

# 平卧菊三七提取物体外抗氧化活性研究

## Study on vitro-antioxidant activities of extracts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr

孟 醒<sup>1</sup> 李安平<sup>1</sup> 余江帆<sup>2</sup> 黄敦元<sup>3</sup>

MENG Xing<sup>1</sup> LI An-ping<sup>1</sup> YU Jiang-fan<sup>2</sup> HUANG Dun-yuan<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南长沙 410004; 2. 江西省林业科技培训中心, 江西南昌 330038; 3. 江西环境工程职业学院, 江西赣州 341000)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Jiangxi Forestry Science and Technology Training Center, Nanchang, Jiangxi 330038, China; 3. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

**摘要:**研究平卧菊三七植株不同部位、干燥方式和提取溶剂对其提取液中生物活性物质含量和抗氧化活性的影响。结果表明:平卧菊三七植株根部相比于茎部和叶部,酚类化合物和黄酮类化合物含量较高且抗氧化性较强,铁离子还原/抗氧化能力、DPPH 自由基清除能力和 ABTS<sup>+</sup>·清除能力测定的抗氧化值(抗氧化能力 TEAC 值)分别达到(21.25±0.31), (35.27±0.26), (56.20±0.22) μg Trolox/mL。干燥方式对平卧菊三七植物根部提取液的生物活性物质含量有显著性影响,冷冻干燥和 60℃热风干燥方式获得的提取液具有更强的抗氧化活性。溶剂对平卧菊三七植株根部提取液的生物活性物质含量和抗氧化活性有显著性影响(P<0.05),其抗氧化活性(FRAP 法、DPPH 法和 ABTS 法)与总酚、总黄酮和绿原酸含量显著相关(P<0.05),与总酚相关系数 R 分别为 0.919, 0.848, 0.907, 与总黄酮含量相关系数 R 分别为 0.915, 0.793, 0.823, 与绿原酸含量相关系数 R 分别为 0.887, 0.927, 0.900, 与 V<sub>C</sub> 含量相关性较低。

**关键词:**平卧菊三七; 多酚; 溶剂提取; 抗氧化活性

**Abstract:** The effects was studied on the biologically active substances content and antioxidant activity of *G. procumbens* extracts, which was from different parts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr, by different drying methods, and with different kinds of solvents. The results showed that: *G. procumbens* roots compared to its stems and leaves had higher content of phenolic and flavonoids and the antioxidant activity was also stronger, and the ferric reducing ability and ABTS<sup>+</sup>· scavenging capacity and DPPH· scavenging capacity were

21.25±0.31, 35.27±0.26, 56.20±0.22 TEAC(trolox equivalent antioxidant capacity) value (μg Trolox/mL), respectively. Drying methods had significant effect on the content of the biologically active substance of *G. procumbens* roots extracts, freeze drying and 60℃ hot air drying obtained with strong antioxidant activity. Extraction solvents had significant effect on the content of the biologically active substance of *G. procumbens* roots extracts, and the antioxidant activity (FRAP ferric reducing ability, DPPH· scavenging capacity and ABTS<sup>+</sup>· scavenging capacity) of extracts and their total phenolic content were significantly correlated, with the correlation coefficient R of 0.919, 0.848 and 0.907, respectively. The antioxidant activity (FRAP, DPPH and ABTS) of extracts and their total flavonoids content were significantly correlated, too, with the correlation coefficient R of 0.915, 0.793 and 0.823, respectively. The antioxidant activity (FRAP, DPPH and ABTS) and chlorogenic acid content correlation coefficient R were 0.887, 0.927 and 0.900, respectively, but had less relevant with the vitamin C content was.

**Keywords:** *Gynura procumbens* (Lour.) Merr; polyphenol; solvent extraction; antioxidant activity

平卧菊三七又名平卧土三七、蛇接骨,为菊科(Asteraceae)菊三七属多年生草本植物,主要分布在东南亚地区和中国南方等地<sup>[1]</sup>。研究<sup>[2-4]</sup>表明,平卧菊三七中含有绿原酸、生物碱、萜烯类、香豆素类及黄酮类等生物活性成分,是一种集营养价值和药理作用为一身的新食品资源<sup>[5-7]</sup>,具有很好开发和应用潜力。

目前,国内外对平卧菊三七的研究主要集中在整株绿原酸<sup>[8]</sup>及黄酮等<sup>[9-11]</sup>的提取工艺、粗提物的降血糖<sup>[12-13]</sup>和抗菌活性<sup>[14]</sup>方面。Niwat Kaewseejan 等<sup>[15]</sup>在平卧菊三七的乙酸乙酯分馏物中检测到杨梅酮、槲皮素、芹黄素、山奈酚等黄酮类化合物的存在。但有关平卧菊三七提取物抗氧化活性

**基金项目:**2014 年江西科技厅科技支撑项目(编号:20142BBF60030)

**作者简介:**孟醒,女,中南林业科技大学在读硕士研究生。

**通讯作者:**李安平(1967—),男,中南林业科技大学教授,博士。

E-mail:912336799@qq.com

**收稿日期:**2016-07-19

及其与活性成分含量之间的相关性研究尚未见报道。

本研究拟比较平卧菊三七植株不同部位、不同的干燥方式和提取溶剂对生物活性物质含量及其抗氧化活性的影响,以及活性成分含量和抗氧化活性之间的关系,旨在为平卧菊三七资源的开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试剂与仪器

