3.2.1 标准曲线的制作

精密称取100℃烘干至质量恒定的芦丁标准品62.5mg,用体积分数60%乙醇溶解,定容于100mL容量瓶中,即得到质量浓度为0.625mg/mL的标准品溶液。避光保存、备用。

精确吸取该标准品溶液0.0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0、2.4mL,分别置于25mL具塞试管中,用60%乙醇定容至12.5mL刻度,加入0.7mL质量分数5%的NaNO<sub>2</sub>溶液,摇匀、静置6min,再加入0.7mL 10% Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>溶液,摇匀、放置6min,加2mL 4% NaOH溶液,用60%乙醇定容至刻度,摇匀、放置10min后,以60%乙醇为空白对照,测其在510nm处的吸光度。以标准液质量浓度C(mg/mL)为纵坐标,吸光度A为横坐标,绘制标准曲线,得线性回归方程为:  $C = 0.0858A + 0.0002$ ,  $r = 0.9996$ 。

##### 1.3.2.2 黄酮含量测定及提取率计算

将按1.3.1节操作得到的FIBL提取液置于250mL容量

瓶,并定容至刻度。从中准确移取1mL溶液置于25mL具塞试管,按照标准曲线制备的方法测定其在510nm波长处的吸光度,BIFL提取率按下式计算。

$$\text{BIFL提取率}/\% = \frac{\text{黄酮质量浓度} \times \text{体积} \times \text{稀释倍数}}{\text{原料质量}} \times 100$$

#### 1.3.3 FIBL的最佳工艺条件优化

以黄酮提取率为考察指标,首先通过单因素试验考察水浴加热提取时间、提取温度、液料比、乙醇体积分数、超声提取时间和提取次数对FIBL提取率的影响,初步确定适宜于提取FIBL的相应水平范围。然后在单因素试验的基础上,选用标准的L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验表进行正交试验设计,从而优选出从地瓜叶中提取黄酮的最佳工艺条件。

#### 1.3.4 FIBL的光谱表征

取适量FIBL,用70%乙醇超声溶解配成待测液,用紫外分光光度计测量其在200~500nm范围内的紫外吸收光谱,通过与芦丁标准品的紫外光谱图进行比较,初步对其进行鉴定。

用红外光谱法对FIBL进行进一步表征。采用KBr压片法:FIBL浓缩至膏状,与KBr按照质量比1:100比例混合研磨,测量其在4000~450cm<sup>-1</sup>波数范围内的谱图。

#### 1.3.5 FIBL的抗氧化活性研究

##### 1.3.5.1 对DPPH自由基的清除作用

采用DPPH法<sup>[16]</sup>测定FIBL对DPPH自由基的清除作用,以VC为标准对照物。在10mL具塞试管中加入2mL 1.00mg/mL DPPH-乙醇溶液,加入样品液或VC溶液(质量浓度为1mg/mL)0、5、10、15、20、40、50、80、100、200、400、800、1000μL,用蒸馏水定容至5mL,摇匀。置于37℃水浴锅中,避光反应20min。以乙醇为参比,空白对照以乙醇代替样品。反应结束后立即用紫外分光光度计测514nm波长处吸光度,计算FIBL及VC对DPPH自由基的清除率。DPPH自由基清除率按下式计算。

$$\text{DPPH自由基清除率}/\% = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100$$

式中: A<sub>0</sub>为空白对照的吸光度; A<sub>i</sub>为加样品液后的吸光度; A<sub>j</sub>为样品液本底的吸光度。

##### 1.3.5.2 对超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>·)的清除作用

采用邻苯三酚自氧化法<sup>[17-18]</sup>研究FIBL对O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的清除作用,以VC为标准对照物。在10mL具塞试管中加入50mmol/L pH8.2的三羟甲基氨基甲烷-盐酸(Tris-HCl)缓冲液4.5mL,再加入2mL不同质量浓度的样品液或VC溶液。摇匀后在25℃水浴锅中预热20min,再加入经25℃水浴锅预热的邻苯三酚-盐酸溶液(3mmol/L)1mL,混匀后,于25℃水浴中反应4min,时间要准确。最后加入1mL 10mmol/L的盐酸溶液终止反应。以Tris-HCl缓冲液为参

比, 空白对照以蒸馏水代替样品。用紫外分光光度计检测325nm处的吸光度, 计算FIBL及VC对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率。

$$O_2^{\cdot-} \text{清除率}/\% = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100$$

