

# 紫茎泽兰叶片凋落物对入侵地 4 种草本植物的化感作用\*

万欢欢 刘万学\*\* 万方浩

(中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193)

**摘要** 为了明确紫茎泽兰叶片凋落物对入侵地草本植物的化感作用,研究了不同浓度紫茎泽兰叶片凋落物水提液对入侵地草本植物多年生黑麦草、白三叶、辣子草和紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响,同时结合土培试验研究了叶片凋落物在入侵地土壤中的化感作用。结果表明,除多年生黑麦草外,水提液对其他3种草本植物种子萌发均产生了显著的化感抑制作用,且水提液的浓度越高抑制效果越强;低浓度水提液对紫花苜蓿和辣子草的幼苗生长存在显著化感促进作用,高浓度的水提液对除多年生黑麦草外的其他3种植物幼苗的生长存在显著化感抑制作用,水提液对多年生黑麦草幼苗生长的影响不显著;土壤中按照 $50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的比例添加叶片凋落物后,显著抑制了白三叶的生长,而添加活性炭后,白三叶的单株生物量相对于未添加活性炭的处理增加71.25%,进一步证实叶片凋落物在土壤中的化感抑制作用。这说明外来入侵植物紫茎泽兰可能通过其叶片凋落物在入侵地土壤中降解,释放化感物质,抑制伴生植物的种子萌发和幼苗生长,为自身创造有利的生长环境,实现其成功入侵和扩张。

**关键词** 紫茎泽兰 叶片凋落物 化感作用 伴生植物 草本植物 外来植物入侵

**中图分类号:** Q143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2011)01-0130-05

## Allelopathic effect of *Ageratina adenophora* (Spreng.) leaf litter on four herbaceous plants in invaded regions

WAN Huan-Huan, LIU Wan-Xue, WAN Fang-Hao

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract** The effects of different concentrations of water extracts of *A. adenophora* leaf litter on the germination and seedling growth of *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, *Galinsoga parviflora* and *Medicago sativa* were determined via laboratory bioassay. The objective of the study was to elucidate allelopathic effects of *A. adenophora* leaf litter on herbaceous plant in invaded regions. Meanwhile, allelopathic effects of *A. adenophora* leaf litter on the invaded soil were examined via pot experiments. Results showed that with the exception of *L. perenne*, there existed significant allelopathic inhibition effects of the water extracts on herbaceous plant seed germination. Inhibition effect increased with increasing concentration of water extract. For the growth of *G. parviflora* and *M. sativa* seedling, a significant promotion effect was noted at low water extract concentration. However, herbaceous plant seedling growth (except for *L. perenne*) was significantly inhibited at high water extract concentration. The effect of water extracts on *L. perenne* seedling growth was insignificant. Furthermore, pot experiments showed that *T. repens* seedling growth was significantly inhibited by  $50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  leaf litter. *T. repens* biomass, however, increased by 71.25% with the addition of active carbon (AC). This further testified an obvious allelopathic inhibition effect of leaf litter on herbaceous plant in invaded soils. By leaf litter decomposition and releasing allelochemicals into soils, *A. adenophora* inhibited seed germination and seedling growth of accompanying plants, created a favorable environment for invasion and expansion.

**Key words** *Ageratina adenophora* (Spreng.), Leaf litter, Allelopathic effect, Accompanying plant, Herbaceous plant, Exotic

\* 国家自然科学基金项目(30871654)和国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB119200)资助

\*\* 通讯作者: 刘万学(1972-), 男, 副研究员, 主要从事农业外来入侵物种的入侵机理和控制策略研究。E-mail: liuwanxue@263.net

万欢欢(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事外来植物入侵机制研究。E-mail: wanhuanhuan07@163.com

收稿日期: 2010-04-26 接受日期: 2010-08-13

plant invasion

(Received April 26, 2010; accepted Aug. 13, 2010)

紫茎泽兰 [*Ageratina adenophora* (Spreng.)] 为菊科泽兰属多年丛生型半灌木草本植物, 原产于中美洲的墨西哥至哥斯达黎加一带, 现已广泛分布于世界热带、亚热带地区的 30 多个国家和地区, 成为一种世界性入侵杂草。紫茎泽兰于 20 世纪 40 年代传入我国云南省的中缅边境地区, 到 2004 年, 已侵占云南省的绝大部分地区, 同时扩散到贵州、广西、四川、重庆等省市和湖北省秭归县境<sup>[1-2]</sup>。在入侵地区, 紫茎泽兰能通过逐渐竞争排挤替代本地植物, 形成单优群落, 不仅危害农、林、牧业生产, 还严重威胁生物多样性安全, 是我国危害最严重的外来入侵植物之一, 研究其入侵机制具有十分重要的现实意义<sup>[3]</sup>。

