

发育时期对紫茎泽兰化感作用的影响

韩利红^{1,2}, 冯玉龙^{1,*}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 :为探讨紫茎泽兰化感作用与其入侵性的关系,利用生物检测法研究了不同发育时期紫茎泽兰叶片水提液对 4 种本地草本植物种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明,高浓度时紫茎泽兰叶片水提液能显著抑制 4 种本地植物种子发芽率、发芽速度,但低浓度时有时抑制作用不显著,甚至有促进作用。除狗肝菜胚轴生长外,不同浓度下紫茎泽兰叶水提液均能抑制 4 种本地植物胚轴和胚根生长,但有时对胚轴生长的抑制作用不显著,甚至有促进作用。不同植物和同种植物的不同参数对紫茎泽兰化感作用的敏感程度不同,拔毒散和狗肝菜的种子萌发参数较敏感,莎草砖子苗的生长参数较敏感,种子发芽速度和胚根生长较敏感。总的看,随发育时间的增加,紫茎泽兰抑制本地植物种子萌发和幼苗生长的最低叶片提取液浓度减小,相同浓度下叶片水提液对本地植物的抑制作用增强,表明紫茎泽兰化感作用增强。化感作用在紫茎泽兰入侵的不同阶段所起的作用可能不同。

关键词 :紫茎泽兰;化感作用;发育期;入侵性

文章编号 :1000-0933 (2007) 03-1185-07 中图分类号 :Q948 文献标识码 :A

The effects of growth and development stage on allelopathy of *Eupatorium adenophorum*

HAN Li-Hong^{1,2}, FENG Yu-Long^{1,*}

1 Kunming Division, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China

2 Graduate school, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 1185 ~ 1191.

Abstract : As one of the most noxious plant invaders in China, *Eupatorium adenophorum* Sprengel not only severely threatens the biodiversity security but also leads to huge economic costs to the country. *E. adenophorum* has allelochemicals, which can inhibit seed germination of some species, such as pea, sensitive to allelochemicals. However, The effects of *E. adenophorum*'s allelochemicals on wild species that compete directly with it during the early stage of invasion are not very clear. Furthermore, the relationship between allelopathy and invasiveness is not known in *E. adenophorum* although it had been hypothesized that allelopathy plays an important role in biological invasion for other invasive species. In this study, the effects were determined of aqueous extract of leaves collected from 6 growth and developmental stages (from 60 d to 925d old plants) on seed germination and seedling growth of 4 herbaceous species. The main purpose of this study was to know whether allelopathy was development dependent in *E. adenophorum*, and the relationship between invasiveness and allelopathy.

Allelopathy of *E. adenophorum* was concentration dependent. At high concentration, aqueous leaf extract of *E.*

基金项目 :中国科学院知识创新工程重大资助项目 (KSCX1-SW-13-0X-0X)

收稿日期 :2005-12-14 ;修订日期 :2006-05-30

作者简介 :韩利红 (1983 ~),女,河北人,硕士生,主要从事入侵生态学研究。

* 通讯作者 Corresponding authour. E-mail :fyl@xtbg.ac.cn

Foundation item :This work was financially supported by Key Project of Knowledge Innovation Engineering of Chinese Academy of Sciences (No. (KSCX1-SW-13-0X-0X))

Received date 2005-12-14 ;**Accepted date** 2006-05-30

Biography :HAN Li-Hong, Master candidate, mainly engaged in invasion ecology.

adenophorum could significantly inhibit seed germination rate and speed of the four studied native species, whereas its effect was not significant occasionally at lower concentration or even increased seed germination. At both high and low concentration, *E. adenophorum* leaf extract could inhibit radicle and hypocotyl growth of the four natives except hypocotyl growth of *Dipliptera roxburghiana*, but occasionally its effect was not significant or even increased hypocotyl growth. The sensitivities to *E. adenophorum*'s allelochemicals were different among different native species and among different variables of the same species. Variables related to seed germination were more susceptible for *Sida szechuensis* and *D. roxburghiana* than for *Isodon ternuifolia* and *Mariscus cyperinus*, while growth-related variables more susceptible for *M. cyperinus* than for the others. Seed germination speed was more susceptible than germination rate; and radicle than hypocotyls. In general, with the increase of development stage, the inhibitory effects on natives of *E. adenophorum* leaf extract at the same concentration increased and the lowest inhibitory concentration decreased. The results indicated that allelopathy increased with development in *E. adenophorum*, and the role of allelopathy may be different at different stage of invasion.

Key Words: *Eupatorium adenophorum*; allelopathy; growth and development stage; invasiveness

紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum* Sprengel) 为菊科泽兰属多年生草本植物, 原产中美洲, 自 20 世纪 40 ~ 50 年代入侵到中国以来, 迅速演变为中国西南地区的主要外来入侵植物, 对当地自然和农业生态系统造成了严重危害^[1]。外来植物成功入侵的原因是多方面的, 目前认为较强的繁殖能力和对新环境的适应能力是入侵种的基本特征^[2], 紫茎泽兰种子产量高^[3], 适应光^[4]和养分^[5]变化的能力强。Bais 等^[6]和 Shao 等^[7]认为化感作用在植物入侵过程中起着非常重要的作用, Callaway 和 Aschehould^[8]发现外来种在入侵地比在原产地对本地种的化感作用更大。紫茎泽兰具有较强的化感作用, 植株不同部分的抽提物均能抑制植物的种子萌发和幼苗生长^[9~12]。但在紫茎泽兰与其它植物组成的 1 年生人工群落中, 紫茎泽兰未通过化感作用影响相邻植物^[13], 表明生长发育早期紫茎泽兰释放的化感物质少, 在入侵中化感作用不大。但随着生长发育时间的延长, 紫茎泽兰是否会利用化感这一武器排挤本地物种还不清楚。植物化感物质属次生代谢物质, 随发育期和环境的改变, 其组成和含量可能会改变^[14~16], 这种变化可能会影响到入侵种和本地种的种间竞争关系。为探明发育时期对紫茎泽兰化感作用的影响, 本文比较研究了 6 个发育时期的紫茎泽兰叶片水提液对 4 种本地植物种子萌发和幼苗生长的影响。

