

# 贵州狐臭柴不同部位提取物及其抗氧化活性

Flavonoid constituents and antioxidant activities of crude ethanolic extracts from different tissues of *Premna puberula* Pamb. in Guizhou

杨宁线<sup>1,2</sup>阳 娇<sup>2</sup>王艳秋<sup>2</sup>张明生<sup>2</sup>YANG Ning-xian<sup>1,2</sup> YANG Jiao<sup>2</sup> WANG Yan-qi<sup>2</sup> ZHANG Ming-sheng<sup>2</sup>

(1. 贵阳护理职业学院药系, 贵州 贵阳 550081; 2. 贵州大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550025)

(1. Guiyang Nursing Vocational College, Department of Pharmacy, Guiyang, Guizhou 550081, China;

2. School of Life Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**摘要:**目的:丰富天然抗氧化剂的来源。方法:以贵州地区的狐臭柴(*Premna puberula* Pamb.)为原料,超声提取并检测了根、茎、叶中总酚和总黄酮含量,比较了根、茎、叶中柚皮素、芹菜素、芦丁、槲皮素 4 种黄酮类成分含量,测定了提取物对 DPPH 自由基和 ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除能力。结果:狐臭柴根、茎、叶中总酚含量分别为 3.26, 9.58, 30.05 mg/g, 总黄酮含量分别为 0.22, 0.58, 6.54 mg/g, 芦丁和芹菜素含量依次为茎>根>叶。各组织提取物的抗氧化活性均随浓度的升高而增强,与总酚、总黄酮含量呈正相关,其中叶提取物的抗氧化活性最强,当叶质量浓度为 0.1 mg/mL 时, DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率分别为 82.5%, 81.9%, 与维生素 C 的总还原力接近。结论:狐臭柴具有良好的抗氧化活性。

**关键词:**狐臭柴;总酚;黄酮类;抗氧化活性

**Abstract: Objective:** To enrich natural sources of antioxidants.

**Methods:** The scavenging ability of DPPH and ABTS<sup>+</sup> of extracts from Guizhou *Premna puberula* Pamb. was detected by ultrasonic extraction of total phenols and total flavonoids from roots, stems and leaves. **Results:** All the tissues had certain antioxidant activity and the antioxidant activity of leaves was the strongest, which was positively correlated with the contents of total phenols and total flavonoids. When the mass concentration was 0.1 mg/mL, the DPPH radical scavenging rate of leaves could reach 82.5%, which was close to the total reducing power of V<sub>C</sub>. **Conclusion:** It indicated that *P. puberula* has good antiox-

idant activity.

**Keywords:** *Premna puberula* Pamb.; polyphenols; flavonoids; antioxidant activity

过量自由基的产生是人体疾病发生的重要原因,抗氧化性物质可通过抑制氧自由基反应的发生来保护生物大分子如脂质、蛋白质及 DNA<sup>[1-2]</sup>等,从而防止许多疾病的发生。虽然有许多人工合成的抗氧化物质,但因安全性和潜在的毒性等不足,合成的抗氧化剂使用范围受到了较多限制<sup>[3]</sup>。因此,近年来从植物中寻找安全性更高的天然抗氧化物质,引起了许多研究者的关注<sup>[4-5]</sup>。研究<sup>[6-8]</sup>表明,一些药用植物中的多酚、黄酮等化合物具有显著的抗菌、抗衰老、抗肿瘤、抗氧化和抗病毒等生物活性。

狐臭柴(*Premna puberula* Pamb.)系马鞭草科豆腐柴属植物,其叶片含蛋白质、果胶、过氧化物酶等多种营养成分,可用于食品、化工、医药等行业<sup>[9-11]</sup>。目前关于该植物的研究多集中在植株的生长发育,神仙豆腐的制作及营养保健功能,果胶提取工艺的优化及不同干燥方式对结构的影响等方面<sup>[12-15]</sup>。仅有李永琴<sup>[16]</sup>报道过狐臭柴的总酚和总黄酮含量,然而对黄酮类成分的种类、各成分含量及抗氧化活性等的研究尚未见报道。文章拟研究贵州地区狐臭柴总酚和总黄酮成分、含量及抗氧化活性,分析各成分与抗氧化能力的相关性,以期为食品天然抗氧化剂的开发提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

狐臭柴:贵州大学农旅研学实验示范基地;