Callaway 和 Ridenour<sup>[4]</sup>认为外来植物的化感作用在其入侵过程中起着非常重要的作用, 并于 2004 年提出“新式武器假说”(Novel weapons hypothesis), 认为外来植物能够通过向土壤中释放化感物质来影响本地植物生长。自然条件下, 根系分泌、茎叶淋溶和挥发、枯枝落叶分解等是植物向环境释放化感物质的主要途径<sup>[5-6]</sup>。前人研究表明, 化感作用可能在紫茎泽兰的入侵扩张中起到重要作用, 淋溶<sup>[7-11]</sup>、根系分泌<sup>[10-11]</sup>是紫茎泽兰实现化感作用的重要途径, 但紫茎泽兰叶片凋落物的化感作用尚少见报道。本研究拟从紫茎泽兰叶片凋落物水提液对入侵地 4 种草本植物种子萌发和幼苗生长的作用效果入手, 结合温室盆栽模拟试验, 探讨紫茎泽兰叶片凋落物对入侵地草本植物的化感作用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 紫茎泽兰叶片凋落物和入侵地土壤样品的采集与保存

2009 年 4 月下旬, 在云南玉溪澄江县(24.69°N, 102.87°E, 海拔 1 923~1 937 m), 选择 5 年生紫茎泽兰的单优群落, 此时其植株高约 2 m。随机收集掉落在地表的干枯叶片和紫茎泽兰成株下部已经失绿即将凋落的老叶, 带回实验室在 40 ℃ 下烘干 48 h 后, 研磨成粉末, 装入聚乙烯袋在阴凉干燥处常温保存。

选择紫茎泽兰群落以外的几乎无植物生长的裸露地区, 收集 2~10 cm 土层土壤, 分装入聚乙烯袋中, 带回实验室过 2 mm 筛后在阴凉潮湿处常温保存备用。

### 1.2 紫茎泽兰叶片凋落物不同浓度水提液的制备

参考 Belz 等<sup>[12]</sup>的方法, 在室温黑暗的条件下,

称取 10 g 紫茎泽兰叶片凋落物粉末, 用 200 mL 蒸馏水浸泡 24 h, 双层纱布过滤 1 次后, 用双层滤纸过滤 2 次, 再用 0.2 μm 孔径 47 mm 直径的微孔滤膜 (Supor-200, 美国 Pall 公司) 过滤, 得到 50 g · L<sup>-1</sup> 的高浓度除菌水提液, 以此为母液, 用灭菌蒸馏水依次稀释出 16 g · L<sup>-1</sup>、5 g · L<sup>-1</sup>、1.6 g · L<sup>-1</sup> 的水提液, 灭菌蒸馏水作为对照, 同时测定 5 种溶液的 pH (WTW pH 340i 酸度计, 德国) 和 EC (InLab 730, 梅特勒托利多电导率仪, 瑞士)。配制好的新鲜水提液, 立即进行生物测定。

### 1.3 受体植物

受体植物为紫茎泽兰入侵时期与之伴生的植物辣子草 (*Galinsoga parviflora*), 以及为控制紫茎泽兰入侵而引进的 3 种外来牧草: 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、白三叶 (*Trifolium repens*)、多年生黑麦草 (*Lolium perenne*)。

### 1.4 受体植物种子萌发和幼苗生长的生物测定

参考曾任森<sup>[13]</sup>的方法, 种子消毒 (0.5% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液, 5 min) 后, 选取饱满度和大小基本一致的种子放入垫有双层灭菌滤纸的 9 cm 灭菌培养皿中, 每皿放入 20 粒种子, 然后加入 5 mL 各浓度的水提液, 将培养皿随机放入经过 75% 酒精消毒的光照培养箱中 (16 h 光照/8 h 黑暗, 28 ℃ 光照/25 ℃ 黑暗, 相对湿度 75%), 每处理 10 次重复, 逐日统计发芽种子的数量, 5 d 后测量幼苗的长度 (根尖到茎尖), 并计算发芽指标。发芽率 (%) = 供试种子的发芽数 / 供试种子数 × 100%; 发芽指数  $GI = \sum Gt / DT$ , 式中  $Gt$  为在  $t$  日的发芽数,  $DT$  为发芽天数,  $GI$  用于衡量种子的发芽速率。