1 材料与方法

1.1 紫茎泽兰叶片水提液的制备

以人工栽培条件下 (100% 光) 生长 60、90、110、140、200d 和 925d 的紫茎泽兰为供体材料, 此时紫茎泽兰株高分别约为 10、25、45、65、85cm 和 105cm, 叶片数分别约为 8、20、46、150、400、1000 片, 分别记为发育期 I、II、III、IV、V、VI。多数学者认为植物叶片中含有的化感物质较多^[17~19], 所以本文选用紫茎泽兰叶片水提液进行化感作用研究。I 至 IV 期紫茎泽兰为当年生植株, 雨季采集叶片时处于营养生长阶段, V 和 VI 期紫茎泽兰分别为 2 年生和 4 年生植株, 干季采集叶片时处于生殖生长阶段。在不同发育期, 选择生长正常、长势基本一致的紫茎泽兰 5 ~ 10 株, 取不同枝条下数第 3 ~ 5 片成熟叶为供试材料。紫茎泽兰叶片在室温条件下阴干, 研磨成粉状, 按每 100 ml 蒸馏水 2.5 g 干物质的比例浸泡 48 h, 双层纱布过滤两次后即得 2.5% 的紫茎泽兰叶片抽提母液, 4℃ 保存备用。

1.2 受体植物

受体植物为紫茎泽兰入侵早期直接与之竞争的 4 种本地草本植物: 拔毒散 (*Sida szechuensis* Mast.)、狗肝菜 (*Dipliptera roxburghiana* Nees)、牛尾草 (*Isodon ternuifolia* (D. Don) Kudo) 和莎草砖子苗 (*Mariscus cyperinus* Vahl)。它们均为易被紫茎泽兰入侵群落中的常见种。

1.3 种子萌发试验

采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验^[20]。种子预先用 0.1% NaClO 溶液表面消毒 10 min, 蒸馏水冲洗 3

次^[21]。选取籽粒饱满、大小均一的受体植物种子 40 粒置于铺有两层滤纸的培养皿中 ,分别加入 15 ml 各浓度紫茎泽兰叶片提取液 (分别为 0.25%、0.8%、1.7%、2.5% ,以蒸馏水为对照) ,在 30℃、80% 湿度、30 μmol m⁻² s⁻¹ 12 h 光照的条件下进行培养 ,每处理 3 个重复。以胚根冲破种皮为发芽标准 ,每天记录发芽种子的数量 ,直到种子不再萌发时测量胚根和胚轴长度。

发芽率 = (发芽种子总数 / 供试种子总数) × 100%

发芽速度 = Σ (Gt / Dt)

式中 ,Gt 为逐日发芽种子数 ,Dt 为相应发芽天数。由于物种间种子萌发和生长参数差异较大 ,为便于比较 ,本文使用相对值 (对照的百分比)表示发芽率、发芽速度、胚轴和胚根长度。

1.4 统计分析

利用 SPSS 12.0 (SPSS Inc. , Chicago , Illinois , USA) 一维方差分析 (LSD-test) 检验同一浓度下各参数在不同发育期的差异显著性。

2 结果

2.1 紫茎泽兰叶片水提液对本地植物种子萌发的影响

高浓度 (1.7% 和 2.5%) 时 ,各发育期的紫茎泽兰叶片提取液均显著降低了 4 种本地植物 (除Ⅳ期 1.7% 时对莎草砖子苗外) 的种子发芽率和发芽速度 ,Ⅳ期 2.5% 浓度叶片提取液完全抑制了狗肝菜种子萌发 ,1.7% 时狗肝菜发芽率和发芽速度也极低 (表 1) 。低浓度 (0.25% 和 0.8%) 时仍能显著降低拔毒散的种子发芽率和狗肝菜的发芽速度 ,但有时对狗肝菜发芽率和拔毒散发芽速度影响不显著 ,甚至促进了牛尾草和莎草砖子苗的种子萌发。相比之下 ,拔毒散和狗肝菜对紫茎泽兰化感作用更敏感 ,种子发芽速度比发芽率更敏感。随发育期 (Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ期) 的增加 ,同浓度下紫茎泽兰叶片提取液对拔毒散 (1.7%、2.5%) 和狗肝菜 (0.8%、1.7%、2.5%) 的种子发芽率和发芽速度的抑制作用增强 ,对莎草砖子苗 (2.5%) 种子发芽率和牛尾草 (2.5%) 种子发芽速度的抑制作用也增强 ,在其它发育时期 (如Ⅰ至Ⅲ期 2.5% 时狗肝菜的发芽率) 也能发现类似的规律。不同发育时期紫茎泽兰叶片提取液抑制拔毒散种子发芽速度的最低浓度也不同 ,前 3 个发育期为 1.7% ,后 3 个发育期降为 0.25% 或 0.8% 。表明紫茎泽兰叶片化感作用有随发育时间的增加而增强的趋势。

