

# 石蝉草乙醇提取物除草活性初探

闫超<sup>1,2</sup>, 陈敏<sup>3</sup>, 周颖<sup>4</sup>, 刘霞<sup>1,2</sup>,  
叶火春<sup>1,2</sup>, 张静<sup>1,2</sup>, 冯岗<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 570100; 2. 农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海口 570100; 3. 海南大学热带农林学院, 海口 570100; 4. 黑龙江八一农垦大学, 大庆 163319)

**摘要** 为探明石蝉草是否具有除草活性,本研究采用小杯法和盆栽试验法测定石蝉草乙醇提取物对13种植物的除草活性。结果表明,石蝉草乙醇提取物对13种植物的根茎生长均有抑制作用,对苘麻和稗草根长的抑制中浓度 $IC_{50}$ 分别为0.73和0.80 mg/mL,对茎长的 $IC_{50}$ 分别为0.77和0.89 mg/mL;盆栽试验表明,5 mg/mL浓度对稗草和苘麻7 d的防治效果分别为90.73%和82.02%,与对照药剂癸酸无显著性差异。研究结果为研发新型除草剂提供了新思路。

**关键词** 石蝉草; 乙醇提取物; 除草活性

**中图分类号:** S 451 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017275

## Herbicidal activity of the ethanol extracts from *Peperomia dindygulensis*

YAN Chao<sup>1,2</sup>, CHEN Min<sup>3</sup>, ZHOU Ying<sup>4</sup>, LIU Xia<sup>1,2</sup>,  
YE Huochun<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing<sup>1,2</sup>, FENG Gang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Environment and Plant Protection, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, China; 2. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Haikou 570100, China; 3. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570100, China; 4. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

**Abstract** The herbicidal activities of the ethanol extracts from *Peperomia dindygulensis* were evaluated on 13 species of weed plants. The results showed that the extracts had a strong inhibition effect to the roots and the stems of all the plants. The  $IC_{50}$  values of ethanol extracts on roots length were 0.73 and 0.80 mg/mL against *Abutilon theophrasti* and *Echinochloa crusgalli*, and the  $IC_{50}$  values on stems length were 0.77 and 0.89 mg/mL, respectively. Pot experiments indicated that the inhibition rates were 82.02% and 90.73%, respectively, after 7 days at a concentration of 5 mg/mL against *A. theophrasti* and *E. crusgalli*, which has no significant difference with the control herbicide decanoic acid. The results provide a new way for further research on the development of new herbicides.

**Key words** *Peperomia dindygulensis*; ethanol extracts; herbicidal activity

采用化学除草剂除草是农田杂草管理中的主要手段。由于少耕农业技术在种植时对除草剂高度依赖,除草剂品种呈现单一化,目前全世界已有188种杂草的324个生物型对19类化学除草剂产生了抗药性,导致药效降低、用药量增加<sup>[1-4]</sup>。在利用化学除草剂防除杂草的同时,除草剂也对环境和人类健康产生了严重威胁<sup>[5-7]</sup>。因此,研制高效、低毒的新型除草剂已成为市场急需,发展绿色除草剂特别是

生物除草剂是缓解这一矛盾的重要途径之一。

石蝉草 *Peperomia dindygulensis* Miq. 系胡椒科草胡椒属植物,分布于我国南方各省区,具有清热解毒、祛瘀散结、利水消肿的功效<sup>[8]</sup>。石蝉草的化学成分主要为断链木脂素类、四氢呋喃木脂素类、黄酮苷及其苷元等<sup>[9-14]</sup>。目前国内外对石蝉草的活性研究多集中在医学方面<sup>[9, 15-20]</sup>,而有关石蝉草的除草活性未见报道。项目组前期筛选发现石蝉草提取物

收稿日期: 2017-07-27

修订日期: 2017-09-25

基金项目: 国家重点研发计划(SQ2017ZY060121);中央级公益性科研院所基本科研业务费(2013hzslJ002);海南省重点研发项目(SQ2017SHFZ0023)

\* 通信作者 E-mail: feng8513@sina.com

具有较强的除草活性,为进一步明确其作用谱,本研究以石蝉草为研究对象,以 13 种植物为供试材料,通过植株根茎生长抑制和鲜重抑制试验对石蝉草乙醇提取物的除草活性进行了筛选评价,现将研究结果报道如下。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试植物