种子萌发和幼苗生长的化感效应敏感指数计算参照 Williamson 和 Richardson<sup>[14]</sup>的方法, 即:  $RI = T/C - 1 (T < C)$  或  $RI = 1 - C/T (T > C)$ , 式中,  $C$  为对照值,  $T$  为处理值。 $RI$  表示化感作用效应大小,  $RI > 0$  为促进效应,  $RI < 0$  为抑制效应, 其绝对值大小反映化感作用的强弱。

### 1.5 紫茎泽兰叶片凋落物在土壤中的化感作用测定

参考 Ridenour 和 Callaway<sup>[15]</sup>以及 Abhilasha 等<sup>[16]</sup>的方法, 在 40 个盆钵 (容积 1 L) 中分别装入入侵地土壤 1 L。试验设 2 个因素: 是否添加活性炭和不同浓度凋落物水提液, 其中 20 个盆钵以 20 mL · L<sup>-1</sup> 的比例混入磨细后的活性炭 (Active carbon, AC), 另外 20 盆不添加活性炭; 然后每 5 盆中分别以 0、1.6 g · kg<sup>-1</sup>、5 g · kg<sup>-1</sup>、16 g · kg<sup>-1</sup>、50 g · kg<sup>-1</sup> 的比例

混入叶片凋落物粉末, 随后播撒白三叶的种子, 待幼苗生长到 2 至 4 叶期时, 间苗至每盆 4 株。温室白天温度控制在 20~30 , 夜晚温度在 15~20 , 用高压钠光灯作为补充光源, 所有盆钵每 3 d 浇水 1 次, 3 个月后收获白三叶, 40 烘干 5 d 后测定植物生物量。

1.6 数据分析

试验数据采用 One-way ANOVA 进行单因子方差分析, 采用 LSD-Test 法进行多重比较; 所有数据分析均采用软件 SPSS 13.0(SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA)。

2 结果与分析

2.1 紫茎泽兰叶片凋落物水提液的 pH 和渗透压

经测定, 0、1.6 g · L<sup>-1</sup>、5 g · L<sup>-1</sup>、16 g · L<sup>-1</sup>、50 g · L<sup>-1</sup>紫茎泽兰叶片凋落物水提液的 pH 依次为 7.0、6.8、6.4、6.0、5.6, 平均 pH 为 6.36; 渗透压分别为 0.2 mosm · L<sup>-1</sup>、1.4 mosm · L<sup>-1</sup>、3.6 mosm · L<sup>-1</sup>、10.8 mosm · L<sup>-1</sup>、32.0 mosm · L<sup>-1</sup>。

2.2 紫茎泽兰叶片凋落物水提液对种子萌发的影响

如表 1 所示, 在 1.6 g · L<sup>-1</sup>的紫茎泽兰叶片凋落物水提液处理下, 紫花苜蓿的种子萌发率与对照相比显著降低, 其他 3 种草本植物无显著变化; 在 5 g · L<sup>-1</sup>和 16 g · L<sup>-1</sup>的水提液处理下, 白三叶的种子萌发率显著降低, 辣子草在 16 g · L<sup>-1</sup>水提液处理下种子萌发率显著降低, 其余 2 种植物和对照相比无

显著变化; 在 50 g · L<sup>-1</sup>的水提液处理下, 除多年生黑麦草种子萌发率与对照之间无显著差异外, 其他 3 种植物的种子萌发率显著降低。可见, 不同草本植物种子的萌发率对紫茎泽兰叶片凋落物水提液处理的响应存在特异性。低浓度的紫茎泽兰叶片凋落物水提液对草本植物的种子萌发速率没有明显影响, 而高浓度的水提液对除多年生黑麦草外的其他 3 种草本植物有显著化感抑制作用。相对于种子萌发率而言, 种子的萌发速率可能是衡量化感作用更敏感的指标, 因为 16 g · L<sup>-1</sup>的水提液对紫花苜蓿的种子萌发率影响不大, 而种子萌发速率却显著降低。