2.2 紫茎泽兰叶片水提液对幼苗胚轴和胚根生长的影响

低浓度 (0.8% 和 0.25%) 时紫茎泽兰叶片提取液显著促进了狗肝菜的胚轴生长 ;高浓度 (1.7% 和 2.5%) 时前 3 个发育期叶片仍表现显著促进作用 ,但后 3 个发育期叶片 (除Ⅳ期 1.7%) 表现显著抑制作用 (表 2) 。不同浓度下紫茎泽兰叶片提取液均抑制了莎草砖子苗胚轴生长 (6 例不显著) ,但有时促进了拔毒散 (5 例 ,1 例显著) 和牛尾草 (2 例 ,1 例显著) 的胚轴生长。有趣的是这些现象都发生在前 3 个发育期 ,后 3 个发育期各浓度叶片提取液均显著抑制了拔毒散、牛尾草和莎草砖子苗的胚轴生长 ,且 4 个浓度下紫茎泽兰叶提取液的抑制作用均随发育期增加而增大。显著抑制狗肝菜和牛尾草 (除Ⅲ期) 胚轴生长的最低作用浓度也随发育期增加而降低。

6 个发育期各浓度的紫茎泽兰叶片提取液对 4 种本地植物胚根生长均有显著的抑制作用 (表 2) ,且除 0.8%、1.7% 浓度下莎草砖子苗和 0.8% 和 1.7% 浓度下拔毒散外 ,4 个浓度下后 3 个发育期叶片提取液对 4 种植物的抑制作用均随发育期增加而增大。

与胚轴相比 ,胚根生长对紫茎泽兰化感作用更敏感 ;与其它植物相比 ,莎草砖子苗胚轴和胚根生长对紫茎泽兰化感作用更敏感。

3 讨论

紫茎泽兰叶片水提液能降低本地植物种子发芽率、发芽速度、胚根和胚轴 (狗肝菜除外) 长度 ,浓度越高效果越明显 ,但低浓度时有时会促进本地植物种子萌发和幼苗生长 (表 1 和 2) ,这与文献一致^[12 22~24]。紫茎泽兰化感物质也能影响本地种幼苗形态 ,使胚轴弯曲、枯黄 ,根变硬 ,根毛减少 ,呈褐色 ,且叶水提液浓度越高

上述变化越明显。不同植物和同种植物的不同参数对紫茎泽兰化感作用的敏感程度不同 ,与发芽率相比 ,种子发芽速度更敏感 ;与胚轴相比 ,胚根更敏感 ,文献也有类似报道^[12, 25 ~ 28] ,拔毒散和狗肝菜种子萌发参数比另两种植物更敏感 ,牛尾草和莎草砖子苗幼苗生长参数更敏感。

种子萌发对物种更新至关重要 ,种子发芽率和发芽速度降低可能会降低本地种在群落中的多度和早期竞争力 ,相应提高外来种对地上和地下资源的竞争能力^[18, 29, 30]。化感物质对胚根生长的抑制使本地植物根系变小 ,吸收养分能力下降 ,对胚轴生长的抑制使植株矮小瘦弱 ,光合能力变弱 ,降低本地种对资源的有效利用 ,进而直接影响本地种以后的生长发育及其在群落中的地位和作用^[12]。

表 1 不同发育期紫茎泽兰的成熟叶片水提液对 4 种本地植物种子相对发芽率和发芽速度 (对照的%) 的影响
Table 1 Effects of aqueous mature leaf extracts of *Eupatorium adenophorum* of different growth and development stages on relative seed germination rate and speed (percent of control) of four native herbaceous species

