



#### 4种植物叶片浸提液成分分析及其对珊瑚樱种子萌发的影响

曾红 徐永艳 邵琳亚 闻永慧 夏小丽 汪琼

#### Composition Analysis of Leaf Extract of 4 Plants and Its Effect on Seed Germination of *Solanum pseudocapsicum*

Zeng Hong, Xu Yongyan, Shao Linya, Wen Yonghui, Xia Xiaoli, Wang Qiong

引用本文:

曾红, 徐永艳, 邵琳亚, 闻永慧, 夏小丽, 汪琼. 4种植物叶片浸提液成分分析及其对珊瑚樱种子萌发的影响[J]. 西南林业大学学报, 2023, 43(4):39–46. doi: 10.11929/j.swfu.202203064

Zeng Hong, Xu Yongyan, Shao Linya, Wen Yonghui, Xia Xiaoli, Wang Qiong. Composition Analysis of Leaf Extract of 4 Plants and Its Effect on Seed Germination of *Solanum pseudocapsicum*[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2023, 43(4):39–46. doi: 10.11929/j.swfu.202203064

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202203064>

---

#### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

##### 毛竹林不同浸提液对延胡索生长指标和光合特征的影响

Effects of Different Extracts from *Phyllostachys edulis* on the Growth Index and Photosynthesis Characteristics of *Corydalis yanhusuo*  
西南林业大学学报. 2020, 40(3): 59–67 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201907047>

##### 光照和土壤对乌柏秋季叶片色素及可溶性糖的影响

Effects of Light and Soil on Pigment and Soluble Sugar in Leaves of *Sapium sebiferum*  
西南林业大学学报. 2019, 39(6): 41–48 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201903102>

##### 链格孢菌毒素对中国月季主要营养物质含量的影响

Effects of *Alternaria* Toxin on the Contents of Nutrients in *Rosa chinensis*  
西南林业大学学报. 2018, 38(3): 101–107 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.015>

##### 4个无性系杉木心材挥发性成分的GCMS分析

GCMS Analysis of Volatile Components from the Heartwoods of 4 *Cunninghamia lanceolata* Clones  
西南林业大学学报. 2021, 41(1): 110–117 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201909019>

##### 珍贵树种刺猬紫檀木材抽提物的成分分析

Composition Analysis of Extractives from Precious Tree Species *Pterocarpus erinaceus*  
西南林业大学学报. 2020, 40(6): 139–145 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202002036>

##### 青枯菌对木麻黄防御酶活性及可溶性蛋白含量的影响

Effect of *Ralstonia solanacearum* on Activities of Protective Enzymes and Soluble Protein Content in *Casuarina equisetifolia*  
西南林业大学学报. 2017, 37(3): 107–112 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.03.017>

DOI: 10.11929/j.swfu.202203064

引文格式: 曾红, 徐永艳, 邵琳亚, 等. 4种植物叶片浸提液成分分析及其对珊瑚樱种子萌发的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2023, 43(4): 39-46.

## 4种植物叶片浸提液成分分析及其对珊瑚樱种子萌发的影响

曾红 徐永艳 邵琳亚 闻永慧 夏小丽 汪琼

(西南林业大学园林园艺学院, 云南昆明 650233)

**摘要:** 模拟自然环境下的化感作用, 选取珊瑚樱和同一生境下生长的其他3种有毒植物叶片为材料, 采用室内监测法, 应用蒽酮比色法、气相色谱-质谱联用技术测定浸提液可溶性糖含量和乙酸乙酯萃取物组成成分, 分析不同浓度珊瑚樱、常春藤、野薊和飞机草叶片水浸提液对珊瑚樱种子萌发的影响。结果表明: 不同浓度的4种植物浸提液处理对珊瑚樱种子萌发具抑制作用, 均降低珊瑚樱种子的各项萌发指标, 以0.2 g/mL常春藤水浸提液化感抑制效应最大为-20.52, 综合发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数与CK差异显著; 不同浓度的4种植物浸提液可溶性糖含量均随浸提液浓度的增加而升高, 0.2 g/mL常春藤水浸提液可溶性糖含量最高为(1.53±0.02) mg/g, 随着可溶性糖含量增加, 其对种子萌发抑制效果越明显。以新植二烯为主的烯烃类物质是珊瑚樱和常春藤的优势组分, 分别占总量的37.94%、78.7%; 以大牛儿烯D为主的烯烃类物质是野薊的优势组分, 占总量的52.94%; 以5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇为主的醇类物质是飞机草浸提液的优势组分, 占总量的63.28%。4种有毒植物水浸提液随浓度的增加其抑制作用增强, 相关性分析表明可溶性糖是浸提液中抑制珊瑚樱种子萌发的主要因素。

**关键词:** 浸提液; 化感作用; 可溶性糖; GC-MS

中图分类号: Q945.34

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2023)04-0039-08

## Composition Analysis of Leaf Extract of 4 Plants and Its Effect on Seed Germination of *Solanum pseudocapsicum*

Zeng Hong, Xu Yongyan, Shao Linya, Wen Yonghui, Xia Xiaoli, Wang Qiong

(College of Landscape Architecture and Horticulture, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650233, China)

**Abstract:** The allelopathy in real habitat was simulated, and the leaves of *Solanum pseudocapsicum* and 3 other toxic plants growing in the same habitat were selected as materials. The content and components of soluble sugar in the extracts were determined by indoor Petri dish method, anthrone colorimetry and gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS). The effects of different concentrations of aqueous extracts of *S. pseudocapsicum*, *Hedera nepalensis*, *Cirsium maackii* and *Eupatorium odoratum* leaves on seed germination indexes of *S. pseudocapsicum* were studied. The results show that different concentrations of 4 plant extracts had inhibitory effects on the germination of *S. pseudocapsicum* seeds, and all the germination indexes of *S. pseudocapsicum* seeds were reduced. Extraction with 0.2 g/mL *Hedera nepalensis* var. *si* water has a maximum inhibitory effect of -20.52 on liquefaction sense, and the comprehensive germination rate, germination potential, germination index and vitality