柚皮素、芹菜素、芦丁、槲皮素标品:北京索莱宝科技有限公司;

没食子酸、维生素 C 标品:上海源叶生物科技有限公司;

**基金项目:**国家重点研发计划课题(编号:2016YFC0502604);贵州省科技计划重大专项课题(编号:黔科合平台人才[2017]5411-06);贵州省中药材现代产业技术体系建设项目(编号:GZCYTX-02);贵州省教育厅课题资助项目(编号:黔教民发[2015]131号)

**作者简介:**杨宁线,女,贵阳护理职业学院副教授,在读博士。

**通信作者:**张明生(1963—),男,贵州大学教授,博士生导师,博士。E-mail:mszhang@gzu.edu.cn

**收稿日期:**2021-04-03

DPPH、ABTS:分析醇,生工生物工程股份有限公司;  
甲醇、磷酸等:色谱纯,天津市富宇精细化工有限公司。

### 1.1.2 主要仪器设备

高效液相色谱仪:Agilent 1260 型,美国安捷伦科技有限公司;

酶标仪:SpectraMax Versamax 型,美国美谷分子仪器有限公司;

紫外分光光度计:UV-6000SE 型,上海元析仪器有限公司;

超声波细胞破碎仪:1030HT 型,南京舜玛仪器设备有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-3A 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

冷冻离心机:H4-20KR 型,湖南可成仪器设备有限公司;

粉碎机:JY-100 型,浙江省永康市象珠松青五金厂;

分析天平:BSM-220.4 型,上海电子科技有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 样品的制备 样品采集于 2020 年 7 月 28 日,随机选取 5 株植物,选取生长状况良好的根(主根)、茎(主枝条的茎段)、叶(顶端向下第 3 枝的前 3 对叶片)3 个部位,清洗后分别于 50 ℃ 烘干至恒重,粉碎过 60 目筛,密封,4 ℃ 贮藏备用。

### 1.2.2 总酚提取

(1) 提取工艺:参照文献[16]并修改。料液比( $m_{\text{样品}}:V_{\text{提取剂}}$ )1:25 (g/mL)、超声时间 60 min、提取温度 60 ℃、4 200 r/min 离心 10 min,上清液定容至 50 mL,测定 720 nm 处吸光度。

(2) 总酚含量测定:参照文献[17],标准曲线方程为  $y=0.0091x+0.0032$ ,  $R^2=0.9991$ 。

### 1.2.3 总黄酮的提取

(1) 提取工艺:参照文献[18]。

(2) 总黄酮含量测定:参照文献[19],标准曲线方程为  $y=0.0119x-0.0013$ ,  $R^2=0.9990$ 。

### 1.2.4 黄酮类化学成分及含量测定

(1) 对照品溶液的制备:参照文献[19]并修改。用甲醇溶液配制质量浓度分别为 1 080 μg/mL 的芦丁、1 120 μg/mL 的柚皮素、1 550 μg/mL 的槲皮素、1 030 μg/mL 的芹菜素标准品溶液,等比稀释为梯度质量浓度的对照品溶液。

(2) 供试品溶液的制备:参照文献[17],充分摇匀后微孔滤膜过滤。

(3) 色谱条件:参照文献[9]并修改。色谱柱为 capcell pak C<sub>18</sub> (250 mm×4.6 mm, 5 μm),以甲醇溶液为流动相 A,以 0.05% 磷酸溶液为流动相 B 进行梯度洗脱:0~23 min, 50% A; 23~28 min, 100% A; 28~50 min,

100% A; 体积流量 0.9 mL/min, 槲皮素检测波长为 256, 372 nm, 芦丁检测波长为 256, 356 nm, 芹菜素检测波长为 268, 340 nm, 柚皮素检测波长为 290 nm, 柱温 30 ℃, 进样量 10 μL。

(4) 标准曲线:参照文献[16]并修改。芹菜素的线性方程为  $y=89.041x-4.762$ ,  $r=0.9990$ , 芦丁的线性方程为  $y=15.236x+39.302$ ,  $r=0.9991$ , 未检测出柚皮素和槲皮素两种黄酮类成分。

### 1.2.5 抗氧化试验

(1) DPPH 自由基清除能力:参照文献[20]。

(2) ABTS<sup>+</sup> 自由基清除能力:参照文献[21]。

1.2.6 数据分析 所有试验重复 3 次,结果用平均数±标准差表示,采用 Origin 2018 软件作图,SPSS 23.0 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 含量分析