从化感效应指数看(图 1a), 除多年生黑麦草在 5 g · L<sup>-1</sup>水提液条件下的化感促进效应较 1.6 g · L<sup>-1</sup>有所增加外, 其他均表现为随水提液浓度的升高化感促进效应逐渐降低和(或)化感抑制效应逐渐增加。其中, 1.6 g · L<sup>-1</sup>的水提液对辣子草有较强的化感促进效应(RI=0.303); 5 g · L<sup>-1</sup>的水提液对辣子草和白三叶分别有微弱的化感促进(RI=0.150)和抑制(RI=-0.168)效应; 16 g · L<sup>-1</sup>的水提液对白三叶有很强的化感抑制效应(RI=-0.451); 除多年生黑麦草外, 50 g · L<sup>-1</sup>的水提液对其他植物都有很强的化感抑制作用。然而, 水提液对多年生黑麦草主要起化感促进效应, 但效应强度基本随水提液浓度的增加而降低, 到 50 g · L<sup>-1</sup>时已不明显(RI=0.132)。从各浓度种子萌发化感效应指数的绝对值看, 白三叶为最敏感植物, 辣

表 1 紫茎泽兰叶片凋落物水提液对 4 种受体植物种子萌发率和种子萌发速率的影响

Tab. 1 Effects of water extracts of *A. adenophora* leaf litter on seed germination rate and speed of four receiver plants

受体植物 Receiver plant	种子萌发率 Seed germination rate (%)					种子萌发速率 Seed germination speed (%)				
	0 g · L <sup>-1</sup>	1.6 g · L <sup>-1</sup>	5 g · L <sup>-1</sup>	16 g · L <sup>-1</sup>	50 g · L <sup>-1</sup>	0 g · L <sup>-1</sup>	1.6 g · L <sup>-1</sup>	5 g · L <sup>-1</sup>	16 g · L <sup>-1</sup>	50 g · L <sup>-1</sup>
紫花苜蓿 <i>M. sativa</i>	80.0±1.56ab	70.5±2.38c	79.5±1.73abc	72.5±2.46bc	56.5±1.49d	77.5±1.03a	68.8±2.78b	77.0±1.28a	65.8±2.19b	39.7±1.04c
白三叶 <i>T. repens</i>	39.5±1.73a	37.5±1.51ab	34.5±2.02b	15.5±1.60c	1.0±0.42d	41.0±1.20a	36.1±1.24ab	32.1±1.58b	14.4±1.02c	1.0±0.42d
多年生黑麦草 <i>L. perenne</i>	18.5±2.62a	14.5±1.69a	16.5±2.17a	19.0±1.98a	11.5±1.25a	14.4±1.25ab	11.6±0.59b	14.4±0.91ab	17.8±1.08a	10.0±0.89b
辣子草 <i>G. parviflora</i>	28.5±2.03ab	33.0±2.38a	24.0±1.60b	15.7±1.25c	4.5±0.86d	39.4±1.22b	47.8±2.04a	38.8±1.98bc	30.9±1.56c	2.8±0.56d

表中数值为平均值±标准差, 同一行中不同字母表示处理间差异显著(P<0.05), 下同。Values in the table are mean ± SD. Different letters in the same line indicate significant difference among treatments at P<0.05 (Fisher's LSD test). The same below.

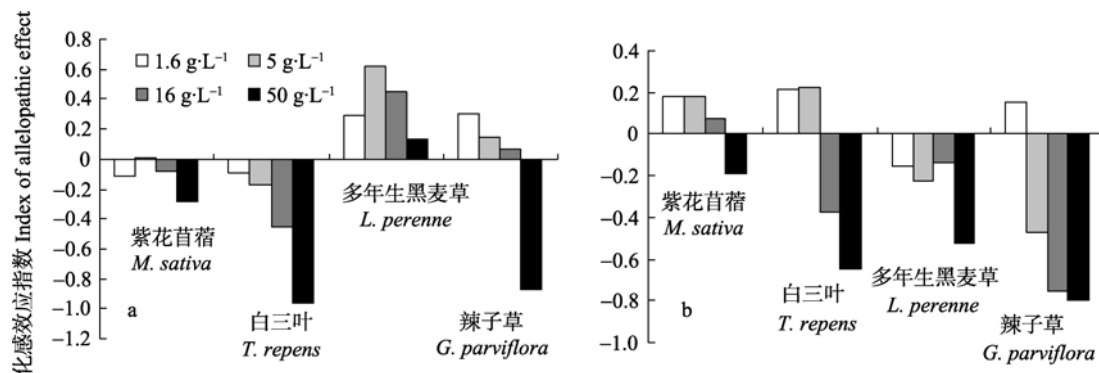


图 1 紫茎泽兰叶片凋落物水提液对 4 种受体植物种子萌发(a)和幼苗生长(b)的化感效应

Fig. 1 Allelopathic effects of water extracts of *A. adenophora* leaf litter on seed germination (a) and seedling growth (b) of four receiver plants