收稿日期: 2022-03-30; 修回日期: 2022-05-10

基金项目: 云南省教育厅项目(2021Y258)资助; 云南省教育厅项目(11070664)资助。

第1作者: 曾红(1998—), 女, 硕士研究生。研究方向: 风景园林植物资源。Email: hyzh201471@163.com。

通信作者: 汪琼(1974—), 女, 硕士生导师, 副教授。研究方向: 园林植物与观赏园艺。Email: 1006078164@qq.com。

index were significantly different from those of the control group; the soluble sugar content of the four plant extracts of different concentrations increased with the increase of the extract concentration. The soluble sugar content of 0.2 g/ml *Hedera nepalensis* var. *si* aqueous extract was the highest, which was  $1.53 \pm 0.02$  mg/g. With the increase of the soluble sugar content, the more obvious its inhibitory effect on seed germination was; the olefins dominated by neophydrene are the dominant components of *S. pseudocapsicum*, and *H. nepalensis*, and the olefins dominated by Darlene D are the dominant components of *C. maackii*, which accounted for 37.94%, 78.7% and 52.94% respectively, and 5-isopropyl-4,6-dimethyl-3,6,8-nonatriene-2-ol was the dominant components of the extract of *E. odoratum* that accounted for 63.28% of the all components. The inhibitory effect of the aqueous extracts of 4 toxic plants increased with the increase of concentration. The correlation analysis showed that soluble sugar was the main factor to inhibit the seed germination of *S. pseudocapsicum*.

**Key words:** extract; allelopathy; soluble sugar; GC-MS

植物的化感作用是植物在长期进化过程中形成的一种适应机制,是自然界中普遍存在的一种自然现象,在自然群落的形成和演替中起着重要作用<sup>[1-2]</sup>,已成为生态学领域的研究热点。尤其是近年来在杂草防除中,利用植物化感作用抑制杂草生长受到重视,成为化感作用研究的一个重要内容。研究表明化感作用与植物释放到环境中的一些次生代谢物质(如香豆素、有机酸类、酚类等物质)<sup>[3-5]</sup>有关,这些化感物质进入环境后能够影响周围植物的生长发育。如高浓度的紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)提取液对4种牧草的化感作用较强,能降低种子发芽率及发芽速率<sup>[6]</sup>,不同浓度的黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)水浸提液对垂穗披碱草(*Elymus nutans*)等3种植物影响的综合效应均表现为抑制作用<sup>[7]</sup>,小花棘豆(*Oxytropis glabra*)对一些牧草、粮食和蔬菜的种子发芽和生长均有不同程度的抑制作用<sup>[8]</sup>,劲直黄芪(*Astragalus strictus*)水浸提液对燕麦(*Avena sativa*)种子萌发和幼苗生长均表现为抑制作用,且随着水浸提液浓度的升高其抑制程度不断增强<sup>[9]</sup>。化感作用与其所含化感物质的种类和含量有关,如沙蒿(*Artemisia desertorum*)不同部位水浸提液所含的化感物质主要为酸性组分,它比中性、碱性组分对沙米种子发芽抑制作用强<sup>[10]</sup>。

有毒植物为植物界中一类具有特殊物质的植物,其富含有机酸类、生物碱类、毒蛋白类、酚类等毒性成分,对植物生长发育等能产生毒害作用<sup>[11]</sup>。近年来对有毒植物的化感作用研究较少,其中邓建梅<sup>[12]</sup>研究了甘肃天祝天然草地12种有毒植物化感作用发现黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)表现出较强的化感作用,如能将有毒植物释放的化感物质开发成除草剂,将是解决其危

害和合理利用的重要措施<sup>[13]</sup>。

珊瑚樱(*Solanum pseudocapsicum*)为茄科茄属多年生常绿小灌木,全株有毒,已列入2019年云南省外来入侵物种名录<sup>[14]</sup>。目前国内外对珊瑚樱的研究以组织培养<sup>[15]</sup>、幼苗繁殖和发育<sup>[16]</sup>、化学成分分析<sup>[17]</sup>、植物病理<sup>[18]</sup>、细胞生物学为主<sup>[19]</sup>,而有毒植物对珊瑚樱种子萌发的化感效应研究报道较少。因此,本实验模拟自然环境下的化感作用,选取珊瑚樱和同一生境下生长的其他3种有毒植物叶片为材料,采用室内监测法,应用不同浓度的珊瑚樱、飞机草(*Eupatorium odoratum*)、野薊(*Cirsium maackii*)和常春藤(*Hedera nepalensis*)水浸提液对珊瑚樱种子的萌发特性(发芽率、发芽势、发芽指数)和化感效应进行比较研究,同时采用分光光度法、气相色谱质谱联用分析确定4种有毒植物的优势化感组分,为更好地了解 and 掌握有毒植物化感效应,进一步开发利用有毒植物资源提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

成熟的珊瑚樱种子和叶片,飞机草、常春藤、野薊叶片均采自西南林业大学一号门(25°3'4" N, 102°45'27" E)附近。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 4种有毒植物叶片水浸提液制备

将4种有毒植物叶片分别置于80℃烘箱内烘烤24h后粉碎,过60目筛储藏备用。准确称取4种植物叶片粉末10g置于三角瓶中,分别加入500mL纯水避光浸提72h,过滤、真空浓缩浸提液至50mL。分别取珊瑚樱、飞机草、野薊、常春藤叶片浸提液0.5、0.75、1、5mL加纯水定