石蝉草 *Peperomia dindygulensis* Miq. 整株采自广西壮族自治区百色市靖西县,东经  $105^{\circ}56'$ ~ $106^{\circ}48'$ ,北纬  $22^{\circ}51'$ ~ $23^{\circ}34'$ 。经中国热带农业科学院环境与植物保护研究所程汉亨助理研究员鉴定。

供试种子:藜 *Chenopodium album* L.、千金子 *Leptochloa chinensis* (L.) Nees、马唐 *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.、水田稗 *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch. 和牛筋草 *Eleusine indica* (L.) Gaertn. 由山东农业大学杂草实验室馈赠,小麦 *Triticum aestivum* L.、高粱 *Sorghum bicolor* (L.) Moench、樱桃萝卜 *Raphanus sativus* L. var. *radculus*、稗 *Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.、红满堂萝卜 *Raphanus sativus* L.、生菜 *Lactuca sativa* L.、苘麻 *Abutilon theophrasti* Medicus、苋菜 *Amaranthus tricolor* 均购自海口种子市场。

### 1.2 主要仪器及供试药剂

RE-2000B 型旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;GXZ 型智能光照培养箱,宁波江南仪器厂;AL204 型精密电子天平,梅特勒托利多,瑞士生产;数控超声波提取机,济宁天华超声电子仪器有限公司;HHS(0—100)型水浴锅,郑州长城科工贸有限公司;DFY400A 型微型植物粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;BBGZ-70 型电热恒温鼓风干燥箱,上海博讯医用光学器械厂;乙醇和癸酸购自上海麦克林生化科技有限公司。

### 1.3 石蝉草乙醇提取物的制备

采集新鲜的石蝉草植株,阴干后在  $50^{\circ}\text{C}$  电热恒温鼓风干燥箱中烘干,粉碎机粉碎后过 40~60 目筛,得植物干粉,密封保存,备用。称取 100 g 石蝉草干粉,用 250 mL 浓度为 99% 的乙醇浸泡 48 h 后超声提取 20 min,重复 3~5 次,直至溶剂无色。收集提取物,用旋转蒸发仪在  $(45\pm 1)^{\circ}\text{C}$  下浓缩至干,

得石蝉草乙醇提取物浸膏 6.58 g,加入相应量的乙醇配制成 100 mg/mL 母液, $4^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存。

### 1.4 石蝉草乙醇提取物对植物根茎生长的抑制作用

采用小杯法<sup>[21]</sup>。分别取 10  $\mu\text{L}$  和 100  $\mu\text{L}$  1.3 小节制备的石蝉草乙醇提取物母液用 99% 乙醇稀释成 1、10 mg/mL 的供试药液。在 50 mL 小烧杯底部放一张圆形滤纸片,放入直径为 1 mm 的玻璃球,选取 20 粒籽粒饱满、大小均一、刚露白的受体植物种子,分别加入 3 mL 浓度为 1 和 10 mg/mL 的供试药液(供试药液是以 99% 乙醇为溶剂,待乙醇充分挥发后补充 3 mL 蒸馏水);以蒸馏水为对照,在  $(27\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、 $80\%\pm 5\%$  湿度、避光条件下培养,每处理设 3 个重复。每天记录发芽种子的数量,直到种子不再萌发时测量根茎长度。

根长或茎长抑制率=[对照根长(或茎长)—处理根长(或茎长)]/对照根长(或茎长) $\times 100\%$ 。

### 1.5 石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻的毒力测定

方法同 1.4。供试植物为稗和苘麻,石蝉草乙醇提取物浓度分别配制为 0.5、1、2、5、10 mg/mL,以蒸馏水为对照。

### 1.6 石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻植株鲜重的抑制作用

参照付磊磊<sup>[22]</sup>的方法测定石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻植株鲜重的抑制作用。在长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 9 cm $\times$ 9 cm $\times$ 9 cm 的花盆中按照 1:1 的比例装入蛭石和腐殖土,将已露白的稗草和苘麻种子播种于花盆,每盆 20 粒,其上覆土 0.5 cm,用清水均匀浇灌至底部有水珠渗出,之后每 4 d 浇灌 1 次。生长环境为室温  $(27\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,光照强度为 3 800 lx,湿度为  $80\%\pm 5\%$ 。将石蝉草乙醇提取物浸膏用适量乙醇溶解,用 0.1% 吐温 80 水溶液稀释成 1、5、10 mg/mL 3 个剂量,待植株生长至 2~3 叶时,用喷瓶喷洒,喷液量为 3 mL/盆,7 d 后用称重法计算石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻鲜重的抑制作用。每处理设 3 个重复,以 0.1% 吐温 80 水溶液为空白对照,以癸酸为药剂对照(5 mg 癸酸溶解于 1 mL 99% 乙醇中)。