发育期和浓度 Development stages and concentration	拔毒散 <i>Sida szechuensis</i>	狗肝菜 <i>Dipliptera roxburghianus</i>	牛尾草 <i>Isodon ternuifolia</i>	莎草砖子苗 <i>Mariscus cyperinus</i>
0.25%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^b	100.00 ^a /100.00 ^a	100.0 ^{ab} /100.0 ± 1.52 ^{cd}	100.00 ^d /100.00 ^d
I	80.33 ± 0.88 ^c /101.00 ± 1.53 ^b	93.00 ± 1.15 ^{ab} /71.00 ± 1.53 ^c	100.33 ± 3.93 ^{ab} /105.00 ± 1.15 ^b	96.00 ± 0.58 ^e /87.00 ± 1.53 ^e
II	88.00 ± 0.58 ^b /113.00 ± 4.04 ^a	86.00 ± 1.73 ^c /58.00 ± 1.53 ^d	89.00 ± 1.53 ^c /98.00 ± 1.15 ^d	93.00 ± 1.00 ^f /80.00 ± 1.00 ^f
III	74.67 ± 1.45 ^d /101.00 ± 2.52 ^b	93.00 ± 2.08 ^{abc} /90.00 ± 1.53 ^b	89.00 ± 0.58 ^e /93.00 ± 1.15 ^e	100.00 ± 1.15 ^d /101.00 ± 0.58 ^d
IV	84.00 ± 3.21 ^{bc} /97.00 ± 1.73 ^b	96.00 ± 3.51 ^{ab} /47.00 ± 2.08 ^e	96.00 ± 1.00 ^b /103.00 ± 1.53 ^{bc}	112.00 ± 0.58 ^a /129.00 ± 0.58 ^a
V	72.00 ± 1.15 ^d /78.00 ± 1.53 ^c	88.67 ± 0.88 ^{bc} /39.00 ± 0.58 ^f	107.00 ± 1.53 ^a /118.00 ± 1.53 ^a	109.00 ± 1.00 ^b /124.00 ± 0 ^b
VI	88.00 ± 0.58 ^b /103.00 ± 1.15 ^b	96.00 ± 0.58 ^{ab} /45.00 ± 0.58 ^e	107.00 ± 1.15 ^a /116.00 ± 0 ^a	103.00 ± 1.00 ^c /111.00 ± 2.00 ^c
0.8%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^c	100.00 ^b /100.00 ^c
I	80.33 ± 0.67 ^b /105.00 ± 3.79 ^a	72.00 ± 1.73 ^c / 57.00 ± 1.15 ^c	92.00 ± 2.52 ^b /95.00 ± 2.89 ^c	90.00 ± 0.58 ^d /77.00 ± 1.53 ^c
II	78.00 ± 1.53 ^b /100.00 ± 1.15 ^a	69.00 ± 1.53 ^c /37.00 ± 2.52 ^d	77.00 ± 1.53 ^d /82.00 ± 1.15 ^e	87.00 ± 0.58 ^e /76.00 ± 1.00 ^e
III	72.00 ± 0.58 ^c /97.00 ± 2.52 ^a	83.00 ± 2.31 ^d /70.00 ± 1.73 ^b	82.00 ± 1.00 ^e /88.00 ± 2.00 ^d	96.00 ± 1.15 ^c /81.00 ± 1.73 ^d
IV	60.00 ± 2.08 ^d /66.00 ± 1.15 ^b	95.67 ± 1.33 ^b /41.00 ± 1.53 ^d	88.00 ± 1.53 ^b /63.00 ± 1.53 ^f	106.00 ± 0.58 ^a /118.00 ± 1.00 ^a
V	48.00 ± 1.53 ^c /52.00 ± 2.08 ^c	89.00 ± 1.15 ^c /40.00 ± 0.58 ^d	103.00 ± 1.53 ^a /113.00 ± 2.08 ^a	106.00 ± 1.00 ^a /106.00 ± 1.00 ^b
VI	60.00 ± 1.73 ^d /61.00 ± 1.15 ^b	62.00 ± 0.58 ^f /20.00 ± 0.58 ^e	92.00 ± 1.15 ^b /107.00 ± 1.53 ^b	103.00 ± 1.53 ^a /100.00 ± 0 ^c
1.7%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^{ab} /100.00 ^a
I	70.33 ± 1.20 ^c /86.00 ± 2.08 ^b	89.67 ± 0.88 ^b /64.00 ± 1.15 ^b	85.00 ± 0.58 ^{cd} /90.00 ± 1.53 ^b	96.00 ± 1.00 ^b /64.00 ± 2.00 ^c
II	78.00 ± 1.15 ^b /90.00 ± 2.89 ^b	76.00 ± 1.73 ^c /65.00 ± 1.15 ^b	74.00 ± 1.53 ^c /78.00 ± 1.53 ^c	90.00 ± 1.15 ^c /67.00 ± 1.53 ^c
III	66.00 ± 1.73 ^c /73.00 ± 1.15 ^c	90.00 ± 1.15 ^b /39.00 ± 0.58 ^c	83.33 ± 0.33 ^d /86.00 ± 0.58 ^b	96.00 ± 2.00 ^b /81.00 ± 1.00 ^b
IV	57.00 ± 1.53 ^d /57.00 ± 1.73 ^d	68.00 ± 1.53 ^d /28.00 ± 1.53 ^d	88.00 ± 1.00 ^e /74.00 ± 1.53 ^d	103.33 ± 0.88 ^a /100.00 ± 0.58 ^a
V	27.00 ± 1.73 ^c /22.00 ± 1.15 ^c	10.00 ± 0.58 ^e /2.00 ± 0.58 ^e	88.00 ± 1.15 ^c /86.00 ± 1.00 ^b	66.00 ± 1.53 ^d /47.00 ± 1.73 ^d
VI	21.00 ± 2.08 ^f /16.00 ± 1.53 ^f	3.40 ± 0.17 ^f /0.70 ± 0.10 ^e	96.00 ± 0 ^b /89.00 ± 1.53 ^b	87.00 ± 0.58 ^e /66.00 ± 1.00 ^c
2.5%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a
I	45.00 ± 1.73 ^c /52.00 ± 1.00 ^d	85.00 ± 1.15 ^b /46.00 ± 2.31 ^b	77.00 ± 1.53 ^d /77.00 ± 1.53 ^{cd}	84.00 ± 1.00 ^c /65.00 ± 0.58 ^c
II	54.00 ± 1.73 ^b /57.00 ± 1.15 ^c	69.00 ± 2.00 ^c /23.00 ± 1.15 ^d	74.00 ± 1.53 ^c /75.00 ± 0.58 ^d	84.00 ± 0 ^c /63.00 ± 1.00 ^d
III	25.00 ± 1.73 ^c /63.00 ± 1.73 ^b	23.00 ± 1.53 ^d /35.67 ± 0.88 ^c	77.00 ± 1.53 ^{de} / 80.00 ± 1.00 ^c	90.00 ± 1.73 ^b /60.00 ± 0 ^c
IV	36.00 ± 1.53 ^d /30.00 ± 1.73 ^c	6.00 ± 0.58 ^e /1.33 ± 0.33 ^e	80.00 ± 2.31 ^{cd} /87.00 ± 1.53 ^b	87.00 ± 1.0 ⁰ ^{bc} /69.00 ± 0.58 ^b
V	24.00 ± 1.15 ^e /20.00 ± 2.52 ^f	6.90 ± 0.12 ^e /0.90 ± 0.06 ^e	84.00 ± 0.58 ^{bc} /71.00 ± 1.00 ^c	54.00 ± 1.53 ^d /37.00 ± 0.58 ^g
VI	15.00 ± 1.53 ^f /7.00 ± 1.15 ^g	0 ± 0 ^f /0 ± 0 ^f	88.00 ± 1.00 ^b /65.33 ± 1.45 ^f	45.00 ± 1.53 ^e /45.00 ± 0 ^f