容至 25 mL。即 4 种有毒植物叶片浸提液浓度分别是 0.02、0.03、0.04、0.2 g/mL。

### 1.2.2 实验设计

挑选籽粒饱满的珊瑚樱种子, 在室温下浸种 6 h。将 2 层定性滤纸铺在半径 5 cm 的培养皿中, 分别加入各处理水浸提液 5 mL。放入浸种后的珊瑚樱种子, 每个浓度处理 30 粒种子, 重复 3 次, 合计 90 粒种子, 同时以蒸馏水为对照, 置于恒温培养箱 ( $25 \pm 1$ ) °C 中培养。每天观察种子萌发情况, 并记录发芽率 (GP)、发芽势 (GE)、发芽指数 (GI)、活力指数 (VI) 和化感综合效应指数 (SEI) 用上述测定项目的平均值表示, 测定方法参照参考文献 [20]~[21] 的方法。按公式 (1)~(4) 计算。

$$\text{发芽率} = \frac{14 \text{ d内供试种子的发芽数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽势} = \frac{8 \text{ d内供试种子的发芽数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽指数} = \sum \frac{G_t}{D_t} \quad (3)$$

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times S \quad (4)$$

式中:  $G_t$  为第  $t$  天的发芽数,  $D_t$  为相应的发芽天数,  $S$  幼苗高度; 化感综合效应指数 (SEI) 是实验项目化感效应指数的平均值, 正值表示促进作用, 负值则为抑制作用, 对照值为 0。

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 可溶性糖含量测定

参照 Lin 等 [22] 方法测定 4 种植物浸提液可溶性糖含量。

#### 1.3.2 植物叶片水浸提液化学成分测定

分别取 4 种植物水浸提液各 100 mL, 加入等体积乙酸乙酯萃取, 取 1  $\mu$ L 萃取液进样, 进行 GC-MS 分析。GC-MS 分析条件: 1) 气相色谱条件色谱柱: SH-Rts-5MS (30 m  $\times$  250  $\mu$ m  $\times$  0.25  $\mu$ m); 升温程序初始温度 60 °C, 以 2 °C/min 的速率升至 180 °C 保持 10 min, 再以 2 °C/min 的速率升至 200 °C 保持 5 min, 然后以 10 °C/min 的速率升至 230 °C 保持 10 min, 再以 5 °C/min 的速率升至 280 °C 保持 2 min, 然后以 10 °C/min 的速率升至 300 °C 保持 2 min; 载气为氦气, 载气流量为 1 mL/min, 汽化室温度 300 °C, 进样量为 1.0  $\mu$ L 不分流。2) 质谱条件: 电离方式 EI; 电子能量 69.9 eV; 离子源温度为 230 °C; 发射电流是 34.6  $\mu$ A; 电子倍增器电压 1624 V; 扫描质量范围 ( $m/z$ ) 10~701 amu。通过 NIST2008 谱图库兼顾色谱保留时间定性, 采用峰面积表示物质含量。

### 1.4 数据处理

数据经 Excel 2019 处理后, 用 SPSS23.0 进行相关性分析, 绘图用 Origin 2021 和 SIMCA-P 14.1 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物叶片水浸提液含量及成分分析

#### 2.1.1 不同植物叶片水浸提液可溶性糖含量分析

由表 1 可知, 珊瑚樱、常春藤、野薊和飞机草水浸提液可溶性糖含量均显著高于 CK ( $P < 0.05$ ), 随着 4 种植物叶片水浸提液浓度的升高可溶性糖含量不断增加, 且均在浸提液浓度为 0.2 g/mL 时达最高值, 此时珊瑚樱、常春藤、野薊和飞机草的可溶糖含量分别为 ( $1.35 \pm 0.03$ )、( $1.53 \pm 0.02$ )、( $1.22 \pm 0.02$ )、( $1.27 \pm 0.02$ ) mg/g。

表 1 不同植物叶片水浸提液中可溶性糖含量  
Table 1 Soluble sugar content in aqueous extract of different plant leaves

| 处理  | 浓度/(g·mL <sup>-1</sup> ) | 可溶性糖含量/(mg·g <sup>-1</sup> )  |
|-----|--------------------------|-------------------------------|
| CK  | 0.00                     | 0.01 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>  |
| 珊瑚樱 | 0.02                     | 0.43 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>  |
|     | 0.03                     | 0.48 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>  |
|     | 0.04                     | 0.59 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup> |
|     | 0.20                     | 1.35 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>  |
| 常春藤 | 0.02                     | 0.68 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  |
|     | 0.03                     | 0.74 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  |
|     | 0.04                     | 0.79 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  |
|     | 0.20                     | 1.53 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>  |
| 野薊  | 0.02                     | 0.08 $\pm$ 0.02 <sup>d</sup>  |
|     | 0.03                     | 0.14 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>  |
|     | 0.04                     | 0.22 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>  |
|     | 0.20                     | 1.22 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>  |
| 飞机草 | 0.02                     | 0.32 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>  |
|     | 0.03                     | 0.39 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>  |
|     | 0.04                     | 0.45 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>  |
|     | 0.20                     | 1.27 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>  |

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.1.2 水浸提液含量分析

由表 2 可知, 4 种植物叶片水浸提液中均发现有烯炔类、酚类和酯类化合物, 但化合物种类及含量存在明显差异。珊瑚樱水浸提液中鉴定出 12 种化合物, 包括烯炔类 (37.94%)、醇类 (26.57%)、酯类 (26.44%)、酚类 (0.83%)、

醛类 (0.61%) 和其他类物质 (7.61%); 常春藤 (54.06%)、酯类 (23.56%)、醇类 (18.93%)、水浸提液中鉴定出 17 种物质, 包括烯烴类 (82.3%)、酯类 (13.91%)、炔烴类 (3.79%); 野薊水浸提液中鉴定出 12 种物质, 包括烯烴类 (54.06%)、酯类 (23.56%)、醇类 (18.93%)、醛类 (3.45%); 飞机草水浸提液中鉴定出 10 种物质, 包括醇类 (63.28%)、烯烴类 (20.24%)、酮类 (8.82%)、酯类 (6.99%)、醛类 (0.67%)。