式中:  $A_0$ 为空白对照的吸光度;  $A_i$ 为加样品液后的吸光度;  $A_j$ 为样品液本底的吸光度。

### 1.3.6 粗FIBL的抑菌活性

取34g营养琼脂, 加1L蒸馏水, 溶解后置于高压灭菌锅内, 120℃灭菌30min。冷却至50~60℃制成平板, 取0.1mL活化菌液, 在平板上涂抹均匀, 以等距离均匀、垂直放置5个牛津杯。在牛津杯中加入0.1mL样品液, 盖好平皿, 置于37℃生化培养箱中培养24h<sup>[19]</sup>。取出后, 测量每个牛津杯周围所产生的透明抑菌圈直径(mm)。所有待测液均平行测试3次, 以平均值作为最后的实验结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 提取FIBL的单因素试验

#### 2.1.1 水浴加热提取时间对FIBL提取率的影响

以95%乙醇为提取剂, 液料比20:1, 先在室温条件下超声提取0.5h, 再在60℃水浴中加热提取1次, 考察水浴加热提取时间(30、40、50、60、70min)对FIBL提取率的影响, 结果见图1。

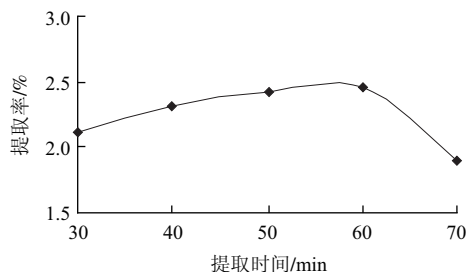


图1 水浴加热提取时间对FIBL提取率的影响

Fig.1 Effect of extraction duration in water bath on the yield of FIBL

从图1可以看出, 随着水浴加热提取时间的延长, FIBL的提取率也逐渐增加, 当提取时间为60min时, 提取率最高; 继续延长时间, 提取率明显下降。由于提取包括渗透、溶解和扩散等过程, 提取时间延长, 有利于黄酮充分扩散, 但是当扩散达到平衡时, 时间延长会使部分提取出来的黄酮再度被叶片吸附, 从而使提取率降低。当水浴加热提取时间为50min时, 其提取率仅比60min时低0.02%, 因此综合考虑能耗、成本等因素, 确定最佳水浴加热提取时间为50min。

#### 2.1.2 提取温度对FIBL提取率的影响

以95%乙醇为提取剂, 液料比20:1, 先在室温条件下超声提取0.5h, 再在水浴中加热50min, 提取1次, 考察水浴加热温度(50、60、70、80、90℃)对FIBL提取率的影响, 结果见图2。

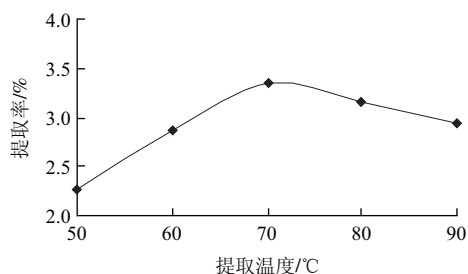


图2 提取温度对FIBL提取率的影响

Fig.2 Effect of extraction temperature on the yield of FIBL

从图2可以看出, 随着温度的升高, 从地瓜叶中提取出的黄酮不断增加, 在70℃时提取率最高; 再升高温度, 黄酮提取率又缓慢降低, 可能是高温条件使黄酮类化合物结构发生变化所致, 故提取FIBL的适宜温度在70℃左右。

#### 2.1.3 液料比对FIBL提取率的影响

以95%乙醇为提取剂, 先在室温条件下超声提取0.5h, 再在70℃水浴中加热50min, 提取1次, 考察液料比(10:1、20:1、30:1、40:1、50:1)对FIBL提取率的影响, 结果见图3。

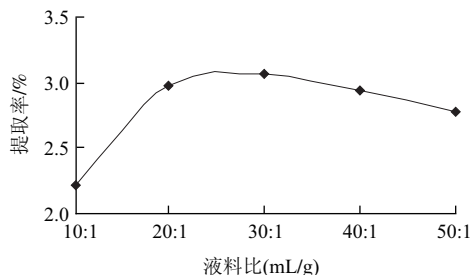


图3 液料比对FIBL提取率的影响

Fig.3 Effect of liquid-material ratio on the yield of FIBL

从图3可以看出, 随着液料比的增大, FIBL提取率先不断增大, 然后缓慢降低。当液料比为30:1时, 提取率最高, 说明液料比为30:1左右有益于从地瓜叶中提取黄酮类化合物。