I、II、III、IV、V 和 VI 分别表示生长 60、90、110、140、200 d 和 925 d 的紫茎泽兰 ;发芽率/发芽速度 数据为 3 次测定平均值 ± 标准误差 ;不同字母表示相同浓度下不同发育期 (包括对照)间相同参数差异显著 ($P < 0.05$) I ,II ,III ,IV ,V and VI indicate *E. adenophorum* plants grown for 60 ,90 ,110 ,140 ,200 d and 925 d , respectively ;Germination rate/germination speed ,data are mean ± SE of 3 separate experiments. Different letters indicate significant differences at the same concentration among different development stages (including control) ($P < 0.05$) ;下同 the same below

表2 不同发育期紫茎泽兰的成熟叶片水提液对4种本地植物胚轴和胚根相对长度(对照的%)的影响

Table 2 Effects of aqueous mature leaf extracts of *Eupatorium adenophorum* of different growth and development stages on relative length (percent of control) of hypocotyl and radicle of four native herbaceous species

发育期和浓度 development stages and concentration	拔毒散 <i>Sida szechuensis</i>	狗肝菜 <i>Dipliptera roxburghianas</i>	牛尾草 <i>Isodon ternuifolia</i>	莎草砖子苗 <i>Mariscus cyperinus</i>
0.25%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^c /100.00 ^a	100.00 ^b /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a
I	90.94 ± 2.66 ^b /60.42 ± 1.89 ^c	152.91 ± 3.14 ^b /68.99 ± 1.44 ^c	97.44 ± 2.13 ^b /37.73 ± 0.82 ^d	92.57 ± 1.13 ^b /33.61 ± 0.79 ^b
II	105.37 ± 1.74 ^a /61.60 ± 1.32 ^{bc}	160.76 ± 2.91 ^b /64.77 ± 1.21 ^d	101.55 ± 2.52 ^b /55.10 ± 2.38 ^c	88.71 ± 1.19 ^b /35.40 ± 1.03 ^b
III	80.47 ± 2.47 ^c /69.02 ± 1.72 ^{bc}	171.64 ± 2.87 ^a /78.06 ± 1.00 ^b	109.36 ± 2.81 ^a /50.89 ± 1.57 ^c	92.23 ± 1.31 ^b /34.34 ± 0.76 ^b
IV	74.29 ± 2.54 ^{cd} /71.56 ± 3.20 ^{bc}	110.85 ± 3.03 ^d /41.91 ± 1.24 ^e	80.68 ± 2.53 ^c /65.64 ± 2.94 ^b	71.56 ± 1.36 ^d /27.24 ± 0.96 ^c
V	75.09 ± 2.81 ^{cd} /66.73 ± 2.94 ^{bc}	118.19 ± 3.20 ^d /40.35 ± 1.11 ^e	82.82 ± 2.25 ^c /50.36 ± 1.37 ^c	79.60 ± 1.50 ^c /20.98 ± 0.69 ^d
VI	67.49 ± 2.62 ^d /61.60 ± 3.71 ^{bc}	133.24 ± 2.97 ^c /35.07 ± 0.94 ^f	72.63 ± 2.23 ^d /39.56 ± 1.67 ^d	61.76 ± 1.14 ^e /15.61 ± 0.74 ^e
0.8%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^c /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a
I	101.48 ± 1.96 ^a /65.93 ± 1.60 ^b	164.74 ± 3.99 ^a /51.28 ± 1.42 ^b	90.63 ± 1.60 ^b /38.67 ± 1.09 ^{bc}	99.24 ± 1.48 ^a /27.88 ± 0.68 ^b
II	100.88 ± 2.35 ^a /48.43 ± 1.02 ^c	121.44 ± 2.76 ^b /30.55 ± 0.89 ^c	89.25 ± 1.97 ^b /34.03 ± 1.78 ^{cd}	91.53 ± 1.29 ^b /19.23 ± 0.43 ^c
III	84.57 ± 2.40 ^b /62.62 ± 1.75 ^b	131.79 ± 2.49 ^b /52.23 ± 0.98 ^b	99.74 ± 1.78 ^a /39.87 ± 1.41 ^{bc}	98.22 ± 1.39 ^a /28.07 ± 0.56 ^b
IV	85.25 ± 3.22 ^b /56.39 ± 4.01 ^{bc}	130.54 ± 2.67 ^b /29.20 ± 0.86 ^c	74.07 ± 2.21 ^c /44.40 ± 1.85 ^b	63.63 ± 1.26 ^c /8.71 ± 0.39 ^d
V	79.17 ± 3.21 ^b /63.98 ± 4.23 ^b	120.73 ± 3.85 ^b /24.86 ± 0.95 ^d	75.92 ± 2.31 ^c /38.92 ± 1.65 ^{bc}	59.99 ± 1.42 ^c /10.12 ± 0.25 ^d
VI	79.91 ± 3.12 ^b /47.88 ± 2.28 ^c	108.34 ± 4.59 ^c /22.44 ± 1.09 ^d	66.41 ± 2.19 ^d /29.26 ± 1.77 ^d	52.86 ± 1.33 ^d /8.89 ± 0.25 ^d
1.7%				
对照 CK	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^c /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a
I	81.52 ± 1.74 ^{bc} /62.62 ± 1.14 ^b	161.43 ± 2.76 ^a /44.78 ± 0.81 ^b	90.41 ± 1.67 ^b /39.05 ± 0.82 ^b	81.11 ± 1.67 ^b /21.47 ± 0.55 ^b
II	109.00 ± 1.78 ^a /39.61 ± 0.63 ^c	101.05 ± 2.17 ^c /22.08 ± 0.77 ^d	87.06 ± 2.53 ^b /24.13 ± 1.26 ^c	99.03 ± 2.72 ^a /12.07 ± 0.35 ^{cd}
III	89.32 ± 1.53 ^b /46.99 ± 1.23 ^c	144.35 ± 2.48 ^b /32.15 ± 0.77 ^c	93.65 ± 1.48 ^{ab} /38.64 ± 0.98 ^b	99.49 ± 1.94 ^a /14.67 ± 0.47 ^c
IV	76.87 ± 5.16 ^c /48.83 ± 3.81 ^c	113.64 ± 3.14 ^c /19.17 ± 1.06 ^d	71.00 ± 2.11 ^c /25.52 ± 2.12 ^c	50.68 ± 1.46 ^c /3.73 ± 0.17 ^e
V	65.81 ± 4.57 ^d /42.83 ± 3.41 ^c	66.67 ± 8.02 ^d /19.04 ± 1.08 ^d	70.66 ± 2.61 ^c /16.36 ± 1.01 ^d	51.76 ± 1.24 ^c /9.53 ± 0.37 ^d
VI	57.91 ± 4.14 ^d /43.53 ± 5.54 ^c	0 ± 0 ^d /0 ± 0 ^e	59.49 ± 3.00 ^d /13.09 ± 0.84 ^d	29.26 ± 1.05 ^d /3.54 ± 0.03 ^e
2.5%				
对照 CK	100.00 ^b /100.00 ^a	100.00 ^b /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a	100.00 ^a /100.00 ^a
I	84.51 ± 2.40 ^c /53.95 ± 1.43 ^b	138.16 ± 2.75 ^a /36.80 ± 0.79 ^b	90.94 ± 2.20 ^a /34.38 ± 0.64 ^b	92.60 ± 1.53 ^a /20.60 ± 0.82 ^b
II	113.89 ± 2.13 ^a /36.79 ± 0.83 ^{cd}	110.11 ± 3.44 ^b /13.60 ± 0.61 ^d	79.05 ± 2.27 ^b /22.85 ± 0.64 ^d	80.12 ± 1.62 ^b /12.02 ± 0.34 ^c
III	81.35 ± 2.01 ^c /47.10 ± 1.31 ^{bc}	130.29 ± 3.50 ^a /20.98 ± 0.81 ^c	94.05 ± 2.05 ^a /29.36 ± 0.81 ^c	95.27 ± 1.85 ^a /11.63 ± 0.31 ^c
IV	82.02 ± 6.20 ^c /51.70 ± 3.95 ^b	46.49 ± 1.41 ^c /9.99 ± 0.48 ^d	61.43 ± 4.50 ^c /11.79 ± 1.38 ^e	39.40 ± 1.63 ^c /3.63 ± 0.03 ^d
V	76.16 ± 7.23 ^c /29.45 ± 2.28 ^d	0 ± 0 ^d /0 ± 0 ^e	50.47 ± 2.53 ^d /7.02 ± 0.53 ^c	32.27 ± 2.22 ^d /3.61 ± 0.04 ^d
VI	74.89 ± 5.06 ^c /32.53 ± 3.39 ^d	0 ± 0 ^d /0 ± 0 ^e	54.55 ± 3.18 ^{cd} /6.16 ± 0.63 ^{e±}	13.11 ± 0.89 ^e /1.95 ± 0.31 ^d