平卧菊三七:采自江西赣州(2015年10月下旬采收);

没食子酸、水溶性维生素 E(Trolox)、1,1-二苯基-2-三硝基苯(DPPH)、Folin-Ciocalteu 试剂、ABTS;分析纯,美国 Sigma 公司;

总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒:苏州科铭生物技术有限公司;

正丁醇、乙酸乙酯、三氯甲烷、无水乙醇、丙酮、甲醇等:均为分析纯。

高速万能粉碎机:qe-100型,浙江屹立工贸有限公司;

超声波清洗机:JRC-2000型,济宁市润通超声电子有限公司;

医用离心机:TGL-16型,长沙平凡仪器仪表有限公司;

旋转蒸发仪:YRE-5299型,巩义市予华仪器有限责任公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-10型,北京松源华兴科技发展有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1800型,日本岛津公司。

### 1.2 平卧菊三七植株不同部位提取液的制备

平卧菊三七全植株采摘,除去杂质,清水漂洗沥干,然后按叶部、茎部和根部分开,分别将其置于60℃的鼓风干燥箱中干燥72h,粉碎,过60目筛,石油醚脱色脱脂3h,然后放入通风橱中风干至恒重,分别得到叶部、茎部和根部的粉体样品。准确称取平卧菊三七叶部、茎部和根部粉末各1份,每份1.0g,按料液比1:30(g/mL)加入蒸馏水混合,并用21kHz的超声波辅助提取60min,提取液用速度为4000r/min的离心机离心10min,残渣再按相同的试验条件提取1次,合并上清液,过滤,用提取溶剂定容至100mL,得提取液,然后用其检测成分含量和抗氧化性。

### 1.3 平卧菊三七植株根部不同干燥方式提取液的制备

将分割出来的新鲜平卧菊三七植株的根部分别采用阴干、冷冻干燥和热风干燥处理。阴干:将样品放置于干燥、通风良好的室内,温度约为20~25℃的条件下干燥至恒重;真空冷冻干燥:将样品于-80℃冰箱中预冻后,在冷阱温度为-40℃、隔板加热温度为20℃、真空度为12Pa条件下干燥至恒重;热风干燥:在电热鼓风干燥箱内进行,温度分别为60,70,80,90,100℃,干燥至恒重。干燥完后,粉碎过60目筛,按1.2条件提取,得提取液。

### 1.4 平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液的制备

准确称取7份60℃热风干燥处理后的平卧菊三七根部粉末,分别用蒸馏水、甲醇、无水乙醇、丙酮、正丁醇、乙酸乙酯和三氯甲烷按1:30(g/mL)料液比混合,并用21kHz的超声波进行辅助提取60min,提取液经速度为4000r/min

的离心机离心10min,得上清液。残渣按相同的试验条件再提取1次,合并上清液,用提取溶剂定容至200mL。

### 1.5 检测方法

1.5.1 提取物得率的测定 提取液经旋转蒸发后浓缩,用蒸馏水洗入培养皿中,于50℃下烘干至恒重,按式(1)计算不同溶剂所得提取物得率:

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

$c$ ——提取物得率,%;

$m_1$ ——浓缩干燥后培养皿和样品的质量,g;

$m_2$ ——浓缩前培养皿的质量,g;

$m_3$ ——平卧菊三七样品质量,g。

1.5.2 总酚含量的测定 以没食子酸为对照品,FC(Folin-Ciocalteu)比色法测定系列标准溶液的吸光度<sup>[16-18]</sup>,以标准溶液浓度 $C$ 为横坐标,吸光度 $A$ 为纵坐标绘制标准曲线。样品中总酚含量标准曲线方程为: $A = 16.331C + 0.0104$ ,  $R^2 = 0.9990$ 。总酚含量以干物质质量计,单位为mg GAE/g。

1.5.3 总黄酮含量的测定 采用硝酸铝比色法<sup>[19]</sup>。以芦丁为标样作标准曲线,样品中类黄酮含量以达到同样吸光度所需的芦丁的质量浓度表示。以吸光度 $A$ 对芦丁标样浓度 $C$ 作图,获得标准曲线的回归方程 $A = 0.0087C - 0.0017$ ,  $R^2 = 0.9993$ 。芦丁含量在0.01~0.09mg/mL时与吸光度呈良好线性关系。

1.5.4 绿原酸含量的测定 参考胡鲜宝等<sup>[20]</sup>的方法和向福<sup>[21]</sup>的方法,稍作修改。称取绿原酸标准品2mg,用70%(体积分数)甲醇溶解,定容于25mL容量瓶中,摇匀,得浓度为80μg/mL的绿原酸标准液,于200~550nm波长范围内全程扫描。在327nm波长处有最大吸收,且空白对照无干扰。然后用移液管分别取上述标准溶液1,2,3,4,5mL置于25mL容量瓶中,用70%(体积分数)甲醇溶液定容,配成浓度 $C$ 分别为3.2,6.4,9.6,12.8,16.0μg/mL的标准溶液。用紫外可见分光光度计在波长327nm下测定吸光度 $A$ ,得到绿原酸标准曲线方程: $A = 0.0308C + 0.0068$ ,  $R^2 = 0.9991$ 。