表 2 4 种植物水浸提液的成分分析

Table 2 Composition analysis of aqueous extracts of 4 plants leaves

| 序号 | 化合物类别  | 保留时间/min                          | 化合物                               | 珊瑚櫻/%          | 常春藤/% | 野薊/%  | 飞机草/% |   |
|----|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------|-------|-------|---|
| 1  | 烯烴类    | 5.279                             | 2-萹烯                              | —              | 4.60  | —     | —     |   |
| 2  |        | 5.631                             | <i>P</i> -伞花烴                     | —              | 2.15  | —     | —     |   |
| 3  |        | 11.385                            | 异丁香烯                              | —              | 3.24  | —     | —     |   |
| 4  |        | 11.455                            | 反式- $\alpha$ -香柑油烯                | —              | 2.02  | —     | —     |   |
| 5  |        | 11.499                            | $\beta$ -可巴烯                      | —              | 2.97  | —     | —     |   |
| 6  |        | 11.617                            | 反式- $\beta$ -金合欢烯                 | —              | 5.31  | —     | —     |   |
| 7  |        | 12.045                            | 环芳烴                               | —              | 2.14  | —     | —     |   |
| 8  |        | 12.158                            | 大牛儿烯 <i>D</i>                     | —              | 15.64 | —     | —     |   |
| 9  |        | 12.283                            | $\alpha$ -法呢烯                     | —              | 3.22  | —     | —     |   |
| 10 |        | 12.398                            | $\beta$ -红没药烯                     | —              | 3.51  | —     | —     |   |
| 11 |        | 14.509                            | 杏仁二烯                              | —              | 1.69  | —     | —     |   |
| 12 | 19.610 | 反式-3,7,11,15-四甲基十六烷-2-烯           | 0.67                              | —              | —     | —     |       |   |
| 13 | 57.14  | ( <i>E</i> )-3,7,11,15-四甲基十六烷-2-烯 | —                                 | —              | 13.29 | —     |       |   |
| 14 | 57.532 | 新植二烯                              | 37.27                             | 35.61          | 40.77 | 18.02 |       |   |
| 15 | 61.940 | $\alpha$ -柏木烯                     | —                                 | —              | —     | 2.22  |       |   |
| 16 | 醇类     | 13.881                            | ( <i>E</i> )-2-十四烯醇               | 1.30           | —     | —     | —     |   |
| 17 |        | 16.422                            | 松柏醇                               | 0.52           | —     | —     | —     |   |
| 18 |        | 46.391                            | 雪松醇                               | —              | —     | —     | 2.22  |   |
| 19 |        | 50.137                            | 2-单棕榈酸甘油                          | 2.90           | —     | 7.25  | —     |   |
| 20 |        | 51.685                            | 松柏醇                               | —              | —     | 3.43  | —     |   |
| 21 |        | 58.70                             | 5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇      | —              | —     | —     | 61.06 |   |
| 22 |        | 74.93                             | 植物醇                               | 21.85          | —     | 8.25  | —     |   |
| 23 |        | 酯类                                | 9.434                             | 乙酸龙脑酯          | —     | 2.97  | —     | — |
| 24 |        |                                   | 11.780                            | 12,15-十八碳二炔酸甲酯 | —     | 3.59  | —     | — |
| 25 |        |                                   | 11.977                            | 异丁酸橙花酯         | —     | 1.57  | —     | — |
| 26 | 12.646 |                                   | 6,6-二甲基双环[3.1.1]庚-2-烯-2-基) 甲基碳酸乙酯 | —              | 5.78  | —     | —     |   |
| 27 | 40.376 |                                   | 乙酸香桉酯                             | —              | —     | —     | 1.69  |   |
| 28 | 58.305 |                                   | 邻苯二甲酸二异丁酯                         | —              | —     | 2.15  | —     |   |
| 29 | 60.876 |                                   | 去氢木香内酯                            | —              | —     | 1.00  | —     |   |
| 30 | 62.036 |                                   | 棕榈酸甲酯                             | —              | —     | 0.96  | —     |   |
| 31 | 65.498 |                                   | 缬草酸正丙酯                            | —              | —     | 12.28 | 5.30  |   |
| 32 | 74.007 |                                   | 亚麻酸甲酯                             | 11.70          | —     | 5.72  | —     |   |
| 33 | 75.409 |                                   | 齐墩果酸甲酯                            | 14.74          | —     | —     | —     |   |
| 34 | 95.467 | 邻苯二甲酸二辛酯                          | —                                 | —              | 1.45  | —     |       |   |
| 35 | 酮类     | 49.572                            | 马兜铃酮                              | —              | —     | —     | 3.25  |   |

续表 2

| 序号 | 化合物类别 | 保留时间/min | 化合物  | 珊瑚樱/% | 常春藤/% | 野薊/% | 飞机草/% |
|----|-------|----------|--|-------|-------|------|-------|
| 36 |       | 58.808   | 3,5,6,7,8,8a-六氢-4,8a-二甲基-6-(1-甲基乙基)-2(1H)-萘酮 | —     | —     | —    | 4.71  |
| 37 |       | 59.084   | (+)-菖蒲螺烯酮 B                                  | —     | —     | —    | 0.86  |
| 38 | 醛类    | 51.06    | 十五醛  | 0.61  | —     | 3.45 | —     |
| 39 |       | 51.066   | 十八醛  | —     | —     | —    | 0.67  |
| 40 | 酚类    | 8.042    | 邻苯二酚   | 0.83  | —     | —    | —     |
| 41 | 炔烃类   | 11.345   | 乙炔   | —     | 3.79  | —    | —     |
| 42 | 其他    | 6.335    | 3-乙基-5-甲基吡啶                                  | 7.17  | —     | —    | —     |
| 43 |       | 8.394    | 2,3-二氢苯并呋喃                                   | 0.44  | —     | —    | —     |