#### 2.1.4 乙醇体积分数对FIBL提取率的影响

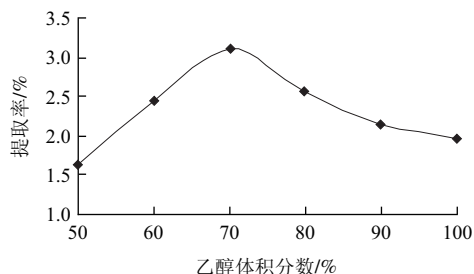


图4 乙醇体积分数对FIBL提取率的影响

Fig.4 Effect of ethanol concentration on the yield of FIBL

液料比30:1,先在室温条件下超声提取0.5h,再在70℃水浴中加热50min,提取1次,考察乙醇体积分数(50%、60%、70%、80%、90%、100%)对FIBL提取率的影响,结果见图4。

从图4可以看出,随着乙醇体积分数的增大,FIBL的提取率先增加后减少,当体积分数70%时,提取率最高,说明有益于提取FIBL的乙醇体积分数在70%左右。

#### 2.1.5 超声提取时间对FIBL提取率的影响

以70%乙醇为提取剂,液料比30:1,先在室温条件下超声提取一定时间(10、20、30、40、50、60min),再在70℃水浴中加热50min,提取1次,考察超声提取时间对FIBL提取率的影响,结果见图5。

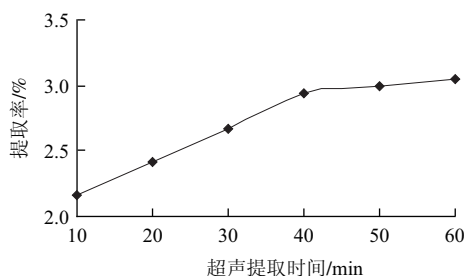


图5 超声提取时间对FIBL提取率的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic treatment time on the yield of FIBL

从图5可以看出,随着超声提取时间的延长,FIBL的提取率先不断明显增大,然后缓慢增加,增加幅度很小,说明超声提取40min左右就可以比较充分地把地瓜叶中的黄酮提取出来,故超声提取时间选为40min左右。

#### 2.1.6 提取次数对FIBL提取率的影响

以70%乙醇为提取剂,液料比30:1,先在室温条件下超声提取40min,再在70℃水浴中加热提取50min,考察提取次数(1、2、3次)对FIBL提取率的影响,结果见图6。

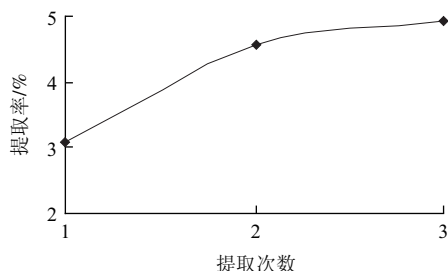


图6 提取次数对FIBL提取率的影响

Fig.6 Effect of number repeated extraction on the yield of FIBL

从图6可以看出,随着提取次数的增加,黄酮的提取率也呈增大的趋势。提取2次时,FIBL的提取率明显大于提取1次的提取率;而与提取3次相比,二者提取率相差不多,说明地瓜叶经过2次提取之后,其所含的黄酮大部分都被提取出来,如果提取3次,虽然提取率略有增加,

但提取剂乙醇消耗量增加,又会增加过滤、浓缩等后续工作量,使成本提高,因此,确定从地瓜叶中提取黄酮的最适宜提取次数为2次。

#### 2.2 提取FIBL的正交试验

为确定从地瓜叶中提取黄酮的最佳工艺参数,根据单因素试验的结果,固定水浴加热提取时间为50min、提取次数为2次,选择提取温度、超声提取时间、液料比和乙醇体积分数为试验因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交表对FIBL的提取工艺条件进行进一步优化,其因素水平安排见表1,正文试验设计及结果见表2,方差分析结果见表3。

表1 正交试验因素水平表  
Table 1 Factors and levels of orthogonal tests

水平	因素			
	A提取温度/℃	B超声提取时间/min	C液料比(mL/g)	D乙醇体积分数/%
1	65	35	25:1	70
2	70	40	30:1	75
3	75	45	35:1	80