2.1.1 总酚及总黄酮含量 由表 1 可知,狐臭柴根、茎、叶中总酚及总黄酮含量差异显著 ( $P<0.05$ ),其中叶片总酚含量最高为 30.05 mg/g,约为茎、根中的 3 倍和 9 倍;总黄酮和总酚含量的变化趋势相同,依次为叶>茎>根,其中叶中总黄酮含量为  $(6.54\pm0.17)$  mg/g,约为茎中的 10 倍,这是因为黄酮类是植物的次生代谢产物,常作为主要成分在高等植物的根、茎、叶普遍存在<sup>[22]</sup>。这与李永琴等<sup>[18]</sup>的报道基本一致,说明狐臭柴总酚和总黄酮含量较高,且叶中的总酚和总黄酮含量显著高于茎的。

2.1.2 黄酮类成分 狐臭柴根、茎、叶不同部位中黄酮成分的高效液相色谱图见图 1,各成分含量见表 2。由表 2 可知,狐臭柴中芦丁和芹菜素含量分布依次为茎>根>叶,根、茎、叶中芦丁质量分数分别为  $(25.68\pm0.21)\%$ 、 $(74.42\pm0.32)\%$ 、 $(2.28\pm0.03)\%$ ,芹菜素质量分数分别为  $(0.24\pm0.02)\%$ 、 $(0.35\pm0.02)\%$ 、 $(0.14\pm0.01)\%$ ,各组织器官间均有显著性差异 ( $P<0.05$ ),可能与植物根、茎中次生代谢产物丰富有关<sup>[22]</sup>,但是未检测出槲皮素和柚皮素,可能是这两种成分含量太低引起的,与范超敏等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。

### 2.2 抗氧化活性分析

2.2.1 OH 自由基清除能力 由图 2 可知,狐臭柴中总黄酮的抗氧化能力依次为叶>茎>根,当样品质量浓度

表 1 狐臭柴不同部位总酚及总黄酮含量<sup>†</sup>

Table 1 Total polyphenol and flavonoid contents in different tissues of *P. puberula* mg/g

| 部位 | 总酚               | 总黄酮             |
|----|------------------|-----------------|
| 根  | $3.26\pm0.10^a$  | $0.22\pm0.01^a$ |
| 茎  | $9.58\pm0.22^b$  | $0.58\pm0.03^b$ |
| 叶  | $30.05\pm0.35^c$ | $6.54\pm0.17^c$ |

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

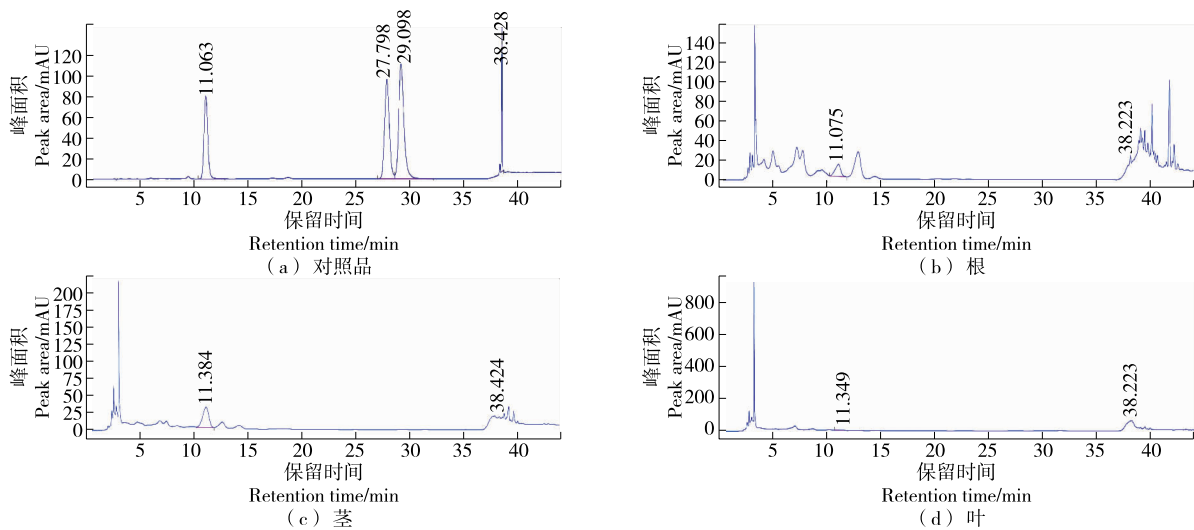


图 1 狐臭柴根、茎、叶黄酮成分的高效液相图谱

Figure 1 High performance liquid chromatogram of flavonoids in roots, stems and leaves of *P. puberula*