1.5.5 抗坏血酸含量的测定 按GB/T 6195—1986执行。

1.5.6 铁离子还原/总抗氧化能力分析法(ferric reducing antioxidant power,FRAP) 在100mL的醋酸盐缓冲液(0.3mol/L,pH 3.6)中加入10mL 2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ)的盐酸溶液(10mmol/L)和10mL的FeCl<sub>3</sub>溶液(20mmol/L),混合制成FRAP工作液,用前预温至37℃。取30μL样品,然后加入90μL蒸馏水和0.9mL FRAP工作液,混匀后在37℃下反应10min,用紫外分光光度计测定在593nm处的吸光度,每个样品平行测定3次,吸光度变化值越大,说明总还原能力越强。

标准曲线制作:取不同浓度的Trolox溶液(0,5,10,15,20,25,30μg/mL),按上述条件处理,于593nm处测定吸光度。以反应后的吸光度变化值 $\Delta A$ 为纵坐标,以Trolox浓度 $C$ 为横坐标,做FRAP法标准曲线,得标准曲线方程为 $\Delta A = 0.0175C + 0.0050$ ,  $R^2 = 0.9993$ 。在标准曲线上求得相应Trolox的浓度(μg/mL),得出抗氧化能力值(trolox equivalent

antioxidant capacity, TEAC)。计算公式:

$$TEAC = \frac{(A_i - A_0) - 0.005 0}{0.017 5}, \quad (2)$$

式中:

TEAC——抗氧化能力值,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;

$A_0$ ——空白样品吸光度;

$A_i$ ——样品样品吸光度。

1.5.7 抗氧化能力评价(DPPH·法) 参照文献[22]的方法,稍作改动。取 0.5 mL 各组样品溶液分别与 2.5 mL DPPH·溶液(0.05 mg/mL)混合。避光反应 30 min 后,于 517 nm 测定样品的吸光度,用蒸馏水代替样品溶液作为空白。根据 Trolox 的 DPPH·清除能力标准曲线,样品的自由基清除能力以 Trolox 当量抗氧化能力(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)表示,即每毫升提取液具有相同抗氧化能力所需 Trolox 的微克数。

以 Trolox 浓度为横坐标,清除率为纵坐标,制备 DPPH 标准曲线,得到 Trolox 标准样品浓度  $X(\mu\text{g}/\text{mL})$  与样品清除率  $Y(\%)$  的回归方程为  $Y = 0.016 4X + 0.009 9, R^2 = 0.999 1$ 。DPPH·法清除率( $Y$ )和抗氧化能力值(TEAC)的计算公式:

$$Y = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100\%, \quad (3)$$

$$TEAC = \frac{Y_{\text{样品}} \times C_{\text{trolox}}}{Y_{\text{Trolox}} \times M_{\text{样品}}}, \quad (4)$$

式中:

$Y$ ——DPPH·清除率, %;

$A_0$ ——空白管吸光值,  $A$ ;

$A_i$ ——样品管吸光值,  $A$ 。

TEAC——抗氧化能力值,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;

$C_{\text{trolox}}$ ——Trolox 标准样品浓度,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;

$M_{\text{样品}}$ ——样品质量,  $\mu\text{g}$ 。

1.5.8 抗氧化能力评价( $\text{ABTS}^+$ ·法) 参照文献[23]的方法,稍作改动。配制 10 mL  $\text{ABTS}^+$ ·溶液(7 mmol/L),加入过硫酸钾溶液(140 mmol/L)88  $\mu\text{L}$ ,然后将该混合溶液在 37  $^{\circ}\text{C}$  下避光反应 12~16 h。用 pH 为 7.4 的磷酸缓冲液(phosphate buffer solution, PBS)稀释  $\text{ABTS}^+$ ·混合溶液至适当浓度,使其在波长 734 nm 条件下的吸光度值为  $0.700 \pm 0.02$ ,得到  $\text{ABTS}^+$ ·工作液。称取 0.003 8 g 的 Trolox 用 60% 乙醇溶液溶解,分别配成浓度为 0.0, 2.5, 12.5, 25.0, 37.5, 50.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的标准应用液。

将 Trolox 标准应用液或样品(稀释后)与  $\text{ABTS}^+$ ·工作液混合,静置反应 10 min,用紫外分光光度计在 734 nm 处测吸光度,计算样品清除率和 TEAC 值。

以 Trolox 浓度为横坐标,清除率(吸光值变化量)为纵坐标,制备 Trolox 标准曲线,得到 Trolox 标准样品浓度  $X(\text{mmol}/\text{L})$  与样品清除率  $Y(\%)$  的回归方程为  $Y = 0.017 5X + 0.005 0, R^2 = 0.999 3$ 。 $\text{ABTS}^+$ ·法清除率  $Y(\%)$  的计算公式同式(3)。抗氧化能力值(TEAC)的计算公式:

$$TEAC = \frac{Y_{\text{样品}} \times C_{\text{trolox}}}{Y_{\text{Trolox}} \times M_{\text{样品}}}, \quad (5)$$

式中:

TEAC——抗氧化能力值,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;

$C_{\text{trolox}}$ ——Trolox 标准样品浓度,  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;

$M_{\text{样品}}$ ——样品质量,  $\mu\text{g}$ 。

## 1.6 数据分析

每组试验重复 3 次,结果表示为平均值  $\pm$  标准差,采用 Origin 8.0 绘图软件绘图,SPSS 19.0 进行方差分析和相关性分析。样品间的差异显著性采用单因素方差分析邓肯氏检验法测验。相关性分析使用 Pearson correlation coefficient。

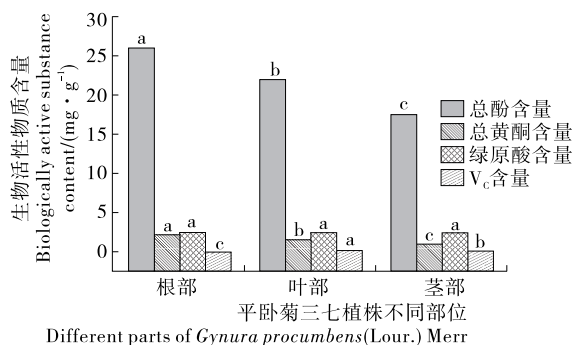
## 2 结果分析

### 2.1 平卧菊三七植株不同部位提取液抗氧化活性比较

以水为溶剂,对平卧菊三七植株的根部、茎部和叶部分别提取,提取液的主要生物活性物质含量和抗氧化活性检测结果见图 1 和表 1。

由图 1 可知,平卧菊三七植株根部具有最高的总酚(25.96 mg GAE/ $\mu\text{g}$   $\pm$  1.23 mg GAE/ $\mu\text{g}$ )和总黄酮(2.16 mg/ $\mu\text{g}$   $\pm$  0.37 mg/ $\mu\text{g}$ )含量,其次是叶部,茎部含量最少。根部、叶部和茎部之间的绿原酸含量差异不显著( $P > 0.05$ )。根部、叶部和茎部的  $V_c$  含量之间有显著性差异( $P < 0.05$ ),含量分别为(108.12  $\pm$  0.73), (72.71  $\pm$  0.10), (39.22  $\pm$  0.02)  $\mu\text{g}/\text{g}$ 。

由表 1 可知,FRAP、DPPH 和 ABTS 3 种抗氧化活性测定方法均显示平卧菊三七植株的 3 个部位间的抗氧化活性有显著性差异( $P < 0.05$ ),其中根部具有最强的抗氧化活性,



相同物质含量图上的不同字母表示不同部位间差异显著( $P < 0.05$ )

图 1 平卧菊三七植株不同部位提取液总酚、总黄酮、绿原酸和  $V_c$  含量

Figure 1 Total phenols, flavonoids and chlorogenic acid content of extracts from different parts of *Gynura procumbens*(Lour.) Merr

表 1 平卧菊三七不同部位提取液的抗氧化能力(TEAC 值)比较<sup>†</sup>

Table 1 Comparison of antioxidant capacity of the extract from different parts of *Gynura procumbens*(Lour.) Merr  $\mu\text{g}/\text{mL}$

| 植株部位 | FRAP                          | DPPH                          | ABTS                          |
|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 根部   | 21.25 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup> | 35.27 $\pm$ 0.26 <sup>c</sup> | 56.20 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup> |
| 叶部   | 18.47 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup> | 24.21 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup> | 39.42 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup> |
| 茎部   | 8.39 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>  | 10.97 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup> | 2.31 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>  |

<sup>†</sup> 同列小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

叶部次之,茎部抗氧化活性最弱。平卧菊三七植株3个部位的总酚和总黄酮含量大小与其FRAP抗氧化活性值的大小是相一致的。它们之间呈极显著相关( $P < 0.05$ ),相关系数 $R$ 分别达到0.98和0.95。Krishnan V等<sup>[24]</sup>研究结果也表明,平卧菊三七植株根部的总酚和总黄酮含量最高,且具有最高的抗氧化活性。平卧菊三七植株所含的总酚和总黄酮是其具有抗氧化活性的主要因素,而且主要集中在根部。Jaleel C A<sup>[25]</sup>在比较了南非醉茄根部和叶子的酶类和非酶类抗氧化物质的含量后,得出其根部抗氧化活性物质含量最高,与本研究结果类似。

## 2.2 干燥方式对平卧菊三七植株根部提取液抗氧化活性的影响

新鲜平卧菊三七植株根部分别采用阴干、冷冻干燥和热

风干燥处理,经粉碎和水溶剂萃取获得根部的提取液,再检测其主要生物活性物质含量和抗氧化活性,结果见表2、3。

由表2可知,3种干燥方式中,以60℃的热风干燥和冻干所获得的平卧菊三七植株根部提取液含有最高的总酚、总黄酮、绿原酸和V<sub>C</sub>含量。热风干燥温度越高,干燥时间越短,但植株中生物活性物质被破坏也越多。当在温度为100℃的条件下干燥(2.23±0.31)h后,总酚、总黄酮、绿原酸和V<sub>C</sub>含量分别仅剩余(14.82±0.61)mg GAE/g、(0.93±0.61)mg QE/g、(0.95±0.72)mg/g、(18.10±0.72)μg/g,接近于60℃干燥所得样品的一半。阴干虽然温度较低,但阴干处理时间较长,平卧菊三七样品与氧气长时间接触,而且微生物会大量繁殖,因此对其成分破坏也较大,导致其生物活性物质含量降低。