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Results of orthogonal tests

试验号	A	B	C	D	FIBL提取率/%
1	1	1	1	1	5.11
2	1	2	2	2	5.71
3	1	3	3	3	5.40
4	2	1	2	3	5.89
5	2	2	3	1	5.51
6	2	3	1	2	5.70
7	3	1	3	2	5.55
8	3	2	1	3	5.44
9	3	3	2	1	5.34
$k_1$	5.407	5.517	5.417	5.320	
$k_2$	5.700	5.553	5.647	5.653	
$k_3$	5.443	5.480	5.484	5.577	
R	0.293	0.073	0.230	0.333	

表3 方差分析表

Table 3 Analysis of variance

方差来源	偏差平方和	自由度	F值	$F_{\text{临界值}}(\alpha=0.05)$	显著性
A	0.153	2	19.125	19.000	*
B	0.008	2	1.000	19.000	
C	0.083	2	10.375	19.000	
D	0.183	2	22.875	19.000	*

注:\*,差异显著, $P < 0.05$ 。

由表3可知,在实验研究范围内,提取温度、超声提取时间、乙醇体积分数和液料比对地瓜叶中黄酮的提取率都有不同程度的影响,其中乙醇体积分数和提取温度对FIBL的提取率有显著性影响,各因素对提取率影响的主次顺序为 $D > A > C > B$ ,与表2直观分析结果一致。故提取FIBL的最适宜工艺参数为 $A_2B_2C_2D_2$ ,即乙醇体积分数75%、液料比30:1、超声提取时间40min、水浴温度70℃、水浴加热50min、共提取2次。

在最适宜的工艺条件下进行从地瓜叶中提取黄酮的验证实验,共做3组平行实验,提取率分别是5.96%、



6.11%、6.02%，平均提取率为6.03%。说明该工艺比较稳定，重复性良好。

### 2.3 FIBL的UV-vis光谱

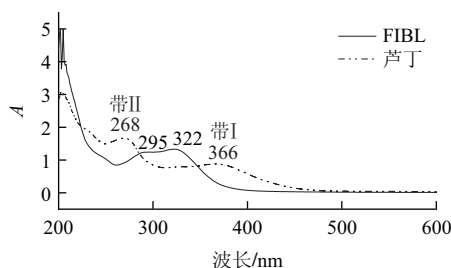


图7 芦丁和FIBL的紫外光谱图  
Fig.7 UV-vis spectra of rutin and FIBL

从图7可以看出，芦丁在268nm(带II)和366nm(带I)处出现2个由于桂皮酰基和苯甲酰基的交叉共轭而产生的特征吸收峰<sup>[20]</sup>，而FIBL则在322nm处出现一个强吸收峰(与带I相比，发生蓝移，44nm)，同时在295nm处存在一个强肩峰(与带II相比，发生红移)，峰位和峰形与芦丁差别较大，说明用该法从地瓜叶中提取出的总黄酮中含氧基团的数目及位次与芦丁不同。此外，由于异黄酮、二氢黄酮及二氢黄酮醇类化合物带I很弱，带II为主峰，而FIBL带I为主峰，故可以初步判定FIBL中不含有这3类化合物<sup>[20]</sup>，但是其具体组成成分、结构鉴定需要进一步的分离纯化和分析。

### 2.4 FIBL的红外光谱表征

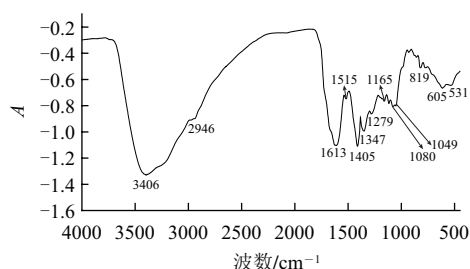


图8 FIBL的红外光谱图  
Fig.8 IR spectrum of FIBL

由图8可知，FIBL具有一般黄酮类化合物的特征吸收峰(3406、2946、1613、1515、1405、1347、1279、1165、1080、1049、819、605 $\text{cm}^{-1}$ 和531 $\text{cm}^{-1}$ )。其中，3406 $\text{cm}^{-1}$ 附近的强宽谱带是缩合羟基的伸缩振动引起的(由于季节性潮湿，样品吸潮，故部分可归属为水分子的O—H振动)，说明FIBL中含有羟基；1613 $\text{cm}^{-1}$ 处的强峰为羰基的C=O伸缩振动；同时，该处峰形较宽，故可与1515 $\text{cm}^{-1}$ 一起归属为苯环的骨架振动。2946 $\text{cm}^{-1}$ 处的峰是—CH<sub>3</sub>中C—H伸缩振动产生的；1405 $\text{cm}^{-1}$ 的强峰是由于甲基与O相连引起的<sup>[8,21]</sup>，故可推知甲氧基的存在。1347 $\text{cm}^{-1}$ 处为羟基O—H的面内弯曲振动引起的；