胚轴/胚根 Hypocotyl/radicle

发育时期对紫茎泽兰叶片化感作用有显著的影响,随发育期的增加,抑制本地种种子萌发和幼苗生长的最低叶片提取液浓度减小,相同浓度下叶片水提液对本地种的抑制作用增强(表1和2)。紫茎泽兰叶提取液对本地种幼苗形态的影响也随发育期而增大。总的看,随发育期的增加,紫茎泽兰叶片化感作用有增强的趋势,Ⅳ、Ⅴ和Ⅵ期叶的化感作用大于Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ期叶。这也表明在入侵早期防除紫茎泽兰对本地种生长更有利。化感物质属次生代谢产物,其种类和数量可能会随发育期和环境而改变。生殖生长期胜红蓟的化感作用比营养生长期强^[14]。生长后期自根茄的化感作用增强^[15]。水稻化感作用也随环境条件和生育期而变化^[31]。公路边和落叶阔叶林下紫茎泽兰的化感作用强于常绿阔叶林下^[1]。营养匮乏时胜红蓟的化感作用强于营养丰富时^[32]。秋季温度和降水不利于胜红蓟生长,其化感作用增强^[33]。一年中不同时间三叶鬼针草对3种经济作物种子萌发和幼苗生长的影响显著不同,且抑制作用与前一个月的降雨量呈负相关^[34]。紫茎泽

兰Ⅰ至Ⅳ期叶均采于雨季,环境变化较小,Ⅳ期叶化感作用强可能主要是发育期和植株大小的作用。Ⅴ和Ⅵ期叶采于干季,植株处于生殖阶段,此时紫茎泽兰强的化感作用可能是生育期和环境共同作用的结果。