表2 不同干燥方式平卧菊三七植株根部水提液中总酚、总黄酮、绿原酸和V<sub>C</sub>含量<sup>†</sup>

Table 2 Total phenols, flavonoids, chlorogenic acid and ascorbic acid content of water extracts by different drying methods of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr roots

| 干燥方式 | 温度/<br>℃ | 干燥时间/<br>h               | 总酚含量/<br>(mg GAE · g <sup>-1</sup> ) | 总黄酮含量/<br>(mg QE · g <sup>-1</sup> ) | 绿原酸含量/<br>(mg · g <sup>-1</sup> ) | V <sub>C</sub> 含量/<br>(μg · g <sup>-1</sup> ) |
|------|----------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 阴干   | 25       | 165.12±0.25 <sup>g</sup> | 17.91±1.03 <sup>e</sup>              | 1.27±0.17 <sup>e</sup>               | 1.79±0.13 <sup>e</sup>            | 21.12±0.83 <sup>e</sup>                       |
| 冻干   | -40      | 28.15±0.46 <sup>f</sup>  | 25.12±0.35 <sup>f</sup>              | 2.25±0.97 <sup>f</sup>               | 2.23±0.18 <sup>e</sup>            | 29.13±0.57 <sup>e</sup>                       |
|      | 60       | 7.52±0.17 <sup>e</sup>   | 25.96±1.23 <sup>f</sup>              | 2.16±0.37 <sup>f</sup>               | 2.43±0.36 <sup>e</sup>            | 29.22±0.02 <sup>e</sup>                       |
|      | 70       | 6.66±0.88 <sup>d</sup>   | 22.93±0.53 <sup>e</sup>              | 1.67±0.18 <sup>e</sup>               | 2.16±0.31 <sup>d</sup>            | 25.74±0.43 <sup>d</sup>                       |
| 热风干燥 | 80       | 4.82±0.13 <sup>c</sup>   | 18.54±0.55 <sup>d</sup>              | 1.36±0.13 <sup>d</sup>               | 1.81±0.54 <sup>c</sup>            | 21.29±0.62 <sup>e</sup>                       |
|      | 90       | 3.31±0.42 <sup>b</sup>   | 16.82±0.19 <sup>b</sup>              | 1.01±0.23 <sup>b</sup>               | 1.65±0.32 <sup>b</sup>            | 19.87±0.32 <sup>b</sup>                       |
|      | 100      | 2.23±0.31 <sup>a</sup>   | 14.82±0.61 <sup>a</sup>              | 0.93±0.61 <sup>a</sup>               | 0.95±0.72 <sup>a</sup>            | 18.10±0.72 <sup>a</sup>                       |

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表3 平卧菊三七根部不同干燥方式提取物的抗氧化活性(TEAC值)<sup>†</sup>

Table 3 Antioxidant value of extracts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr roots by different drying methods

| 干燥方式 | 温度/℃ | FRAP                    | DPPH                    | ABTS                    |
|------|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 阴干   | 25   | 15.29±0.25 <sup>e</sup> | 21.36±0.12 <sup>e</sup> | 40.20±0.21 <sup>d</sup> |
| 冻干   | -40  | 20.88±0.15 <sup>f</sup> | 32.19±0.23 <sup>e</sup> | 55.71±0.18 <sup>f</sup> |
|      | 60   | 21.25±0.25 <sup>f</sup> | 35.27±0.24 <sup>f</sup> | 56.20±0.31 <sup>f</sup> |
|      | 70   | 18.80±0.12 <sup>e</sup> | 28.32±0.15 <sup>d</sup> | 43.92±0.22 <sup>e</sup> |
| 热风干燥 | 80   | 16.19±0.17 <sup>d</sup> | 21.91±0.24 <sup>e</sup> | 31.38±0.15 <sup>e</sup> |
|      | 90   | 14.89±0.26 <sup>b</sup> | 17.29±0.17 <sup>b</sup> | 28.73±0.23 <sup>b</sup> |
|      | 100  | 12.93±0.13 <sup>a</sup> | 13.09±0.19 <sup>a</sup> | 23.19±0.21 <sup>a</sup> |

† 同列小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

由表3可知,不同干燥方式所获得的平卧菊三七植株根部的提取液均具有一定的抗氧化活性,FRAP、DPPH和ABTS 3种抗氧化活性测定方法能一致地反映平卧菊三七植株根部提取液的抗氧化活性的大小,而且其大小排序与其总酚、总黄酮和绿原酸含量大小排序基本一致。其中,60℃的热风干燥和冻干所获得的平卧菊三七根部提取液具有最高的抗氧化活性,阴干、90℃热风干燥和100℃热风干燥所获得的提取液具有较低的抗氧化活性。热风干燥温度越高,抗