1279 $\text{cm}^{-1}$ 是酚羟基的振动峰，1165 $\text{cm}^{-1}$ 附近的峰是酚羟基C—O伸缩振动引起的<sup>[8,22]</sup>；1080 $\text{cm}^{-1}$ 和1049 $\text{cm}^{-1}$ 附近的峰是醚键C—O—C的伸缩振动<sup>[21-22]</sup>。综上分析可知，用该工艺提取出来的地瓜叶总黄酮含有2个苯环通过中央三碳原子相互连接而成的基本结构的母核，即含有C<sub>6</sub>—C<sub>3</sub>—C<sub>6</sub>基本骨架，此外，还含有甲氧基和酚羟基。

### 2.5 FIBL抗氧化活性实验

#### 2.5.1 对DPPH自由基的清除作用

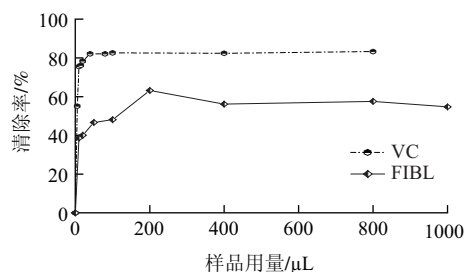


图9 FIBL、VC对DPPH自由基的清除能力  
Fig.9 Scavenging capacity of FIBL and vitamin C against DPPH free radical

从图9可以看出，随着VC用量的增加，清除DPPH自由基的能力先迅速增强再趋于平稳。而随着FIBL用量的增大，清除DPPH自由基的能力也增强，当加入200 $\mu\text{L}$  FIBL(1mg/mL)时，其清除率最高，约为63.21%，再增加其用量，清除能力又略微降低。通过计算可知，对DPPH自由基清除率达到50%时，VC和FIBL的用量分别为0.1 $\mu\text{L}$ 和108 $\mu\text{L}$ ，说明虽然地瓜叶中的黄酮化合物对DPPH自由基具有较好的清除能力，但是不如VC的清除效果好。

#### 2.5.2 对超氧阴离子自由基的清除作用

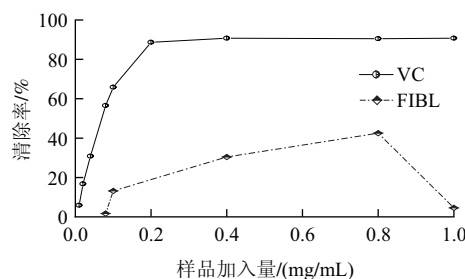


图10 FIBL、VC对O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的清除能力  
Fig.10 Scavenging capacity of FIBL and vitamin C against superoxide anion free radical

从图10可以看出，随着VC质量浓度的增加，清除O<sub>2</sub><sup>-</sup>·能力先不断增强，后趋于平稳。而随着FIBL用量的增加，清除O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的能力先增强，后急剧减弱，当加入0.8mg/mL FIBL时，其对O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的清除率最强，约为42.53%，说明从地瓜叶中提取出来的黄酮对O<sub>2</sub><sup>-</sup>·具有一定的清除能力，但不如VC清除能力强。

2.6 FIBL抑菌活性实验

表4 FIBL的抑菌实验结果  
Table 4 Antibacterial activity of FIBL

样品质量浓度/ (mg/mL)	抑菌圈直径/mm		
	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>
10.00	13.94±1.25	14.94±1.03	12.56±0.92
5.00	14.46±0.97	15.64±2.56	17.06±1.98
2.50	12.76±2.03	13.98±1.29	15.98±0.65
1.25	10.72±0.78	12.26±0.89	12.46±2.15

由于牛津杯外径是7.8mm，所以抑菌圈直径大于该数值，表明样品有抑菌活性，抑菌圈直径越大，抑菌作用越强。从表4可以看出，FIBL对3种受试菌株均具有良好的抑制作用，当样品质量浓度低于10mg/mL的时候，抑菌效果随质量浓度的增加而增强，且抑制活性的强弱顺序为枯草芽孢杆菌>大肠杆菌>金黄色葡萄球菌。当质量浓度为10mg/mL时，FIBL对受试菌株的抑制作用又减弱。总之，地瓜叶中提取的总黄酮对3种细菌都表现出良好的抑制活性。