抑制率=(对照草的整株鲜重—处理草的整株鲜重)/对照草的整株鲜重 $\times 100\%$ 。

### 1.7 统计分析

用 Excel 进行数据的预处理和部分数据的计算,采用 SPSS 13.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 石蝉草乙醇提取物对植物根茎生长的抑制作用

石蝉草乙醇提取物对 13 种植物根茎生长均有不同程度的抑制作用(图 1~2)。浓度为 10 mg/mL 的石蝉草乙醇提取物对苘麻、稗、小麦和樱桃萝卜

4 种植物根茎生长的抑制作用较强,其中对根长的抑制率分别为 100.00%、89.76%、87.54%和 85.23%,对茎长的抑制率分别为 86.23%、85.82%、82.35%和 57.62%。低浓度下(1 mg/mL)的石蝉草乙醇提取物对苘麻、稗、樱桃萝卜、小麦等 9 种植物的根长和茎长也表现出一定的抑制作用,其中对苘麻幼苗根长和茎长的抑制率分别为 70.71%和 63.63%。

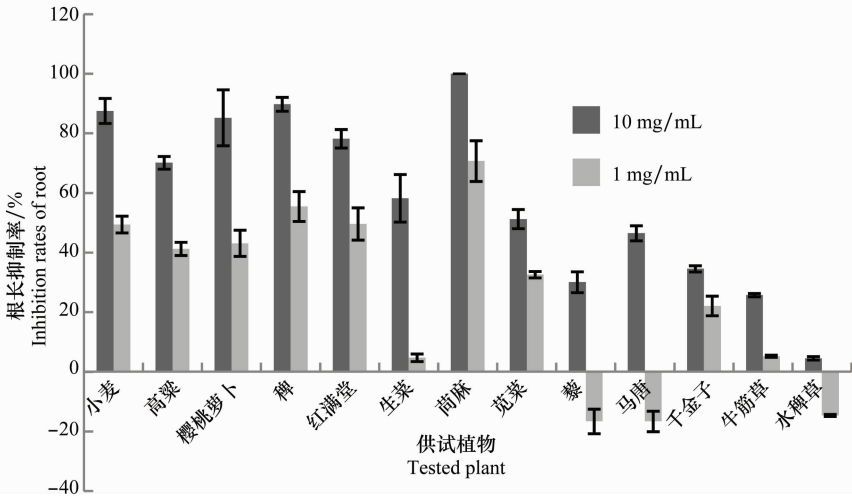


图 1 石蝉草乙醇提取物对 13 种植物根生长的影响

Fig. 1 Effect of the ethanol extracts from *Peperomia dindygulensis* on root elongation of 13 weed plants

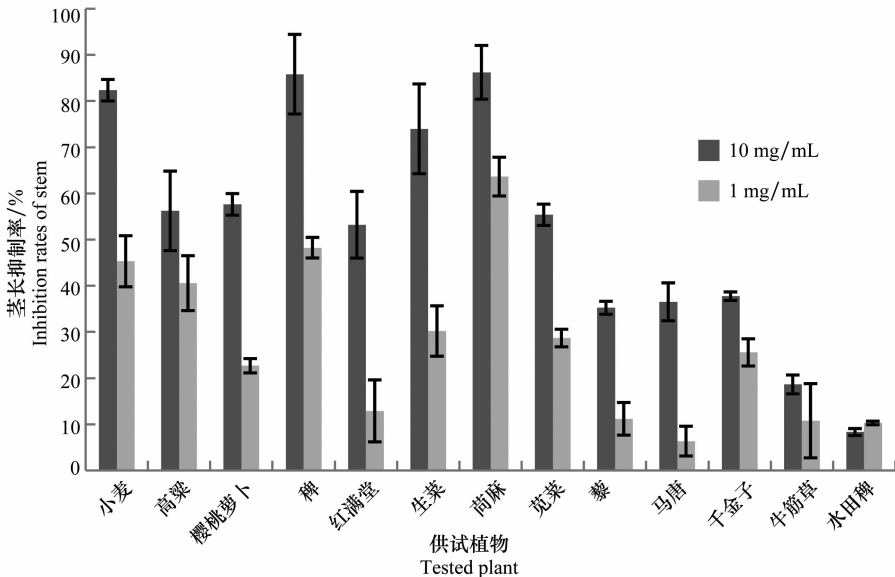


图 2 石蝉草乙醇提取物对 13 种植物茎生长的影响

Fig. 2 Effect of the ethanol extracts from *Peperomia dindygulensis* on stem elongation of 13 weed plants