表 2 狐臭柴不同部位黄酮类化学成分含量<sup>†</sup>

Table 2 The flavonoids contents in different tissues of *P. puberula* %

| 部位 | 芦丁                      | 芹菜素                    | 总含量                     |
|----|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 根  | 25.68±0.21 <sup>b</sup> | 0.24±0.02 <sup>b</sup> | 25.92±0.20 <sup>b</sup> |
| 茎  | 74.42±0.32 <sup>c</sup> | 0.35±0.02 <sup>c</sup> | 74.77±0.41 <sup>c</sup> |
| 叶  | 2.28±0.03 <sup>a</sup>  | 0.14±0.01 <sup>a</sup> | 2.42±0.03 <sup>a</sup>  |

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

为 0.1 mg/mL 时,狐臭柴叶的 DPPH 自由基清除率为 82.5%。这是因为 DPPH 自由基在 517 nm 处有比较稳定的特征吸收峰,常用于评价抗氧化成分的自由基清除能力<sup>[24]</sup>。

总黄酮的  $IC_{50}$  值与抗氧化活性呈反比, $IC_{50}$  值越小,样品的抗氧化能力越强<sup>[25]</sup>。由图 3 可知,维生素 C 与根、茎、叶的  $IC_{50}$  值相比具有显著性差异,狐臭柴根、茎、叶的  $IC_{50}$  值分别为  $(23.38 \pm 0.14)$ ,  $(8.21 \pm 0.09)$ ,  $(1.13 \pm 0.06)$  mg/mL,维生素 C 的  $IC_{50}$  为  $(0.16 \pm 0.04)$  mg/mL,

是因为抗氧化活性与黄酮类成分有较大关系,而狐臭柴具有强的抗氧化活性。谢娟平等<sup>[26]</sup>研究发现豆腐柴叶的抗氧化能力约为商陆叶的 16 倍,且同种植物的叶比根的抗氧化能力强。综上,狐臭柴叶的抗氧化能力最强,且其半数清除率高于大蒜乙酸乙酯萃取物的<sup>[27]</sup>。

2.2.2 清除  $ABTS^+$  自由基能力 由图 4 可知,狐臭柴对  $ABTS^+$  自由基的清除能力为叶>茎>根。黄酮类成分结构中存在多个酚羟基,能提供大量电子,可以将多种自由基转化为稳定的结构并进一步中断反应,从而起到抗氧化作用<sup>[4]</sup>。因此,狐臭柴叶的抗氧化活性最强,且该部位总酚及总黄酮的含量最高,推测狐臭柴的抗氧化活性可能与总酚及总黄酮的含量有关。

2.3 主成分分析

运用 SPSS 23.0 软件以总酚、总黄酮、芦丁、芹菜素含量、DPPH 自由基清除能力、 $ABTS^+$  自由基清除能力 6 个指标为变量,对狐臭柴不同组织进行主成分分析,结果见表 3。由表 3 可知,主成分 1 个的特征值>1,且其方差贡