3 结 论

3.1 乙醇体积分数和水浴温度对FIBL提取率具有显著性影响，提取FIBL的最适宜工艺条件为乙醇体积分数75%、液料比30:1、超声时间40min、水浴温度70℃、水浴加热50min、共提取2次，提取率为6.03%。

3.2 该工艺提取的FIBL具备C<sub>6</sub>—C<sub>3</sub>—C<sub>6</sub>基本骨架，并含有酚羟基和甲氧基，但含氧基的数目、位次等与芦丁不同，也不是异黄酮、二氢黄酮及二氢黄酮醇等3类化合物。

3.3 FIBL具有一定的抗氧化活性，而且对DPPH自由基的清除效果要优于对O<sub>2</sub><sup>-</sup>·的清除效果，但抗氧化效果不如VC。

3.4 FIBL对3种受试菌株具有广谱抑菌作用，当样品质量浓度低于10mg/mL时，抑菌活性随质量浓度增加而增强。

参考文献：

[1] 谢丽玲, 余纲哲, 李剑欢, 等. 红薯叶提取物对五种致病菌的抑制作用[J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 1996, 11(2): 77-84.  
[2] 丁文, 于华忠, 黄维, 等. 红薯叶茎中多糖的提取及含量测定[J]. 中国林副特产, 2006(6): 20-21.  
[3] 王小华, 邓斌, 张晓军, 等. 红薯叶黄酮类化合物的提取及其抗氧化

活性的测得[J]. 化学与生物工程, 2009, 26(2): 32-35.  
[4] 张戎, 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, 27(3): 252-256.  
[5] 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.  
[6] 张戎, 高荫榆, 季玲. 红薯茎叶大空树脂分离物的抑菌作用[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 188-191.  
[7] 赵蕊, 李青旺, 张涛. 红薯叶黄酮对老龄糖尿病模型大鼠的免疫调节作用[J]. 中国老年学杂志, 2010, 30(10): 1395-1397.  
[8] 皱耀洪. 国产甘薯叶黄酮类成分研究[J]. 分析测试学报, 1996, 15(1): 71-74.  
[9] CANDIRACCI M, CITTERIO B, PIATTI E. Antifungal activity of the honey flavonoid extract against *Candida albicans*[J]. Food Chemistry, 2012, 131(2): 493-499.  
[10] LI Chonghui, DU Hui, WANG Liangsheng, et al. Flavonoid composition and antioxidant activity of tree peony (*Paeonia section moutan*) yellow flowers[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2009, 57(18): 8496-8503.  
[11] ZOU Yanping, LU Yanghua, WEI Dongzhi. Antioxidant activity of a flavonoid-rich extract of *Hypericum perforatum* L. *in vitro*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(16): 5032-5039.  
[12] SUN Lijun, ZHANG Jianbao, LU Xiaoyun, et al. Evaluation of the antioxidant activity of total flavonoids extract from persimmon (*Diospyros kaki* L.) leaves[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(10): 2689-2696.  
[13] RONG Yuzhi, WANG Zhengwu, WU Jinhong, et al. A theoretical study on cellular antioxidant activity of selected flavonoids[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2012, 93(1): 235-239.  
[14] SALEM J H, CHEVALOT I, SCHIAVO C H, et al. Biological activities of flavonoids from *Nitraria retusa* (Forssk.) Asch. and their acylated derivatives[J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 486-494.  
[15] SHAH M D, HOSSAIN M A. Total flavonoids content and biochemical screening of the leaves of tropical endemic medicinal plant *Merremia borneensis*[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2011, 222(1): 1-9.  
[16] 勾明明, 刘梁, 张春枝. 采用DPPH法测定26种植物的抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3): 148-150.  
[17] 孙杰, 王艳杰, 朱路英, 等. 石花菜醇提物抑菌活性和抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 53-56.  
[18] 吐尔干乃义·吐尔逊, 热衣木·马木提, 阿不都拉·阿巴斯. 中国树花中地衣多糖的抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(11): 119-121.  
[19] 许瑞波, 曹晓英, 王明艳, 等. 睡莲叶黄酮的提取及其抑菌活性研究[J]. 食品科技, 2009, 34(4): 190-192; 197.  
[20] 宋晓凯. 天然药物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 91-96.  
[21] 邓芹英, 刘岚, 邓慧敏. 波谱分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 60-63.  
[22] 张彩霞, 蔡定建, 方文英. 白花蛇舌草中黄酮提取工艺的优化及其结构鉴定[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 131-133; 136.