2.2 石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻的毒力测定

根据 2.1 的结果,设置石蝉草提取物浓度分别为 0.5、1、2、5 和 10 mg/mL,测定其对稗和苘麻的毒力。结果表明,随着处理浓度的增高除草活性随之增强,其中以 10 mg/mL 处理组的抑制

率最高,对苘麻根、茎的抑制率分别为 89.76%和 85.82%,对稗草根、茎的抑制率分别为 95.23%和 85.26%。以几率值分析法分别对上述结果进行拟合,得石蝉草乙醇提取物对苘麻根长和茎长的 IC<sub>50</sub> 分别为 0.73 和 0.77 mg/mL,对稗草根长

和茎长的 IC<sub>50</sub> 分别为 0.80 和 0.89 mg/mL。

2.3 石蝉草乙醇提取物对稗和苘麻植株鲜重的抑制作用

石蝉草乙醇提取物对稗和苘麻的盆栽试验结果如表 2。石蝉草乙醇提取物对稗和苘麻植株有较强

的抑制作用,其中 10 mg/mL 的石蝉草乙醇提取物处理 7 d 后,稗和苘麻的单株重仅为 4.21 mg 和 12.52 mg,防治效果高达 90.73%和 82.02%。药后 7 d,10、5 mg/mL 的石蝉草乙醇提取物的作用效果与癸酸均无显著性差异。

表 1 石蝉草乙醇提取物对稗和苘麻的毒力测定<sup>1)</sup>

Table 1 Toxicity determination of the ethanol extract from *Peperomia dindygulensis* on *Abutilon theophrasti* and *Echinochloa crusgalli*

| 处理浓度/ mg · mL <sup>-1</sup><br>Concentration | 苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>                |                                               | 稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>                |                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                              | 根长抑制率/%<br>Inhibition rate of root elongation | 茎长抑制率/%<br>Inhibition rate of stem elongation | 根长抑制率/%<br>Inhibition rate of root elongation | 茎长抑制率/%<br>Inhibition rate of stem elongation |
| 10                                           | (89.76±4.31)a                                 | (85.82±1.72)a                                 | (95.23±2.13)a                                 | (85.26±2.15)a                                 |
| 5                                            | (74.41±2.48)b                                 | (78.14±2.12)b                                 | (87.89±2.48)b                                 | (75.03±1.97)b                                 |
| 2                                            | (66.78±4.02)c                                 | (75.24±1.28)c                                 | (70.71±3.94)c                                 | (63.63±2.41)c                                 |
| 1                                            | (55.47±5.01)d                                 | (48.24±1.25)d                                 | (56.36±1.28)d                                 | (49.39±1.63)d                                 |
| 0.5                                          | (45.11±4.02)e                                 | (41.90±2.04)e                                 | (36.83±4.81)e                                 | (42.64±2.42)e                                 |
| 回归方程 Regression equation                     | y=5.123 0x+1.705 4                            | y=5.049 3x+0.956 5                            | y=5.136 3x+0.995 7                            | y=5.112 5x+1.012 8                            |
| 相关系数 Correlation coefficient                 | 0.977 2                                       | 0.958 4                                       | 0.989 1                                       | 0.994 7                                       |
| 抑制中浓度(mg/mL)IC <sub>50</sub>                 | 0.73                                          | 0.77                                          | 0.80                                          | 0.89                                          |
| 95%置信限(mg/mL)                                | 0.353~1.511                                   | 0.389~1.544                                   | 0.489~1.317                                   | 0.452~1.745                                   |
| 95% confidence limit                         |                                               |                                               |                                               |                                               |

1) 各参数为平均值±标准误;同列不同字母表示 95%水平下差异显著。下同。  
Parameters in the table are mean±SE; different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 levels in different concentrations. The same below.