氧化活性越低。尚红梅等<sup>[26]</sup>在研究干燥方式对菊苣根多酚含量和抗氧化活性的影响中,得出了相同的结论。

## 2.3 平卧菊三七植株根部的不同溶剂提取液的抗氧化活性比较

新鲜平卧菊三七植株根部用60℃的热风干燥,经粉碎,过60目筛,得粉末,然后分别用蒸馏水、甲醇、无水乙醇、丙酮、正丁醇、乙酸乙酯和三氯甲烷7种溶剂进行提取,测试提取液的主要生物活性物质含量和抗氧化活性,结果见表4、5。提取液中生物活性物质含量与其抗氧化活性之间的相关性见表6。

由表4可知,7种溶剂提取液间的生物活性物质含量有显著性差异( $P < 0.05$ )。平卧菊三七植株根部水提物具有最高的粗提物得率,其次是丙酮,无水乙醇的提取物得率最低。根部水提物中总酚、总黄酮、绿原酸和V<sub>C</sub>含量较高,分别达到了(6.91±1.03)mg GAE/g、(2.64±0.17)mg QE/g、(2.39±0.13)mg/g和(7.22±0.02)μg/g,其次是甲醇、丙酮和无水乙醇,正丁醇和三氯甲烷提取物中含量最低。溶剂极性越大,提取物中总酚和总黄酮含量越大。极性较低的溶剂与酚类化合物间的极性差异较大,因此酚类化合物溶出量减少。Mohdaly等<sup>[27]</sup>比较了土豆皮、甜菜和芝麻的6种不同溶剂提取物的总酚含量和抗氧化活性,结果发现使用高极性溶剂所获得的提取物中酚类化合物含量更高,具有更好的自由基清除效果,与本试验结果相似。

表 4 平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液中总酚、总黄酮、绿原酸和 V<sub>C</sub>含量<sup>†</sup>Table 4 Total phenols, flavonoids, chlorogenic acid and ascorbic acid content of extracts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr roots by different solvent

| 溶剂   | 提取物<br>得率/%             | 总酚含量/<br>(mg GAE · g <sup>-1</sup> ) | 总黄酮含量/<br>(mg QE · g <sup>-1</sup> ) | 绿原酸含量/<br>(mg · g <sup>-1</sup> ) | V <sub>C</sub> 含量/<br>(μg · g <sup>-1</sup> ) |
|------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 蒸馏水  | 24.44±0.61 <sup>f</sup> | 6.91±1.03 <sup>e</sup>               | 2.64±0.17 <sup>e</sup>               | 2.39±0.13 <sup>f</sup>            | 7.22±0.02 <sup>f</sup>                        |
| 甲醇   | 6.67±0.23 <sup>c</sup>  | 5.12±0.35 <sup>f</sup>               | 1.15±0.97 <sup>f</sup>               | 2.56±0.12 <sup>e</sup>            | 4.13±0.57 <sup>d</sup>                        |
| 无水乙醇 | 0.06±0.31 <sup>a</sup>  | 3.65±0.23 <sup>e</sup>               | 0.43±0.21 <sup>c</sup>               | 1.81±0.41 <sup>e</sup>            | 3.86±0.77 <sup>c</sup>                        |
| 丙酮   | 11.24±0.28 <sup>e</sup> | 2.34±0.78 <sup>d</sup>               | 0.51±0.30 <sup>d</sup>               | 1.45±0.31 <sup>d</sup>            | 5.76±0.22 <sup>e</sup>                        |
| 正丁醇  | 6.67±0.12 <sup>c</sup>  | 0.71±0.21 <sup>b</sup>               | 0.20±0.70 <sup>b</sup>               | 0.73±0.23 <sup>a</sup>            | 0.59±0.63 <sup>a</sup>                        |
| 乙酸乙酯 | 8.56±0.14 <sup>d</sup>  | 0.93±0.33 <sup>e</sup>               | 0.63±0.42 <sup>e</sup>               | 1.36±0.21 <sup>c</sup>            | 3.79±0.35 <sup>c</sup>                        |
| 三氯甲烷 | 5.56±0.65 <sup>b</sup>  | 0.56±0.43 <sup>a</sup>               | 0.11±0.13 <sup>a</sup>               | 1.21±0.14 <sup>b</sup>            | 2.19±0.12 <sup>b</sup>                        |

† 同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 5 平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液的抗氧化活性(TEAC值)<sup>†</sup>Table 5 Antioxidant value of extracts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr roots by different solvent

| 溶剂   | FRAP                    | DPPH                    | ABTS                    |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 蒸馏水  | 21.25±0.45 <sup>f</sup> | 35.27±0.24 <sup>d</sup> | 56.20±0.21 <sup>f</sup> |
| 甲醇   | 17.98±0.27 <sup>e</sup> | 42.22±0.35 <sup>e</sup> | 54.45±0.16 <sup>e</sup> |
| 无水乙醇 | 3.12±0.21 <sup>c</sup>  | 11.73±0.17 <sup>b</sup> | 17.92±0.13 <sup>c</sup> |
| 丙酮   | 3.83±0.15 <sup>d</sup>  | 11.87±0.21 <sup>b</sup> | 34.80±0.24 <sup>d</sup> |
| 正丁醇  | 1.37±0.12 <sup>b</sup>  | 2.79±0.18 <sup>a</sup>  | 3.53±0.19 <sup>b</sup>  |
| 乙酸乙酯 | 3.54±0.21 <sup>cd</sup> | 17.17±0.23 <sup>c</sup> | 13.54±0.31 <sup>b</sup> |
| 三氯甲烷 | 0.13±0.03 <sup>a</sup>  | 3.20±0.14 <sup>a</sup>  | 3.25±0.32 <sup>a</sup>  |

