

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

郑 丽^{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 100049)

摘要:化感作用在生物入侵过程中具有重要的意义,紫茎泽兰具有化感物质,它能抑制豌豆等一些对化感物质敏感的植物种子萌发,但它对入侵早期直接与之竞争的植物的影响以及化感作用与其入侵性的关系还知之甚少。以紫茎泽兰入侵早期直接与之竞争的草本植物和为替代控制紫茎泽兰引进的牧草为材料,利用培养皿滤纸法研究紫茎泽兰叶片提取液对种子萌发和幼苗生长的影响,探讨化感作用与其入侵性的关系,并为其替代控制提供依据。紫茎泽兰叶片提取液对 10 种受体植物种子萌发和幼苗生长均有化感作用,不同浓度的提取液对植物的化感作用强度不同,低浓度时较弱,高浓度时较强。高浓度的提取液能降低种子发芽率、发芽速率、胚轴和胚根长度,增加幼苗丙二醛含量,其中发芽速率更敏感,可能是衡量化感作用的最敏感指标。不同植物对紫茎泽兰化感作用的敏感程度不同,无芒虎尾草、白三叶、细叶苦荬和莎草砖子苗对紫茎泽兰化感作用较敏感,紫花苜蓿最不敏感。

关键词:紫茎泽兰; 化感作用; 种子萌发; 幼苗生长; 入侵性

文章编号:1000-0933(2005)10-2782-06 中图分类号:Q143,Q948 文献标识码:A

Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* Spreng. on seed germination and seedling growth in ten herbaceous species

ZHENG Li^{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 100049, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2782 ~ 2787.

Abstract: It was hypothesized that allelopathy played an important role in biological invasion. *Eupatorium adenophorum* Spreng. has allelochemicals, which could inhibit seed germination of some species, such as pea, sensitive to allelochemicals. But we knew little about the effect of *E. adenophorum*'s allelochemicals on species competing directly with it during the early stage of its invasion. Furthermore, the relationship between allelopathy and invasiveness was not known in *E. adenophorum*. In this study we determined the effects of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on seed germination and seedling growth in five herbaceous species competing directly with it during the early stage of its invasion, and five pasture species introduced to replace *E. adenophorum*. We discussed the relationships between allelopathy and invasiveness, replacement control of *E. adenophorum*. The aqueous leaf extract of *E. adenophorum* could inhibit seed germination and seedling growth in all the ten species, and its effect was concentration dependent, increasing with the increase of concentration. The high concentration extract could reduce seed germination rate and germination speed, radicle and hypocotyl growth, seedling dry mass, and increase malondialdehyde content. Seed germination speed was more sensitive to the extract than seed germination rate, which might be the most sensitive index to judge allelopathy, among parameters mentioned above. Sensitivity to the leaf extract was different among the species tested in this study, *Chloris gayana*, *Trifolium repens*, *Ixeridium gracile* and *Mariscus cyperinus*

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:2004-07-04;修订日期:2005-01-14
作者简介:郑丽(1979~),女,黑龙江人,硕士生,主要从事植物生理生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fyl@xtbg.ac.cn

Foundation item: Key Project of Knowledge Innovation Engineering of Chinese Academy of Sciences(No. KSCX1-SW-13-0X-0X)

Received date: 2004-07-04; **Accepted date:** 2005-01-14

Biography: ZHENG Li, Marster candidate, mainly engaged in plant ecophysiology.

were sensitive to *E. adenophorum*'s allelochemicals, but *Medicago sativa* was not.

Key words: *Eupatorium adenophorum* Spreng.; allelopathy; seed germination; seedling growth; invasiveness

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng.)是菊科泽兰属多年生草本植物,原产于中美洲的墨西哥和哥斯达黎加,现广泛分布于亚洲、大洋洲的热带、亚热带山地,是著名的入侵物种,与棘豆、栎树一起被称为我国草地的“三大毒草”^[1]。20 世纪 40~50 年代它由缅甸、越南边境传入云南南部,现已广布我国西南各省区,并仍以每年 10~30 km 的速度向东、北扩散。紫茎泽兰的入侵不仅危害着当地的农、林、牧业生产^[2],还严重威胁到我国生物多样性安全^[3],迫切需要了解其成功入侵的机制。Bais 等^[4]认为化感作用在生物入侵过程中起着非常重要的作用。紫茎泽兰具有化感作用^[5~7],以往研究中受体植物大多为对化感物质敏感的模式植物,如豌豆、白菜等,化感作用具有物种特异性,对模式植物有作用并不一定对其他植物也有作用,如自然条件下紫茎泽兰不会对飞机草、鬼针草、胜红蓟等产生化感作用^①。研究紫茎泽兰化感作用对其入侵早期直接与之竞争的植物的影响是非常必要的。在自然界中,水溶性化感物质主要通过雨水和雾滴等的淋溶而进入土壤发生化感作用^[8]。成株化感作用的研究受到竞争和化感作用分离方法的限制^[9],因此有关化感作用的研究主要集中在植物提取液对植物种子萌发和幼苗生长的影响上。本文选取了紫茎泽兰入侵早期直接与之竞争的草本植物和为替代控制紫茎泽兰引进的外来牧草为试验材料,研究紫茎泽兰叶片提取液对种子萌发和幼苗生长的影响,探讨紫茎泽兰的化感作用与入侵的关系,并为替代控制提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 紫茎泽兰叶片水提液的制备