子草次之、紫花苜蓿为最不敏感植物。

### 2.3 紫茎泽兰叶片凋落物水提液对幼苗生长的影响

如表 2 所示, 低浓度紫茎泽兰叶片凋落物水提液对植物幼苗的生长主要起促进作用, 高浓度则起显著抑制作用, 这与对植物种子萌发率的影响结果一致。在  $1.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液处理下, 紫花苜蓿和辣子草的幼苗生长受到显著促进; 在浓度为  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 紫花苜蓿生长受到显著促进, 而辣子草却受到显著抑制;  $16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液对白三叶和辣子草有显著抑制作用; 浓度为  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 白三叶、辣子草和紫花苜蓿的幼苗生长都受到显著抑制; 各浓度水提液对多年生黑麦草的幼苗生长均有一定抑制作用, 但未达显著水平。

从化感效应指数看(图 1b), 低浓度水提液对幼苗生长有化感促进效应(多年生黑麦草除外), 随着水提液浓度的提高, 化感促进效应逐渐减弱, 抑制效应逐渐增强。 $1.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液对除多年生黑麦草外的其他植物的幼苗生长有较弱的化感促进效应 ( $0.155 < |RI| < 0.211$ );  $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液对多年生黑麦草的幼苗生长有较弱的化感抑制效应 ( $RI = -0.228$ ), 对辣子草有很强的化感抑制效应 ( $RI = -0.476$ );  $16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液对白三叶和辣子草的幼苗生长都有很强的化感抑制效应,  $RI$  分别为  $-0.373$  和  $-0.750$ ;  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  的水提液对所有植物的幼苗生长都有不同程度的化感抑制作用, 其中对辣子草的抑制作用最强 ( $RI = -0.801$ ), 白三叶和多年生黑麦草次之, 对紫花苜蓿的抑制作用最弱 ( $RI = -0.186$ )。

表 2 紫茎泽兰叶片凋落物水提液对 4 种受体植物幼苗长度的影响

Tab. 2 Effects of water extracts of *A. adenophora* leaf litter on seedling length of four receiver plants

受体植物 Receiver plant	幼苗长度 Seedling length (cm)				
	$0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$1.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
紫花苜蓿 <i>M. sativa</i>	10.6±0.85b	12.6±0.77a	12.6±0.64a	11.4±0.93ba	8.7±0.73c
白三叶 <i>T. repens</i>	6.7±0.73a	8.1±0.76a	8.1±0.69a	4.2±0.78b	2.3±0.37c
多年生黑麦草 <i>L. perenne</i>	6.8±0.48a	5.3±0.24a	6.2±0.31a	5.8±0.29a	3.5±0.15a
辣子草 <i>G. parviflora</i>	5.2±0.28b	5.8±0.20a	2.7±0.11c	1.2±0.08d	1.0±0.09d

### 2.4 紫茎泽兰叶片凋落物在入侵地土壤中的化感作用

综合植物种子萌发和幼苗生长化感效应指数来看, 白三叶和辣子草为最敏感受体植物, 而紫花苜蓿最不敏感(表 1、表 2 和图 1)。选择白三叶作为代表性的敏感植物来研究紫茎泽兰叶片凋落物在入侵地土壤中的化感作用。结果表明(表 3), 在  $0 \sim 5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的低浓度叶片凋落物处理中, 添加和未添加

活性炭的白三叶生物量均未受到显著影响; 而在  $16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的高浓度处理中, 未添加活性炭的白三叶生物量较对照有显著降低, 降幅达 74.09%。可见, 低添加量的紫茎泽兰叶片凋落物对白三叶的生长没有显著影响, 高浓度凋落物的添加则显著抑制其生长, 但活性炭的添加能有效地逆转这种抑制作用。

表 3 混入了紫茎泽兰叶片凋落物的入侵地土壤中添加活性炭后白三叶的生物量

Tab. 3 Plant biomass of *T. repens* in invaded soil mixed with *A. adenophora* leaf litter with and without active carbon