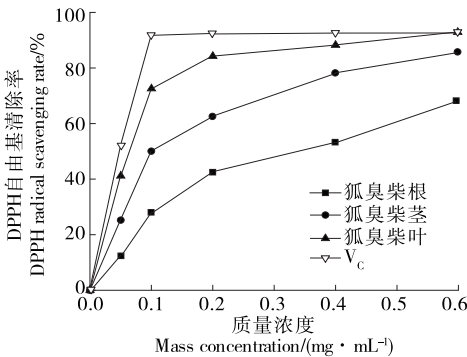


图 2 狐臭柴不同部位对 DPPH 自由基的清除率

Figure 2 DPPH · removal effects of different tissues in *P. puberula*

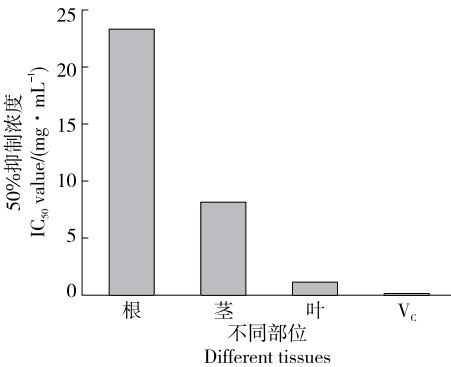


图 3 狐臭柴不同部位与阳性对照维生素 C 的  $IC_{50}$  值

Figure 3 Comparison of  $IC_{50}$  between different tissues in *P. puberula* and positive control  $V_c$

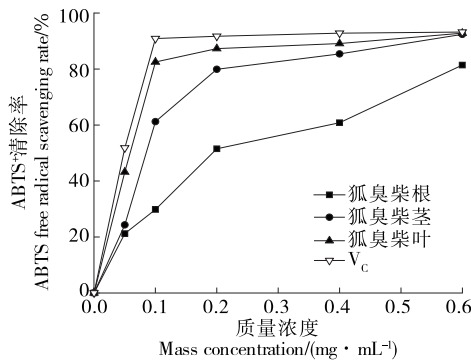


图4 狐臭柴不同部位对ABTS<sup>+</sup>自由基的清除作用  
Figure 4 ABTS<sup>+</sup> · removal effects of different tissues in *P. puberula*

献率为86.46%，基本涵盖了6个指标的86%以上的数据信息。

由表4可知，第1主成分为总黄酮含量，ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力与总酚含量有较大的得分系数，这与抗氧化

表3 各成分的特征值、方差及累计贡献率  
Table 3 The eigenvalue, variance and cumulative contribution rate of each component

| 成分     | 初始特征值     |           |         |
|--------|-----------|-----------|---------|
|        | 合计        | 方差贡献率/%   | 累积贡献率/% |
| 1      | 5.19      | 86.46     | 86.46   |
| 2      | 0.81      | 13.56     | 100.00  |
| 3      | 2.08E-17  | 3.46E-16  | 100.00  |
| 4      | -1.65E-16 | -2.74E-15 | 100.00  |
| 5      | -6.74E-16 | -1.12E-14 | 100.00  |
| 6      | -9.97E-16 | -1.66E-14 | 100.00  |
| 提取的主成分 | 5.19      | 86.46     | 86.46   |

活性结果一致，因此可以将总黄酮含量、ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力和总酚含量作为评价狐臭柴根、茎、叶抗氧化活性评价的主要指标。

表4 第1主成分因子得分系数  
Table 4 Score coefficients of principal component factors

| 总酚含量  | 总黄酮含量 | 芦丁含量   | 芹菜素含量  | DPPH 自由基清除能力 | ABTS 自由基清除能力 |
|-------|-------|--------|--------|--------------|--------------|
| 0.955 | 0.992 | -0.796 | -0.888 | 0.954        | 0.979        |

3 结论

试验表明，药食兼用植物狐臭柴根、茎、叶总酚含量分别为3.26, 9.58, 30.05 mg/g，总黄酮含量分别为0.22, 0.58, 6.54 mg/g，芦丁和芹菜素含量依次为茎>根>叶。各组织的抗氧化活性均随样品质量浓度的升高而增强，且与总酚、总黄酮含量呈正相关，其中叶的抗氧化活性最强，且叶片产量大，加工方便。综上，狐臭柴具有良好的抗氧化活性。试验仅对该植物根、茎、叶的总酚和总黄酮的抗氧化活性进行了初步探究，尚未比较各成分与抗氧化能力之间的相关性，后续应重点关注其他黄酮类成分及含量，并测定黄酮类成分的体内抗氧化活性，为狐臭柴天然抗氧化剂的开发提供更充分的理论依据。

参考文献

[1] 类红梅, 罗欣, 毛衍伟, 等. 天然抗氧化剂的功能及其在肉与肉制品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 267-277.  
LEI Hong-mei, LUO Xin, MAO Yan-wei, et al. Research progress of natural antioxidant function and its application in meat and meat products[J]. Food Science, 2020, 41(21): 267-277.  
[2] 李国峰, 陈海芳, 杜文迪, 等. 超声辅助离子液体提取柚子皮总黄酮及其抗氧化研究[J]. 江西中医药大学学报, 2021, 33(1): 84-88.  
LI Guo-feng, CHEN Hai-fang, DU Wen-di, et al. Ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from grapefruit peel by ionic liquid and its antioxidant activity[J]. Journal of Jiangxi University of Chinese Medicine, 2021, 33(1): 84-88.