由图 1 可知，珊瑚樱、常春藤的优势组分为新植二烯，野薊的优势组分为大牛儿烯 D，飞机

草的优势组分为 5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇。

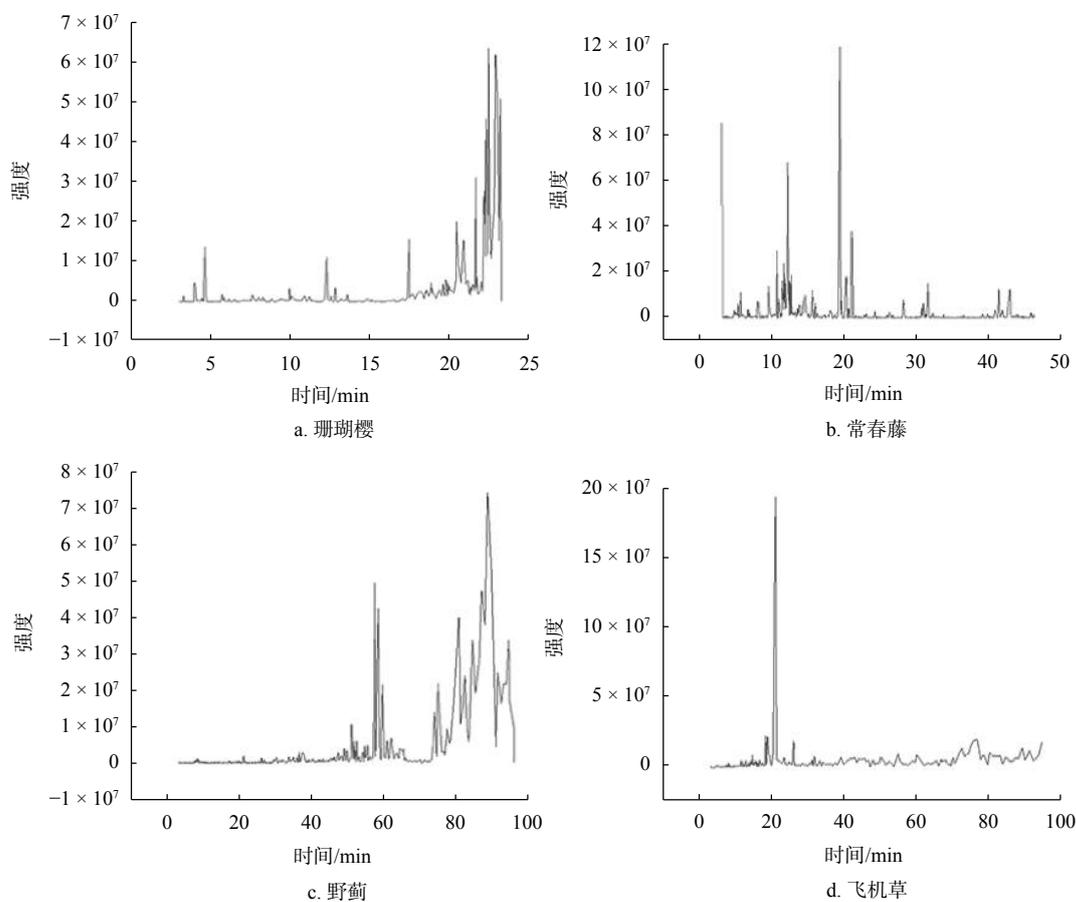


图 1 4种植物水提液总离子色谱图

Fig. 1 TIC chromatogram of aqueous extracts of 4 plants leaves

2.1.3 不同植物水浸提液的主成分分析

将 4 种植物水浸提液主要成分进行主成分分析，得出  $R^2_X=0.924$ ， $Q^2=0.818$ ，2 个参数值都大于 0.5，因此 PCA 效果比较好。由图 2 可知，4 种植物浸提液中除少数物质外绝大多数物质均处于置信区间内，浸提液中物质分开的较好，但还存在一些重叠物质，这说明 4 种植物水浸提液中组成物质差别较大，但是有共同组成物质。从图 3 可

知，第一主成分由新植二烯所决定，第二主成分由 5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇所决定，第三主成分由大牛儿烯 D 决定。可见，珊瑚樱、常春藤的主要成分为新植二烯，野薊的主要成分为大牛儿烯 D，而飞机草的主要成分为 5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇（表 3）。

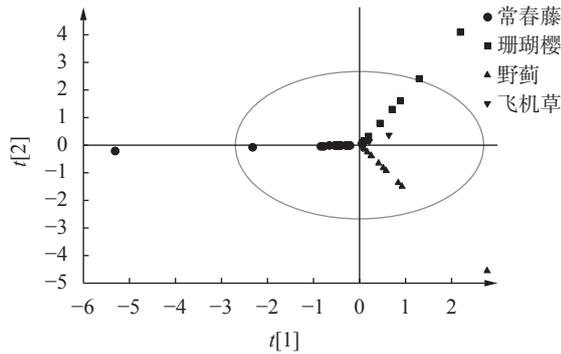


图 2 4 种植物水浸提液 PCA 得分图

Fig. 2 PCA scores of aqueous extracts of 4 plants leaves

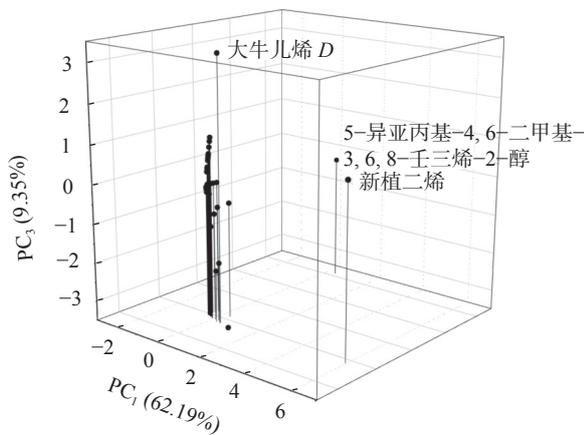


图 3 4 种植物水浸提液主要物质的载荷图

Fig. 3 Load diagram of main substances in aqueous extracts of 4 plants leaves

表 3 不同植物水浸提液主要物质的累计贡献率

Table 3 Cumulative contribution rate of main substances in aqueous extracts of different plants leaves

| 成分 | 初始特征值基 |       |         |
|----|--------|-------|---------|
|    | 特征值    | 贡献率/% | 累计贡献率/% |
| 1  | 2.49   | 62.19 | 62.19   |
| 2  | 0.94   | 23.45 | 85.64   |
| 3  | 0.37   | 9.35  | 95.00   |