† 同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

由表 5 可知,平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液抗氧化能力存在显著性差异(P<0.05)。FRAP 法和 ABTS 法检测结果显示水提物抗氧化能力最强,TEAC 值分别达到(21.25±0.45),(56.20±0.21) μg/mL,甲醇次之,正丁醇和三氯甲烷最弱。DPPH 法测定结果表明甲醇提取物抗氧化能力最强,TEAC 值为(42.22±0.35) μg/mL,水提物次之,正丁醇和三氯甲烷最弱。

由表 6 可知,3 种抗氧化活性检测方法之间呈极显著相

关(P<0.01)。FRAP 法与 DPPH 法和 ABTS 法的相关系数 R 分别为 0.948 和 0.927,DPPH 法与 ABTS 法之间的相关系数 R 为 0.915。此 3 种检测方法能基本一致地反映平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液的抗氧化活性大小。

平卧菊三七植株根部绿原酸含量与 DPPH 法、FRAP 法和 ABTS 法检测的抗氧化活性间呈极显著相关,相关系数 R 分别为 0.927,0.887,0.900。这与金莹等<sup>[28]</sup>发现苹果多酚中绿原酸是清除 DPPH 自由基的主要活性物质的结果是一致的。由此证明绿原酸含量对平卧菊三七的抗氧化能力的贡献很大。平卧菊三七植株根部不同溶剂提取液中总酚含量与 FRAP 法和 ABTS 法检测的抗氧化活性间呈极显著相关(相关系数 R 为 0.919,0.907),与 DPPH 检测结果间呈显著相关(相关系数 R 为 0.848)。这说明平卧菊三七根部的总酚含量可能是其有较强抗氧化活性的重要原因之一。平卧菊三七植株根部总黄酮含量与 FRAP 法检测结果间呈极显著相关(R=0.915),与 DPPH 法和 ABTS 法之间呈显著相关(R=0.793 和 0.823)。由此说明总黄酮含量对平卧菊三七的抗氧化能力有较大贡献。这与曹清明等<sup>[29]</sup>发现油茶叶黄酮具有很强的 DPPH ·、ABTS<sup>+</sup>清除活性结果相类似。平卧菊三七植株根部 V<sub>C</sub>含量与 FRAP 法和 DPPH 法检测结果间的呈不显著相关,相关系数分别为 0.670 和 0.637。这说明 V<sub>C</sub>不是平卧菊三七植株根部抗氧化活性的主要成分,但 V<sub>C</sub>对抗氧化活性具有一定的辅助协同作用。

表 6 平卧菊三七根部生物活性成分与抗氧化能力之间的相关性<sup>†</sup>Table 6 Correlation between bioactive ingredient and antioxidant capacity of extracts of *Gynura procumbens* (Lour.) Merr roots

| 指标     | DPPH 法   | ABTS 法   | 总酚含量     | 总黄酮含量    | 绿原酸含量    | V <sub>C</sub> 含量 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| FRAP 法 | 0.948 ** | 0.927 ** | 0.919 ** | 0.915 ** | 0.887 ** | 0.670             |
| DPPH 法 |          | 0.915 ** | 0.848 *  | 0.793 *  | 0.927 ** | 0.637             |
| ABTS 法 |          |          | 0.907 ** | 0.823 *  | 0.900 ** | 0.810 *           |
| 总酚含量   |          |          |          | 0.974 ** | 0.683    | 0.758 *           |
| 总黄酮含量  |          |          |          |          | 0.753    | 0.774 *           |
| 绿原酸含量  |          |          |          |          |          | 0.717             |

† \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

### 3 结论

整株含有丰富的生物活性成分对平卧菊三七不同部位的营养价值作出对比研究后发现:根部利用价值较高,总酚、总黄酮、绿原酸和  $V_c$  含量分别达到  $(25.96 \pm 1.23)$  mg/g、 $(2.16 \pm 0.37)$  mg/g、 $(2.43 \pm 0.07)$  mg/g、 $(0.39 \pm 0.02)$   $\mu$ g/g。不同的干燥方式对平卧菊三七植株根部的生物活性成分含量有显著性影响,其中以冷冻干燥和  $60^\circ\text{C}$  热风干燥所获得的根部提取液具有最高的抗氧化活性。热风干燥温度越高,酚类化合物和黄酮类化合物破坏越大,抗氧化活性越低。溶剂不同将影响平卧菊三七植株根部提取液的生物活性物质含量,使用蒸馏水等极性较高的溶剂作为溶剂能获得更高含量的酚类化合物,具有更好的自由基清除效果。平卧菊三七植株的抗氧化活性(FRAP法、DPPH法和ABTS法)与其总酚含量显著相关(相关系数  $R$  分别为 0.919, 0.848, 0.907),与总黄酮含量有较强相关性(相关系数  $R$  分别为 0.915, 0.793, 0.823),与绿原酸含量显著相关(相关系数  $R$  分别为 0.887, 0.927, 0.900),与  $V_c$  含量相关性较低。