[3] 柳福智, 王宁. 外源海藻糖对NaCl胁迫下甘草幼苗生长及总黄酮含量的影响[J]. 中草药, 2020, 51(24): 6 345-6 353.  
LIU Fu-zhi, WANG Ning. Effects of exogenous trehalose on growth and total flavonoids content of Glycyrrhiza sinensis seedlings under NaCl stress[J]. Chinese Herbal Medicine, 2020, 51(24): 6 345-6 353.  
[4] 杜丽娟, 苏秀芳, 黄成银. 余甘子叶总黄酮的超声波法提取工艺优化及其抗氧化能力研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 185-189, 193.  
DU Li-juan, SU Xiu-fang, HUANG Cheng-yin. Study on the extraction process optimization and antioxidant activity of total flavonoids from Phyllanthus emblica by ultrasonic method [J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 185-189, 193.  
[5] 秦生华, 李珊, 凌旭彬, 等. 百香果果皮总黄酮的超声波辅助提取工艺优化及其性质研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 153-160, 166.  
QIN Sheng-hua, LI Shan, LING Xu-bin, et al. Ultrasonic-assisted extraction of total flavonoids from passion fruit pericarp and its properties[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(17): 153-160, 166.  
[6] WANG Ji-rui, LI Long-yun, TAN Jun, et al. Variations in the components and antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of Styphnolobium japonicum (L.) Schott extract during flower maturity stages[J]. Chemistry & Biodiversity, 2019, 16: e1800504.  
[7] LI Xiao, WEI Ze-liang, WANG Xing-yue, et al. Premna microphylla Turcz leaf pectin exhibited antioxidant and anti-inflammatory activities in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages[J]. Food Chemistry, 2021, 349(6 494): 129164.