2.2 不同植物水浸提液对珊瑚樱种子萌发的综合影响分析

2.2.1 不同植物水浸提液对珊瑚樱种子萌发的影响

由表 4 可知, 4 种植物叶片水浸提液对珊瑚樱种子发芽指标的抑制作用差异显著 ( $P < 0.05$ ), 且随着浸提液浓度的升高, 其抑制效果均表现递增效应。与 CK 相比, 不同浓度的珊瑚樱、常春藤、野薊和飞机草水浸提液使珊瑚樱种子的发芽率分别降低了 12.23% ~ 80%、36.67% ~ 91.12%、11.11% ~ 87.78%、14.45% ~ 87.78%; 发芽势分别降低了 30% ~ 63.34%、53.34% ~ 63.34%、23.34% ~ 62.23%、38.89% ~ 63.34%, 同时发芽指数和活力指数也呈现降低趋势。

在同一浓度浸提液处理下, 4 种植物对珊瑚樱种子的抑制效应差异显著 ( $P < 0.05$ )。在浸提液浓度为 0.03、0.04 g/mL 条件下。其抑制强度大小为常春藤 > 野薊 > 珊瑚樱 > 飞机草; 在浸提液浓度为 0.02 g/mL 时, 其抑制强度大小为常春藤 > 飞机草 > 珊瑚樱 > 野薊; 在浸提液浓度为 0.2 g/mL 时, 其抑制强度大小为常春藤 > 飞机草 = 野薊 > 珊瑚樱。

表 4 不同处理对珊瑚樱种子萌发的影响

Table 4 Effects of different treatments on seed germination of *S. pseudocapsicum*

| 处理  | 浓度/(g·mL <sup>-1</sup> ) | 发芽率/%                      | 发芽势/%                      | 发芽指数                      | 活力指数                       |
|-----|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| CK  | 0.00                     | 95.56 ± 1.56 <sup>a</sup>  | 64.45 ± 3.85 <sup>a</sup>  | 42.22 ± 0.91 <sup>a</sup> | 104.58 ± 0.98 <sup>a</sup> |
| 珊瑚樱 | 0.02                     | 83.33 ± 3.85 <sup>a</sup>  | 34.45 ± 2.22 <sup>a</sup>  | 32.91 ± 0.36 <sup>a</sup> | 63.72 ± 0.18 <sup>a</sup>  |
|     | 0.03                     | 75.56 ± 2.94 <sup>b</sup>  | 34.45 ± 1.11 <sup>a</sup>  | 22.19 ± 0.34 <sup>b</sup> | 37.20 ± 0.39 <sup>b</sup>  |
|     | 0.04                     | 71.10 ± 6.18 <sup>b</sup>  | 30.00 ± 1.92 <sup>ab</sup> | 17.00 ± 0.40 <sup>b</sup> | 25.12 ± 0.22 <sup>c</sup>  |
|     | 0.20                     | 15.56 ± 2.94 <sup>d</sup>  | 1.11 ± 1.11 <sup>d</sup>   | 2.27 ± 0.19 <sup>d</sup>  | 3.81 ± 0.16 <sup>d</sup>   |
| 常春藤 | 0.02                     | 58.89 ± 1.11 <sup>a</sup>  | 11.11 ± 2.22 <sup>c</sup>  | 16.25 ± 0.15 <sup>b</sup> | 32.99 ± 0.08 <sup>b</sup>  |
|     | 0.03                     | 51.11 ± 4.44 <sup>c</sup>  | 11.11 ± 1.92 <sup>c</sup>  | 7.47 ± 0.17 <sup>c</sup>  | 13.64 ± 0.14 <sup>c</sup>  |
|     | 0.04                     | 46.67 ± 5.09 <sup>c</sup>  | 8.89 ± 2.22 <sup>d</sup>   | 5.48 ± 0.10 <sup>c</sup>  | 8.80 ± 0.31 <sup>d</sup>   |
|     | 0.20                     | 4.44 ± 1.11 <sup>c</sup>   | 1.11 ± 1.11 <sup>d</sup>   | 0.94 ± 0.10 <sup>d</sup>  | 2.11 ± 0.12 <sup>d</sup>   |
| 野薊  | 0.02                     | 84.45 ± 2.22 <sup>a</sup>  | 41.11 ± 2.22 <sup>a</sup>  | 28.87 ± 3.45 <sup>a</sup> | 77.68 ± 0.33 <sup>a</sup>  |
|     | 0.03                     | 72.22 ± 1.11 <sup>b</sup>  | 37.78 ± 1.11 <sup>a</sup>  | 21.34 ± 0.98 <sup>b</sup> | 47.20 ± 0.21 <sup>b</sup>  |
|     | 0.04                     | 60.00 ± 1.92 <sup>bc</sup> | 32.22 ± 32.22 <sup>a</sup> | 10.88 ± 0.80 <sup>c</sup> | 20.64 ± 0.53 <sup>c</sup>  |
|     | 0.20                     | 7.78 ± 2.94 <sup>c</sup>   | 2.22 ± 1.11 <sup>d</sup>   | 3.19 ± 0.23 <sup>d</sup>  | 4.28 ± 0.18 <sup>d</sup>   |
| 飞机草 | 0.02                     | 81.11 ± 2.94 <sup>a</sup>  | 25.56 ± 1.11 <sup>b</sup>  | 22.06 ± 0.87 <sup>b</sup> | 48.12 ± 0.53 <sup>b</sup>  |
|     | 0.03                     | 82.22 ± 1.11 <sup>a</sup>  | 24.44 ± 1.11 <sup>b</sup>  | 18.28 ± 0.27 <sup>b</sup> | 38.90 ± 0.25 <sup>b</sup>  |
|     | 0.04                     | 75.55 ± 2.22 <sup>b</sup>  | 18.89 ± 1.11 <sup>b</sup>  | 12.45 ± 0.27 <sup>c</sup> | 22.90 ± 0.08 <sup>c</sup>  |
|     | 0.20                     | 7.78 ± 1.11 <sup>c</sup>   | 1.11 ± 1.11 <sup>d</sup>   | 3.46 ± 0.15 <sup>d</sup>  | 4.12 ± 0.31 <sup>d</sup>   |