处理 Treatment	百株生物量 Plant biomass of 100 plants (g)			
	$0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$	$50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$
未添加活性炭 Without active carbon	24.7±2.21a	10.2±1.34a	14.9±38b	6.4±0.61b
添加活性炭 With active carbon	24.4±1.96a	10.4±1.03a	15.8±1.52a	11.0±0.95a

## 3 讨论

作为解释外来植物成功入侵原因的一个重要方面, 外来植物的化感作用研究已经受到广泛关注。很多研究都表明外来植物能够通过化感作用实现其成功入侵和扩张<sup>[15-18]</sup>。外来入侵植物紫茎泽兰对受体植物及土壤具有化感作用。Baruah 等<sup>[19]</sup>研究发现紫茎泽兰的化感物质杜松萜烯对受体植物种子萌发和幼苗生长具有显著的抑制作用; Tian 等<sup>[20]</sup>证明了被紫茎泽兰入侵长达 10 年之久的土壤对伴生植物的生长具有化感抑制作用。然而, 前人关于紫茎泽兰化感作用的研究主要集中在其根系分泌物和茎叶淋溶物上, 关于凋落物化感作用的研究目前尚少见报道。本研究结果显示, 紫茎泽兰叶片凋落物存在化感作用。一方面, 紫茎泽兰叶片凋落物的水提液显著降低了除多年生黑麦草之外的 3 种受体植物的种子萌发率、萌发速率和幼苗长度, 且水提液浓度越高效果越明显; 另一方面, 叶片凋落物在入侵地土壤中也存在化感作用, 它明显抑制了受体植物白三叶的生长。这说明紫茎泽兰叶片凋落物的化感作用可能在竞争排挤伴生植物、实现成功入侵扩张过程中起重要作用。紫茎泽兰的叶片凋落物在入侵地土壤中降解后, 释放化感物质, 一方面通过直接抑制伴生植物种子库的积累和幼苗的生长, 最终抑制伴生植物的生长, 逐渐形成单优群落。另一方面, 凋落物的化感作用还可能间接影响土壤微生物群落, 从而改变土壤养分状况, 为紫茎泽兰的生长创造有利的土壤微环境, 增强其竞争力和入侵性, 实现其成功入侵。

另外, 本研究还发现紫茎泽兰叶片凋落物水提

液对受体植物的化感作用存在物种间差异。白三叶和辣子草显示出对化感作用很强的敏感性,紫花苜蓿则表现不敏感,这与郑丽和冯玉龙<sup>[7]</sup>的研究结果一致。紫茎泽兰叶片凋落物对多年生黑麦草的种子发芽有明显的化感促进作用,对其幼苗生长有一定的化感抑制作用,但作用较弱,这与郑丽和冯玉龙<sup>[7]</sup>研究紫茎泽兰叶片对 1 年生黑麦草具有化感抑制作用的结果不尽相同,推测可能是因为相对于 1 年生黑麦草而言,多年生黑麦草更为优良,在野外对紫茎泽兰叶片凋落物化感作用的适应性更强。此结果表明作为替代控制牧草,多年生黑麦草较其他 2 种植物更具有在野外替代控制紫茎泽兰、实现生态修复的潜力。

杨国庆等<sup>[21]</sup>研究发现紫茎泽兰植株水提液的 pH 和渗透压不会对旱稻幼苗的生长产生明显影响。本研究中,紫茎泽兰叶片凋落物各浓度水提液的平均 pH 为 6.36,  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  水提液的渗透压仅为  $32 \text{ mosm} \cdot \text{L}^{-1}$ , 与杨国庆等<sup>[21]</sup>的测定结果非常接近,所以认为本研究中水提液的 pH 和渗透压不会对后续的化感生物测定试验产生很大影响。本研究中,低浓度水提液对受体种子幼苗生长有促进作用,说明此时水提液可能主要起营养作用,化感作用很微弱,其抑制效应可能已被抵消。随着浓度的升高,化感物质逐渐增多,化感作用越来越明显,逐渐起主导作用。可见,化感物质起作用需要达到一定的浓度,尤其是在自然条件下,外来植物向土壤中释放的化感物质浓度只有达到了某一有效作用阈值,才会对周围的伴生植物产生抑制效果<sup>[22]</sup>。紫茎泽兰在中国西南地区已经大面积扩张,每年的 4 月中旬到 5 月初,花期过后,大面积的紫茎泽兰成株会自动脱落茎秆上的所有叶片,叶片凋落进入土壤降解后会释放大量的化感物质,这些物质累积到一定浓度后,就会对伴生植物产生抑制作用。研究紫茎泽兰叶片凋落物的化感作用,明确其产生化感效应的作用阈值浓度,一方面可以为从凋落物的角度去控制管理紫茎泽兰提供新思路,另一方面,还可以从紫茎泽兰叶片凋落物较强的化感作用出发,考虑开发潜在的除草剂,从变害为宝的角度控制紫茎泽兰的进一步入侵。