- [8] YANG Ning-xian, LI Yang, XING Fei-fei, et al. Composition and structural characterization of pectin in micropropagated and conventional plants of *Premna puberula* Pamp[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 5(260): 117711.
- [9] LU Ji-ke, LI Jing-jing, JIN Rui-chong, et al. Extraction and characterization of pectin from *Premna microphylla* Turcz leaves[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 131(15): 323-328.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 65 卷第 1 分册: 马鞭草科[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 86-87.  
Flora of China Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Vol. 65, Part 1: Verbenaceae[M]. Beijing: Science Press, 1982: 86-87.
- [11] 陈鸿申, 谢国芳, 张明生, 等. 响应面法对狐臭柴鲜叶果胶提取条件的优化[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(12): 130-136.  
CHEN Hong-shen, XIE Guo-fang, ZHANG Ming-sheng, et al. Optimization of extraction conditions of pectin from fresh leaves of *Premna puberula* Pamp by response surface methodology[J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2019, 39(12): 130-136.
- [12] 张明生, 幸菲菲, 刘剑东, 等. 一种建立狐臭柴组织培养体系的方法: CN202010254075.8[P]. 2020-06-12.  
ZHANG Ming-sheng, XING Fei-fei, LIU Jian-dong, et al. A method for establishing tissue culture system of *Premna puberula* Pamp: CN202010254075.8[P]. 2020-06-12.
- [13] 张明生, 陈鸿申, 谢国芳, 等. 一种用狐臭柴干叶制作神仙豆腐的方法: CN201811354835.1[P]. 2019-01-18.  
ZHANG Ming-sheng, CHEN Hong-shen, XIE Guo-fang, et al. A method of making immortal tofu with dried leaves of *Premna puberula* Pamp: CN201811354835.1[P]. 2019-01-18.
- [14] 李扬, 杨宁线, 谢国芳, 等. Plackett-Burman 联用响应面法优化超声波-酸法提取狐臭柴果胶工艺[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(13): 210-218.  
LI Yang, YANG Ning-xian, XIE Guo-fang, et al. Optimization of ultrasonic-acid extraction of pectin by response surface methodology with Plackett-Burman[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 210-218.
- [15] 许建本, 苏秀芳, 黄妹胶, 等. 黄花草总黄酮超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 182-187.  
XU Jian-ben, SU Xiu-fang, HUANG Mei-jiao, et al. Study on the extraction and antioxidant activity of total flavonoids from *Chrysanthemum sinensis*[J]. Food & Machinery, 2020, 36(2): 182-187.
- [16] 李永琴. 贵州省豆腐柴属植物化学物质分析研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2018: 37-44.  
LI Yong-qin. Analysis of chemical substances in the *Premna* genus in Guizhou province[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2018: 37-44.
- [17] 曹福麟, 胡本祥, 彭亮, 等.  $H_2O_2$  对远志愈伤组织中总酚总黄酮含量及相关酶活性的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(20): 153-159.  
CAO Fu-lin, HU Ben-xiang, PENG Liang, et al. Effects of  $H_2O_2$  on the content of total phenols, total flavonoids and related enzymes in callus of *Radix Polygalae*[J]. Chinese Journal of Experimental Formulae, 2019, 25(20): 153-159.
- [18] 李永琴, 刘映良, 罗小菊, 等. 基于多因子指数和法的贵州省豆腐柴属植物评价[J]. 分子植物育种, 2016, 14(6): 1 631-1 636.  
LI Yong-qin, LIU Ying-liang, LUO Xiao-ju, et al. Evaluation of the *Premna* genus in Guizhou Province based on multi-factor index summation method[J]. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(6): 1 631-1 636.
- [19] 陈晨, 姜爱丽, 刘程惠, 等. UV-C 处理对鲜切‘皇冠’梨褐变的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(24): 5 081-5 090.  
CHEN Chen, JIANG Ai-li, LIU Cheng-hui, et al. Effects of UV-C treatment on Browning of fresh-cut ‘Crown’ pear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(24): 5 081-5 090.
- [20] 王苗苗, 刘宗浩, 张永, 等. 2 种新疆沙棘中黄酮, 多酚及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 51-57.  
WANG Miao-miao, LIU Zong-hao, ZHANG Yong, et al. Analysis of flavonoids, polyphenols and their antioxidant activities in two species of *Hippophae rhamnoides* from Xinjiang[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(18): 51-57.
- [21] 柯琼华, 王广, 田瑞, 等. 薇菜多糖结构及清除  $ABTS^+ \cdot$  的反应动力学分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(11): 104-112.  
KE Qiong-hua, WANG Guang, TIAN Rui, et al. Analysis on the structure and reaction kinetics of polysaccharide scavenging  $ABTS^+ \cdot$  from *Viticaria japonica*[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020, 48(11): 104-112.
- [22] 吴立军. 天然药物化学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 173-177.  
WU Li-jun. Natural pharmaceutical chemistry[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2003: 173-177.
- [23] 范超敏, 卢秀彬, 钟耕, 等. 臭黄荆叶理化组成及挥发油成分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 248-251.  
FAN Chao-min, LU Xiu-bin, ZHONG Geng, et al. Analysis on the chemical and chemical composition of leaves and volatile oil of *Vitex flavescens*[J]. Food Science, 2011, 32(8): 248-251.
- [24] 任玉琴, 付鸿博, 雷晨, 等. 欧李种质叶片类黄酮含量及不同组分特征研究[J]. 核农学报, 2021, 35(5): 1 030-1 038.  
REN Yu-qin, FU Hong-bo, LEI Chen, et al. Studies on the content of flavonoids and the characteristics of different components in leaves of *Cerasus humilis*[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(5): 1 030-1 038.
- [25] WU Ding-tao, LIU Wen, HAN Qiao-hong, et al. Extraction optimization, structural characterization, and antioxidant activities of polysaccharides from cassia Seed (*Cassia obtusifolia*) [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2019, 24(15): 156-163.
- [26] 谢娟平, 姜雄波. 5 种天然植物及其不同部位提取物抗氧化能力比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 173-176.  
XIE Juan-ping, JIANG Xiong-bo. Comparative Study on antioxidant activity of extracts from five natural plants and their different parts[J]. Food Science, 2010, 31(21): 173-176.
- [27] 葛智超, 李燕, 施文正, 等. 裸藻多糖提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 186-191.  
GE Zhi-chao, LI Yan, SHI Wen-zheng, et al. Study on the extraction process and antioxidant activity of polysaccharides from *Euglena Sanguinea* Ehr[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 186-191.