表 2 石蝉草乙醇提取物对稗和苘麻的防治效果(7 d)

Table 2 Herbicidal activities of the ethanol extract from *Peperomia dindygulensis* on *Abutilon theophrasti* and *Echinochloa crusgalli* (7 d)

| 药剂<br>Chemical                 | 浓度/<br>mg · mL <sup>-1</sup><br>Concentration | 稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> |                              | 苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i> |                              |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                                |                                               | 单株重/mg<br>Individual weight    | 防治效果/%<br>Control efficiency | 单株重/mg<br>Individual weight    | 防治效果/%<br>Control efficiency |
| 石蝉草乙醇提取物                       | 10                                            | (4.21±0.36)b                   | (90.73±3.21)a                | (12.52±0.75)c                  | (82.02±4.83)a                |
| Ethanol extract from           | 5                                             | (4.72±0.40)b                   | (89.62±2.82)a                | (15.96±1.08)bc                 | (77.10±3.01)ab               |
| <i>Peperomia dindygulensis</i> | 1                                             | (30.20±0.88)a                  | (33.55±2.24)b                | (52.05±1.15)a                  | (25.68±2.56)b                |
| 癸酸 Decanoic acid               | 5                                             | (4.16±0.46)b                   | (90.85±3.05)a                | (9.71±0.72)c                   | (85.67±1.82)a                |
| CK                             |                                               | 45.45±0.73                     | —                            | 69.72±0.87                     | —                            |

3 小结与讨论

本研究以稗和苘麻等 13 种植物作为供试植物,研究石蝉草乙醇提取物的除草活性。结果表明,石蝉草乙醇提取物对稗草等 13 种植株根茎生长均有一定的抑制作用,毒力测定和鲜重抑制试验中,5 mg/mL 的石蝉草乙醇提取物对苘麻和稗具有较好的除草效果,与 5 mg/mL 的对照药剂癸酸无显著性差异,说明石蝉草具有较强的除草活性,具备开发为新型植物源除草剂的潜力。

与合成除草剂相比,植物源除草剂不仅对环境友好,而且往往具有新颖的靶标和作用机制。目前,已经有 2 000 多种涉及 30 个科的植物被报道含有

除草活性的次生代谢物质<sup>[1]</sup>,其中有些已被成功开发为除草剂,如环庚草醚、假蒺苳碱等<sup>[23-25]</sup>。这些天然物质能够影响植物的萌发、生长发育及密度和分布,是研发植物源除草剂的重要库源之一<sup>[26]</sup>。石蝉草属胡椒科植物,目前已分离得到多种化合物,主要分为断联木脂素类、黄酮类和聚酮类等,活性成分主要为断联木脂素类化合物,国内外对石蝉草的研究多集中在医用活性。

Wu 等<sup>[19,27]</sup>用乙酸乙酯从石蝉草中分离得到四氢呋喃木脂素和断联木脂素等成分,活性测试结果表明部分化合物对 HepG2、VA-13 细胞的增殖有一定的抑制作用;于大永等<sup>[15]</sup>的研究表明,石蝉草乙

醇提取物对黑色素瘤 A375 细胞有明显的抑制作用; 陈立<sup>[9]</sup>研究发现,石蝉草乙醇提取物对 A549 和 Lovo 细胞的增殖也显示了一定的抑制作用,其活性成分集中在氯仿馏分段;从石蝉草中分离获取的化合物草胡椒素 A/E 具有抗肿瘤活性<sup>[16-18]</sup>。而有关石蝉草的农用除草活性经文献检索鲜有报道。

Dayan 等从胡椒科植物草拔 *Piper longum* L. 中分离而来的假蒟蒾碱(sarmentine)<sup>[23]</sup>,作为新生物除草剂活性成分已获批美国专利和商标局授予专利<sup>[28]</sup>。石蝉草与草拔同属胡椒科植物,本研究发现石蝉草乙醇提取物对稗草和苘麻有较好的除草活性,其活性部位及有效活性成分有待进一步追踪,因此可以将其作为生物除草剂的备选植物进行深入研究,该结果为丰富新型植物源除草剂奠定了基础。