## 参考文献

- [1] Wang R, Wang Y Z. Invasion dynamics and potential spread of the invasive alien plant species *Ageratina adenophora* (Asteraceae) in China[J]. Diversity and Distributions, 2006, 12(4): 397–408
- [2] Lu Z J, Ma K P. Spread of the exotic crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) across southwest China along roads and streams[J]. Weed Science, 2006, 54(6): 1068–1072
- [3] 刘万学, 杨国庆, 冯玉龙, 等. 紫茎泽兰的入侵机制与控制管理[M]. 万方浩, 郭建英, 张峰, 等. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社, 2009: 197–208
- [4] Callaway R M, Ridenour W M. Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability[J]. Front Ecol Environ, 2004, 2(8): 436–443
- [5] Inderjit, Callaway R M. Experimental designs for the study of allelopathy[J]. Plant and Soil, 2003, 256(1): 1–11
- [6] Thelen G C, Vivanco J M, Newingham B, et al. Insect herbivory stimulates allelopathic exudation by an invasive plant and suppression of natives[J]. Ecology Letters, 2005, 8(2): 209–217
- [7] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2782–2787
- [8] Yang G Q, Wan F H, Liu W X, et al. Physiological effects of allelochemicals from leachates of *Ageratina adenophora* (Spreng.) on rice seedlings[J]. Allelopathy Journal, 2006, 18(2): 237–246
- [9] Yang G Q, Wan F H, Liu W X, et al. Influence of two allelochemicals from *Ageratina adenophora* sprengel on ABA, IAA and ZR contents in roots of upland rice seedlings[J]. Allelopathy Journal, 2008, 21(2): 253–262
- [10] 王紫娟, 刘万学, 蔡静萍, 等. 紫茎泽兰根系分泌物对旱稻的化感作用[J]. 现代农业科技, 2007(16): 71–72
- [11] 吕霞, 张汉波, 张婷, 等. 紫茎泽兰根分泌物的化感潜力[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(3): 314–317, 24
- [12] Belz R G, Reinhardt C F, Foxcroft L C, et al. Residue allelopathy in *Parthenium hysterophorus* L.—Does parthenin play a leading role[J]. Crop Protection, 2007, 26(3): 237–245
- [13] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 123–126
- [14] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment response with independent controls[J]. J Chem Ecol, 1988, 14(1): 181–188
- [15] Ridenour W M, Callaway R M. The relative importance of allelopathy in interference: The effects of an invasive weed on a native bunchgrass[J]. Oecologia, 2001, 126(3): 444–450
- [16] Abhilasha D, Quintana N, Vivanco J, et al. Do allelopathic compounds in invasive *Solidago canadensis* s.l. restrain the native European flora?[J]. Journal of Ecology, 2008, 96(5): 993–1001
- [17] Vaughn S F, Berhow M A. Allelochemicals isolated from tissues of the invasive weed garlic mustard (*Alliaria petiolata*)[J]. Journal of Chemical Ecology, 1999, 25(11): 2495–2504
- [18] Zangerl A R, Berenbaum M R. Increase in toxicity of an invasive weed after reassociation with its coevolved herbivore[J]. PNAS, 2005, 102(43): 15529–15532
- [19] Baruah N C, Sarma J C, Sarma S, et al. Seed germination and growth inhibitory cadinenes from *Eupatorium adenophorum* sprengel[J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(8): 1885–1892
- [20] Tian Y H, Feng Y L, Liu C. Addition of activated charcoal to soil after clearing *Ageratina adenophora* stimulates growth of forbs and grasses in China[J]. Tropical Grasslands, 2007, 41: 285–291
- [21] 杨国庆, 万方浩, 刘万学. 紫茎泽兰水提液的化感潜势及其渗透压的干扰效应[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2073–2078
- [22] Weidenhamer J D. New approaches for the analyse of allelochemicals in soil[J]. Allelopathy Journal, 2007, 19(1): 135–142