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2.2 化感效应分析

由表5可知, 4种植物叶片水浸提液对珊瑚樱种子萌发的化感效应指数(SEI)差异显著( $P<0.05$ ), 且均随着浸提液浓度的升高其化感效应指数负值均呈显著升高趋势( $P<0.05$ )。浓度为0.02 g/mL的珊瑚樱、常春藤、野蓟和飞机草水浸提液对珊瑚樱种子的综合化感效应指数负值分别为0.14、0.62、0.13和0.16; 浓度为0.03、0.04、0.2 g/mL的珊瑚樱、常春藤、野蓟和飞机草水浸提液对珊瑚樱种子的-SEI分别为0.02 g/mL时的1.86、2.43、36.71倍, 1.40、1.69和33.10倍, 2.46、4.54和86.77倍, 1.13、1.63、70.5倍。

表5 不同植物水浸提液对珊瑚樱种子萌发的化感作用  
Table 5 Allelopathic effects of different plants aqueous extracts on *S. pseudocapsicum* seed germination

| 浓度/(g·mL <sup>-1</sup> ) | 珊瑚樱                | 常春藤                 | 野蓟                  | 飞机草                 |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0.00                     | 0.00 <sup>a</sup>  | 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 <sup>a</sup>   | 0.00 <sup>a</sup>   |
| 0.02                     | -0.14 <sup>b</sup> | -0.62 <sup>b</sup>  | -0.13 <sup>b</sup>  | -0.16 <sup>b</sup>  |
| 0.03                     | -0.26 <sup>b</sup> | -0.87 <sup>b</sup>  | -0.32 <sup>b</sup>  | -0.18 <sup>b</sup>  |
| 0.04                     | -0.34 <sup>b</sup> | -1.05 <sup>c</sup>  | -0.59 <sup>b</sup>  | -0.26 <sup>b</sup>  |
| 0.20                     | -5.14 <sup>c</sup> | -20.52 <sup>c</sup> | -11.28 <sup>d</sup> | -11.28 <sup>d</sup> |

注: 不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.2.3 不同植物水浸提液与种子萌发指标的相关性分析

由表6可知, 珊瑚樱、野蓟和飞机草水浸提液浓度与珊瑚樱发芽率和可溶性糖含量呈极显著性负相关( $P<0.01$ ), 常春藤水浸提液浓度与珊瑚樱种子的发芽率和可溶性糖含量呈显著负相关( $P<0.05$ ), 珊瑚樱和野蓟水浸提液浓度与珊瑚樱种子的发芽势呈显著负相关( $P<0.05$ ), 常春藤和飞机草水浸提液与珊瑚樱种子的发芽势相关性并不显著。4种植物水浸提液浓度与珊瑚樱种子的发芽指数和活力指数相关性不显著。

表6 不同植物浸提液浓度与可溶性糖含量和珊瑚樱种子萌发的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between the concentration of different plant extracts, soluble sugar content and germination of *S. pseudocapsicum* seeds

| 植物  | 发芽率     | 发芽势    | 发芽指数  | 活力指数  | 可溶性糖含量 |
|-----|---------|--------|-------|-------|--------|
| 珊瑚樱 | -0.99** | -0.88* | -0.87 | -0.75 | 0.96*  |
| 常春藤 | -0.90*  | -0.54  | -0.62 | -0.56 | 0.90*  |
| 野蓟  | -0.98** | -0.92* | -0.79 | -0.76 | 0.99** |
| 飞机草 | -0.99** | -0.75  | -0.76 | -0.72 | 0.98** |

注: \*表示显著相关( $P<0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。

## 3 结论与讨论

用植物浸提液处理种子时, 发芽率, 发芽势和发芽指数可作为衡量化感作用强度的指标, 不同植物、不同浓度的浸提液对种子的发芽率和发芽势具有不同的影响<sup>[23]</sup>。冷蒿(*Artemisia frigida*)浸提液对紫花苜蓿(*Medicago sativa*)的发芽率和发芽势都有抑制作用, 并且随着浸提液浓度升高, 其抑制效果越明显<sup>[24]</sup>。蒋智林等<sup>[25]</sup>研究发现不同浓度的紫茎泽兰、小飞蓬(*Conyza Canadensis*)、飞机草和肿柄菊(*Tithonia diversifolia*)叶水浸提液对狗牙根(*Cynodon dactylon*)种子的萌发均具有抑制效应, 剂量越大抑制效应越强。本研究结果表明不同浓度4种植物浸提液对珊瑚樱种子的萌发指标都表现出抑制效应, 浸提液浓度越高, 其对种子萌发的抑制效应越明显, 这与蒋智林的结果一致, 抑制效应产生的原因可能与植物叶片浸提液中可溶性糖等化感物质有关。

糖是植物生命活动中的能源物质, 为植物生长、发育提供必须的能量, 其浓度调控种子的萌发。王嘉佳等<sup>[26]</sup>研究发现高浓度的糖会抑制种子萌发, 且不同浓度的可溶性糖抑制效果不同。本研究发现随着浸提液中可溶性糖含量升高, 珊瑚樱种子霉变率增加, 发芽率降低, 推测可溶性糖是4种植物水浸提液抑制珊瑚樱种子萌发的主要因素, 可能是由于珊瑚樱种子中可溶性糖的含量能满足其正常萌发所需能量要求, 过高浓度的糖反而会降低其萌发指标。