## 参考文献

- [1] 强胜,陈世国. 生物除草剂研发现状及其面临的机遇与挑战[J]. 杂草科学, 2011, 29(1): 1-6.
- [2] MELLON M. Weed control: tactics to stamp out herbicide resistance[J]. Nature, 2014, 511(7510): 410.
- [3] QI Yue, YAN Bing, FU Gang, et al. Germination of seeds and seedling growth of *Amaranthus retroflexus* L. following sublethal exposure of parent plants to herbicides[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 157.
- [4] FREYDIER L, LUNDGREN J G. Unintended effects of the herbicides 2,4-D and dicamba on lady beetles[J]. Ecotoxicology, 2016, 25(6): 1270-1277.
- [5] SCHÜTTE G, ECKERSTORFER M, RASTELLI V, et al. Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants[J]. Environmental Sciences Europe, 2017, 29(5): 1-12.
- [6] ROWEN D J, TEMPLEMAN M A, KINGSFORD M J. Herbicide effects on the growth and photosynthetic efficiency of *Cassiopea maretensis* [J]. Chemosphere, 2017, 182: 143-148.
- [7] OWAGBORIAYE F O, DEDEKE G A, ADEMOLU K O, et al. Reproductive toxicity of roundup herbicide exposure in male albino rat[J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2017, 69(7): 461-468.
- [8] 广西壮族自治区中医药研究所. 广西药用植物名录[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1986: 89.
- [9] 陈立. 石蝉草化学成分及抗肿瘤活性的研究[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2007.
- [10] 陈立, 周玉, 董俊兴. 石蝉草化学成分的研究[J]. 中草药, 2007, 38(4): 491-493.
- [11] 陈立, 周玉, 董俊兴. 石蝉草中的三个新黄酮苷[J]. 药学报, 2007, 42(2): 183-186.

- [12] 陈立, 周玉, 周义龙, 等. 石蝉草中的一个新黄酮碳苷[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(7): 772-774.
- [13] 朱文君, 林梦感, 杨国红, 等. 石蝉草中两个新的聚酮类化合物[J]. 中草药, 2011, 42(3): 420-423.
- [14] LIN Menggan, YU Dehong, WANG Qiwei, et al. Secolignans with antiangiogenic activities from *Peperomia dindygulensis* [J]. Chemistry & Biodiversity, 2011, 8(5): 862-871.
- [15] 于大永, 杨秀秀, 卢轩, 等. 草胡椒属植物对人黑色素瘤 A375 细胞增殖的影响[J]. 时珍国医国药, 2016(5): 1048-1050.
- [16] WANG Xinzhi, WEN Hongmei, CHAI Chuan, et al. Determination of a natural DNMT1 inhibitor, peperomin E, in rat plasma by UFLC-MS/MS and method application in a pharmacokinetic study [J]. Biomedical Chromatography, 2017, 31(8): e3930.
- [17] WANG Xinzhi, CHENG Ying, WU Hao, et al. The natural secolignan peperomin E induces apoptosis of human gastric carcinoma cells via the mitochondrial and PI3K/Akt signaling pathways *in vitro* and *in vivo* [J]. Phytomedicine, 2016, 23(8): 818-827.
- [18] WANG Xinzhi, CHENG Ying, WANG Kuilong, et al. Peperomin E reactivates silenced tumor suppressor genes in lung cancer cells by inhibition of DNA methyltransferase [J]. Cancer Science, 2016, 107(10): 1506-1519.
- [19] WU Jianlin, LI Na, HASEGAWA T, et al. Bioactive tetrahydrofuran lignans from *Peperomia dindygulensis* [J]. Journal Natural Products, 2005, 68(11): 1656-1660.
- [20] 贾晓东. 从石蝉草中分得 5 个具有生物活性的四氢呋喃木脂素[J]. 国外医药(植物药分册), 2006, 21(5): 212.
- [21] 龚占虎, 李永国, 张金林. 马先蒿中除草活性物质的初步研究[J]. 河北农业大学学报, 2014, 37(2): 93-98.
- [22] 付磊磊. 无患子(*Sapindus mukorossi* Gaertn.)除草活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [23] DAYAN F E, OWENS D K, WATSON S B, et al. Sarmentine, a natural herbicide from *Piper* species with multiple herbicide mechanisms of action [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 222.
- [24] GROSSMANN K, HUTZLER J, TRESCH S, et al. On the mode of action of the herbicides cinmethylin and 5-benzyloxymethyl-1, 2-isoxazolines: putative inhibitors of plant tyrosine aminotransferase [J]. Pest Management Science, 2012, 68(3): 482-492.
- [25] DAYAN F E, CANTRELL C L, DUKE S O. Natural products in crop protection [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2009, 17(12): 4022-4034.
- [26] 陈世国, 强胜. 生物除草剂研究与开发的现状及未来的发展趋势[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 770-779.
- [27] WU Jianlin, LI Na, HASEGAWA T, et al. Bioactive secolignans from *Peperomia dindygulensis* [J]. Journal Natural Products, 2006, 69(5): 790-794.
- [28] 余露. MBI 除草剂活性成分假蒟蒾碱获美国专利[J]. 农药市场信息, 2013(18): 32.

(责任编辑: 杨明丽)