利用生物检测技术的室内研究均发现紫茎泽兰具有很强的化感作用^[9,10,12],但自然条件下紫茎泽兰与其它植物间的活体化感作用研究很少。王俊峰等^[13]用紫茎泽兰与其它物种等比例混栽组成人工群落,3个月后未检测到紫茎泽兰通过化感作用影响混栽的其它物种。本研究发现生长早期紫茎泽兰化感作用较弱,加之其总生物量较低,化感物质释放总量有限,这可能是王俊峰等^[13]小区试验中检测不到紫茎泽兰化感作用的部分原因。随生长发育时间的延长,紫茎泽兰化感作用增强(表1和2),加之其总生物量的增加,释放到土壤中的化感物质增多,积累到一定程度可能会抑制本地植物种子萌发和幼苗生长。而此时本地种对紫茎泽兰的化感物质也可能会变得更敏感,因为经过一定时间生长后紫茎泽兰会增加枝叶荫庇本地物种^[4,5],进而影响本地种的生长发育。这预示紫茎泽兰化感效应在其入侵中的作用会随入侵的不同阶段而变化,入侵早期化感作用意义不大,经一定时间生长后化感作用的意义增大。目前作者正利用小区栽培试验验证这种推测。

References :

[1] Yu X J , Yu D , Ma K P. Relationships between allelopathy and invasiveness by *Eupatorium adenophorum* at different sites. *Acta Phytoecological Sinica* ,2004 ,28 (6) :773 — 780.

[2] Gao Z X , Ji R , Xu N M. Biological invasions : process , mechanism and prediction. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 ,23 (3) :559 — 570.

[3] Feng Y L , Wang Y H , Liu Y Y , *et al.* Studies on the Karyotype of *Chromolaena odorata* and *Ageratina adenophora*. *Bulletin of Botanical Research* ,2006 ,26 (3) 356 — 360.

[4] Wang J F , Feng Y L. The effect of light intensity on biomass allocation , leaf morphology and relative growth rate of two invasive plants. *Acta Phytoecological Sinica* ,2004 ,28 (6) :781 — 786.

[5] Wang M L , Feng Y L. Effect of soil nitrogen levels on morphology , biomass allocation and photosynthesis in *Ageratina adenophora* and *Chromolaena odorata*. *Acta Phytoecological Sinica* ,2005 ,29 (5) :697 — 705.

[6] Bais H P , Vepachedu R , Gilroy S. Allelopathy and exotic plant invasion : From molecules and genes to species interactions. *Science* ,2003 ,301 : 1377 — 1380.

[7] Shao H , Peng S L , Wei X Y , *et al.* Potential allelochemical from an invasive weed *Mikania micrantha* H. B. K. *Journal of Chemical Ecology* , 2005 ,31 (7) :1657 — 1667.

[8] Callaway R M , Aschehoude E T. Invasive plants versus their new and old neighbors : a mechanism for exotic invasion. *Science* ,2000 ,290 :521 — 523.

[9] Tripathi R S , Singh R S , Rai J P N. Allelopathic potential of *Eupatorium adenophorum*-a dominant ruderal weed of Meghalaya. *Proc. Indian National Scientific Academy* ,1981 ,47 :458 — 465.

[10] He A J , Liu L H. Effect of water extract of *Eupatorium adenophorum* on the germination of several plants. *Chinese Journal of Weed Science* ,1990 , 4 (4) :35 — 38.

[11] Song Q S , Fu Y , Tang J W , *et al.* Allelopathic potential of *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytoecological Sinica* ,2000 ,24 (3) :362 — 365.

[12] Zheng L , Feng Y L. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng. on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species. *Acta Ecologica Sinica* ,2005 ,25 (10) :2782 — 2787.

[13] Wang J F , Feng Y L. Allelopathy and light acclimation characteristic for *Ageratina adenophora* seedlings grown in man-made communities. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 ,26 (6) 1809 — 1817.

[14] Hu F , Kong C H. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* I. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* aqueous extract and isolation and identification of its allelochemicals. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,1997 ,8 (3) :304 — 308.

[15] Zhang F L , Zhou B L , Wang R H , *et al.* Allelopathic effects of grafted eggplant root exudates. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2005 ,16 (4) :750 — 753.

[16] Li M , Ma Y Q , Shui J F. Allelopathic effects of cultured *Cucurbita moschata* root exudates. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2005 ,16 (4) : 744 — 749.

[17] Turk M A , Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil. *Pakistan Journal of Agronomy* , 2002 ,1 (1) :28 — 30.

[18] Turk M A , Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.). *Crop*

Protection ,2003 ,22 :673 — 677.

[19] Kaworu E ,Wengui Y ,Robert H ,*et al.* Variation in allelopathic effect of rice with water soluble extracts. Agronomy Journal ,2003 ,93 :12 — 16.

[20] Zeng R S. Review on bioassay methods for allelopathy research. Chinese Journal of Applied Ecology ,1999 ,10 (1) :123 — 126.

[21] Tomita-yokotani K ,Kato T ,Parvez M M ,*et al.* Approach of allelopathy study with *Arabidopsis thaliana* (L.) Hevnh. and *Neurospora crassa*. Weed Biology and Management ,2003 ,3 (2) :93 — 97.

[22] Lin S Z ,Huang S G ,Cao G Q ,*et al.* Autointoxication of Chinese fir. Chinese Journal of Applied Ecology ,1999 ,10 (6) :661 — 664.