本研究利用平卧菊三七验证了前人对于酚类物质与抗氧化性之间的显著相关性的研究结果。但本研究的提取方法存在一定的缺陷,并未将结合态的酚类物质提取完全。

#### 参考文献

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志: 第 77 卷 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 322.
- [2] KIM J, LEE C W, KIM E K, et al. Inhibition effect of *Gynura procumbens* extract on UV-B-induced matrix-metalloproteinase expression in human dermal fibroblasts[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, 137(1): 427-33.
- [3] KIM M J, LEE H J, WIRYOWIDAGDO S, et al. Antihypertensive effects of *Gynura procumbens* extract in spontaneously hypertensive rats[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2006, 9(4): 587-590.
- [4] HUANG Wu-yang, CAI Yi-zhong, ZHANG Yan-bo. Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: potential use for cancer prevention[J]. *Nutrition & Cancer*, 2010, 62(1): 1-20.
- [5] 钟琼芯. 海南岛菊三七属药用植物资源调查[J]. 海南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 14(2): 42-44.
- [7] PUANGPRONPITAG D, CHAICHANADEE S, SITTIWET C, et al. Evaluation of nutritional value and antioxidative properties of the medicinal plant *Gynura procumbens* extract[J]. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2010, 9(3): 146-151.
- [8] 朱玉婷, 廖为明, 郑国栋, 等. 平卧菊三七中绿原酸提取及纯化工艺的优化[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(19): 4 348-4 351.
- [9] 叶芝红, 赵艳, 朱艳萍, 等. 响应面法优化微波辅助提取平卧菊三七三萜的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 291-295.
- [10] 郑国栋, 林乐珍, 黎冬明. 微波辅助提取平卧菊三七中总黄酮的工艺研究[J]. 江苏农业科学, 2015(8): 279-281.
- [11] 叶芝红, 林乐珍, 熊红霞, 等. 超声波提取平卧菊三七总三萜的工艺研究[J]. 食品工业, 2016(2): 10-13.
- [12] 门凤麟, 王英锋, 祝翔. 平卧菊三七提取物降血糖实验研究[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2015, 36(2): 39-42.
- [13] 郑国栋, 钟树生, 张清峰, 等. 平卧菊三七对小鼠血糖及血脂的影响[J]. 现代食品科技, 2013(12): 2 800-2 804.
- [14] 郑国栋, 帅丽乔娃, 黎冬明, 等. 平卧菊三七提取及抗菌作用的研究[J]. 食品科技, 2014(4): 218-221.
- [15] KAEWSEEJAN N, SUTTHIKHUM V, SIRIAMORN PUN S. Potential of *Gynura procumbens* leaves as source of flavonoid-enriched fractions with enhanced antioxidant capacity [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 12: 120-128.
- [16] SU Dong-xiao, ZHANG Rui-fen, HOU Fang-li, et al. Comparison of the free and bound phenolic profiles and cellular antioxidant activities of litchi pulp extracts from different solvents[J]. *Bmc Complementary & Alternative Medicine*, 2014, 14(1): 1-10.
- [17] ANAIDU M M, SHYAMALA B N, NAIK J P, et al. Chemical composition and antioxidant activity of the husk and endosperm of fenugreek seeds[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2011, 44(2): 451-456.
- [18] ABU BAKAR M F, MOHAMED M, RAHMAT A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(2): 479-483.
- [19] KIM D O, JEONG S W, LEE C Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(3): 321-326.
- [20] 胡鲜宝, 吕加平, 刘鹭, 等. 葵花粕中绿原酸检测方法的建立 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 341-343.
- [21] 向福, 刘亮, 秦婷, 等. 罗田金银花叶中绿原酸的提取工艺改进 [J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 150-152.
- [22] 韦献雅, 殷丽琴, 钟成, 等. DPPH 法评价抗氧化活性研究进展 [J]. 食品科学, 2014, 35(9): 317-322.
- [23] 孙术国, 杨涛, 林亲录, 等. 加工方式对稻米抗氧化性的影响 [J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 132-134.
- [24] KRISHNAN V, AHMAD S, MAHMOOD M. Antioxidant-potential in different parts and callus of *Gynura procumbens* and different parts of *Gynura bicolor* [J]. *Biomed Research International*, 2015(6): 1-7.
- [25] JALEEL C A. Antioxidant profile changes in leaf and root tissues of *Withania somnifera* Dunal [J]. *Plant Omics*, 2009, 2(4): 163-168.
- [26] 尚红梅, 郭玮, 潘丹, 等. 干燥方式对菊苣根多酚含量和抗氧化活性的影响 [J]. 食品科学, 2015, 36(1): 84-88.
- [27] MOHDALY A A, SARHAN M A, SMETANSKA I, et al. Antioxidant properties of various solvent extracts of potato peel, sugar beet pulp and sesame cake [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 90(2): 218-226.
- [28] 金莹. 苹果多酚的超声波提取及其抗氧化性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006: 49-50.
- [29] 曹清明, 郭靖宇, 钟海雁, 等. 油茶叶中黄酮的超声辅助提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 162-166.