迄今为止所发现的化感物质几乎都是植物的次生代谢产物, 一般分子量较小, 结构较为简单<sup>[27]</sup>。本研究表明, 4种有毒植物叶片水浸提液中含有多种化感物质, 其成分存在差异, 珊瑚樱、常春藤和野蓟浸提液的主要成分为烯炔类等弱极性物质, 其化感活性较弱, 而飞机草浸提液的主要成分为醇类等极性物质, 研究发现高浓度的飞机草水浸提液对假地豆(*Desmodium heterocarpon*)等植物种子萌发均具有抑制作用<sup>[28]</sup>, 飞机草的化感抑制作用是否受5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇影响及影响机制尚不清楚。植物化感作用是几个或几类化感物质综合作用的结果, 多种化感物质间具体的协同效应方式、作用机制还需进一步研究。

综上所述, 本研究证实不同浓度4种有毒植物水浸提液均能抑制珊瑚樱种子萌发指标, 随浸提液浓度的增加可溶性糖含量也随之升高, 抑制

作用增强。通过 GC-MS 分析可知, 珊瑚樱、常春藤的优势组分为新植二烯, 野薊的优势组分为大牛儿烯 D, 飞机草的优势组分为 5-异亚丙基-4,6-二甲基-3,6,8-壬三烯-2-醇。

### [参 考 文 献]

- [1] 张瑞, 詹卉, 刘姚姚, 等. 毛竹林不同浸提液对延胡索生长指标和光合特征的影响 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2020, 40(3): 59-67.
- [2] 邓建梅, 杨顺义, 沈慧敏. 12 种有毒植物的化感效应比较研究 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(5): 989-995.
- [3] 邬彩霞, 刘苏娇, 赵国琦. 黄花草木樨水浸提液中潜在化感物质的分离、鉴定 [J]. 草业学报, 2014, 23(5): 184-192.
- [4] 谢星光, 陈晏, 卜元卿, 等. 酚酸类物质的化感作用研究进展 [J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6417-6428.
- [5] 张志忠, 孙志浩, 陈文辉, 等. 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应 [J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4591-4598.
- [6] 桂富荣, 蒋智林, 金吉斌, 等. 紫茎泽兰化感作用对 9 种草本植物种子萌发的影响 [J]. 生物安全学报, 2011, 20(4): 331-336.
- [7] 马文生, 鱼小军, 徐长林, 等. 黄花棘豆水浸提液对 3 种植物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 草业科学, 2012, 29(4): 567-570.
- [8] 罗扬, 廖蓉苏, 宋洋. 小花棘豆对几种植物种子萌发的化感作用 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(22): 109-113.
- [9] 胡远彬, 陈俊, 肖天昊, 等. 劲直黄芪水浸提液化感作用研究 [J]. 草业学报, 2013, 22(6): 136-142.
- [10] 邓文红, 赵欣蕊, 张俊琦, 等. 沙蒿水浸提液化感物质的分离与鉴定 [J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(9): 156-163.
- [11] 陈冀胜, 郑硕. 中国有毒植物 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [12] 邓建梅. 天祝天然草地主要有毒植物资源调查及黄花棘豆化感作用研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [13] Tlak Gajger I, Dar S A. Plant allelochemicals as sources of insecticides [J]. Insects, 2021, 12(3): 189.
- [14] 柴伟玲, 类延宝, 李扬苹, 等. 外来入侵植物飞机草和本地植物异叶泽兰对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应 [J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3744-3751.
- [15] Garibaldi A, Minuto A, Gullino M L. First report of sclerotium rolfsii on Jerusalem cherry (*Solanum pseudocapsicum*) in Europe [J]. Plant Disease, 2000, 84(9): 1048.
- [16] 吴楚, 何开平, 吴立双. 磷胁迫对冬珊瑚幼苗根系构型与异速生长的影响 [J]. 长江大学学报 (自然科学版) 农学卷, 2010, 7(4): 47-51, 128.
- [17] Aliero A A, Asekun O T, Grierson D S, et al. Chemical composition of the hexane extract from the leaves of *Solanum pseudocapsicum* [J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2006, 5(6): 1054-1056.
- [18] Adamenko K, Kawa-Rygielska J, Kucharska A Z, et al. Characteristics of biologically active compounds in cornelian cherry meads [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2018, 23(8): 2024.
- [19] Jeyasankar A, Premalatha S, Elumalai K. Biological activities of *Solanum pseudocapsicum* (Solanaceae) against cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner and armyworm, *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(12): 981-986.
- [20] 董梦宇, 徐立人, 李彦慧. 盐胁迫对糖芥种子萌芽及幼苗生长的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2021, 36(5): 745-752.
- [21] Becerra-Vázquez Á G, Coates R, Sánchez-Nieto S, et al. Effects of seed priming on germination and seedling growth of desiccation-sensitive seeds from Mexican tropical rainforest [J]. Journal of Plant Research, 2020, 133(6): 855-872.
- [22] Lin L, Wang Y, Wang F X, et al. Determination of polysaccharides content of *Gentiana farreri* from different producing areas based on anthrone-sulfuric acid method [J]. Zhongguo Zhong Yao Za Zhi, 2014, 39(14): 2774-2776.
- [23] 陈锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 36-46.
- [24] 呼木吉勒图, 吴秀花, 郝文, 等. 冷蒿及其根际土浸提液对 5 种紫花苜蓿种子萌发和幼苗生理的影响 [J]. 西部林业科学, 2020, 49(3): 74-79.
- [25] 蒋智林, 杨丽萍, 申科, 等. 4 种菊科入侵植物叶水浸提液对狗牙根种子萌发的化感作用 [J]. 西南农业学报, 2020, 33(12): 2943-2947.
- [26] 王嘉佳, 唐中华. 可溶性糖对植物生长发育调控作用的研究进展 [J]. 植物学研究, 2014, 3(3): 71-76.
- [27] 王晓英, 吴洪新. 紫花地丁水浸提液对草地早熟禾和高羊茅的化感作用研究 [J]. 中国草地学报, 2015, 37(1): 97-103.
- [28] 潘玉梅, 唐赛春, 韦春强, 等. 两种本地植物种子萌发对飞机草的化感耐受性及其相互竞争 [J]. 生态学报, 2019, 39(19): 7302-7310.

(责任编辑 冯 雪)