[23] Li M ,Liao B W ,Zheng S F ,*et al.* Primary studies on allelopathy of *Sonneratia apetala*. Ecological Science ,2002 ,21 (3) :197 — 200.

[24] Kaushal R ,Verma K S ,Singh K N. Effect of *Grewia optiva* and *Populus deltoids* leachates on field crops. Allelopathy Journal ,2003 ,11 :229 — 234.

[25] Leather G R ,Einhellig F A. Bioassay in the study of allelopathy. New York :The Science of Allelopathy ,1986. 133 — 145.

[26] Tefera T. Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* extracts on seed germination and seedling growth of *Eragrostis tef*. Journal of Agronomy and Crop Science ,2002 ,188 :306 — 310.

[27] Zahida I ,Syuntaro H ,Akio N ,*et al.* Allelopathy of buckwheat :Assessment of allelopathic potential of extract of aerial parts of buckwheat and identification of fagomine and other related alkaloids as allelochemicals. Weed Biology and Management ,2002 ,2 :110 — 115.

[28] Qasem J R. The allelopathic effect of three *Amaranthus* spp. (pigweeds) on wheat (*Triticum durum*). Weed Research ,1995 ,35 :41 — 49.

[29] Fowler N. The role of competition in plant communities in arid and semi-arid regions. Annual Review of Ecology and Systematics ,1986 ,17 :89 — 110.

[30] Weiner J ,Wright D B ,Castro S. Symmetry of below-ground competition between *Kochia scoparia* individuals. Oikos ,1997 ,79 :85 — 91.

[31] Wu H ,Pratley J ,Lemerle D ,*et al.* Crop cultivars with allelopathy capacity. Weed Research ,1999 ,39 :171 — 180.

[32] Xu T ,Kong C H. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* Ⅲ. Allelopathic effects of volatile oil from *Ageratum* on plants under different nutrient levels. Chinese Journal of Applied Ecology ,1999 ,12 (10) :748 — 750.

[33] Hu F ,Kong C H. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* Ⅵ. Effects of meteorological conditions on allelopathy of *Ageratum conyzoides*. Chinese Journal of Applied Ecology ,2002 ,13 (1) :76 — 80.

[34] Zeng R S ,Luo S M. Relationship between allelopathic effects of *Bidens pilosa* aqueous extracts and rainfall. Journal of South China Agricultural University ,1995 ,16 (4) :69 — 72.

参考文献 :

[1] 于兴军 ,于丹 ,马克平. 不同生境条件下紫茎泽兰化感作用的变化与入侵力关系的研究. 植物生态学报 ,2004 ,28 (6) :773 ~ 780.

[2] 高增祥 ,季荣 ,徐汝梅 等. 外来种入侵的过程、机理和预测. 生态学报 ,2003 ,23 (3) :559 ~ 570.

[3] 冯玉龙 ,王跃华 ,刘元元 等. 入侵物种飞机草和紫茎泽兰的核型研究. 植物研究 ,2006 26 (3) 356 ~ 360.

[4] 王俊峰 ,冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响. 植物生态学报 ,2004 ,28 (6) :781 ~ 786.

[5] 王满莲 ,冯玉龙. 紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应. 植物生态学报 ,2005 ,29 (5) :697 ~ 705.

[10] 和爱军 ,刘伦辉. 紫茎泽兰浸提液对几种植物发芽的影响. 杂草学报 ,1990 ,4 (4) :35 ~ 38.

[11] 宋启示 ,付昀 ,唐建维 等. 紫茎泽兰的化学互感潜力. 植物生态学报 ,2000 ,24 (3) :362 ~ 365.

[12] 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. 生态学报 ,2005 ,25 (10) :2782 ~ 2787.

[13] 王俊峰 ,冯玉龙. 人工群落中苗期紫茎泽兰的化感作用和对光环境的适应. 生态学报 2006 26 (6) :1809 ~ 1817.

[14] 胡飞 ,孔垂华. 胜红蓟化感作用研究 Ⅰ. 水溶物的化感作用及其化感物质分离鉴定. 应用生态学报 ,1997 ,8 (3) :304 ~ 308.

[15] 张凤丽 ,周宝利 ,王茹华 等. 嫁接茄子根系分泌物的化感效应. 应用生态学报 ,2005 ,16 (4) :750 ~ 753.

[16] 李明 ,马永清 ,税军峰. 南瓜组培根系分泌物的化感效应研究. 应用生态学报 ,2005 ,16 (4) :744 ~ 749.

[20] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述. 应用生态学报 ,1999 ,10 (1) :123 ~ 126.

[22] 林思祖 ,黄世国 ,曹光球 等. 杉木自毒作用的研究. 应用生态学报 ,1999 ,10 (6) :661 ~ 664.

[23] 李枚 ,廖保文 ,郑松发 等. 外来种无瓣海桑化感作用研究初报. 生态科学 ,2002 ,21 (3) :197 ~ 200.

[32] 徐涛 ,孔垂华 ,胡飞. 胜红蓟化感作用研究 Ⅲ. 挥发油对不同营养水平下植物的化感作用. 应用生态学报 ,1999 ,12 (10) :748 ~ 750.

[33] 胡飞 ,孔垂华. 胜红蓟化感作用研究 Ⅵ. 气象条件对胜红蓟化感作用的作用. 应用生态学报 ,2002 ,13 (1) :76 ~ 80.

[34] 曾任森 ,骆世明. 三叶鬼针草水抽提物他感作用与降雨量的关系. 华南农业大学学报 ,1995 ,16 (4) :69 ~ 72.