多数学者认为植物叶片中含有的化感物质较多^[10,11],所以本文选用紫茎泽兰叶片水提液进行化感作用研究。于 2003 年 10 月在云南省思茅地区澜沧县采集 5 年生紫茎泽兰的成熟叶片,此时紫茎泽兰植株高约 2m,已郁闭成紫茎泽兰单优群落。叶片在室温条件下阴干,研磨成粉状,按每 100ml 蒸馏水 2.5g 干物质的比例浸泡 48h,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草本植物:细叶苦蕒(*Ixeris gracilis*)、金盏银盘(*Bidens biternata*)、兰花菊三七(*Gynura* sp.)、鸭茅(*Dactylis glomerata*)、莎草砖子苗(*Mariscus cyperinus*),它们均为云南省澜沧县易被入侵群落中的常见种;以及为替代控制紫茎泽兰引进的外来牧草:无芒虎尾草(*Chloris gayana*)、紫花大翼豆(*Macroptilium atropurpureum*)、1 年生黑麦草(*Lolium multiflorum*)、白三叶(*Trifolium repens*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)。

1.3 种子萌发试验

采用培养皿滤纸法^[12]进行种子萌发试验。选取籽粒饱满、大小均一的受体植物种子置于铺有两层滤纸的培养皿中,根据种子大小每皿放置 30~80 粒不等,分别加入一定量(以淹没种子的 1/3 为准)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 25℃、80%湿度、30 μmol m⁻² s⁻¹ 12h 光照的条件下进行培养,每处理 5 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胚根、胚轴长度和干重。

$$\text{发芽率} = (\text{发芽种子总数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽速率} = \Sigma(Gt/Dt)$$

式中, Gt 为逐日发芽种子数, Dt 为相应发芽天数。

$$\text{发芽率化感效应敏感指数}(RI) \quad RI = 1 - C/T \quad (T \geq C), \text{或者} \quad RI = C/T - 1 \quad (T < C)$$

式中, C 为对照值, T 为处理值。 RI 表示化感作用强度大小,正值表示促进效应,负值表示抑制效应,其绝对值大小反映化感作用的强弱。由于物种间种子萌发和生长参数差异很大,为便于比较本文使用相对值(对照的百分比)表示发芽率、发芽速率、胚轴和胚根长度、以及幼苗干重。文中数据为 5 次测定的平均值±标准误。

1.4 幼苗丙二醛(MDA)含量的测定

选取紫花大翼豆和兰花菊三七作为代表性物种,参照王以柔等的方法^[13]测量幼苗整体的 MDA 含量。取 1g 样品置于研钵中,加 10%三氯乙酸(TCA) 4ml,研磨至匀浆,1200g 离心 10min。取提取液 2ml,加入 0.62%的硫代巴比妥酸(TBA,溶于 10% TCA 中)溶液 2ml,混合后在沸水浴上反应 20min,冷却后离心 1 次。上清液比色测定 A_{532} 和 A_{600} 。MDA 的含量按 $\Delta E \text{mol L}^{-1} (532\text{nm} - 600\text{nm}) = 1.55 \times 10^5 (\text{mol L}^{-1})^{-1} \text{cm}^{-1}$ 换算,以 $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 表示。

1.5 统计分析

① 王俊峰. 三种入侵植物的它感作用和对光环境的适应. 河北大学硕士学位论文, 2004

利用 SPSS12.0 (SPSS Inc., USA) 进行一维方差 (LSD-Test) 分析各参数在不同处理间的差异。所有图形用 Sigma Plot 8.0 (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) 绘制。

2 结果

2.1 紫茎泽兰叶片提取液对种子萌发的影响 在 0.25% 的紫茎泽兰叶片提取液处理下细叶苦荬的种子发芽率显著降低、莎草砖子苗的发芽率显著升高, 其他受体植物变化不明显; 在 0.8% 的提取液处理下细叶苦荬、莎草砖子苗、无芒虎尾草、紫花大翼豆、白三叶的发芽率显著降低, 其它 5 种植物发芽率变化不大; 在 1.7% 和 2.5% 的提取液的处理下受体植物的发芽率均有显著降低 (紫花苜蓿除外, 1.7% 的提取液对其抑制作用不显著)。虎尾草在 1.7% 和 2.5% 的提取液中不萌发, 细叶苦荬、莎草砖子苗和白三叶在 2.5% 的提取液中不萌发。总的看来, 低浓度下紫茎泽兰叶片提取液对种子发芽率的抑制作用不显著, 甚至有促进作用, 随着浓度的增加其抑制作用逐渐增强 (1 年生黑麦草例外: 2.5% 时的发芽率高于 1.7% 时的发芽率)。紫茎泽兰叶片提取液对不同植物种子发芽率影响不同 (图 1)。化感效应指数是衡量化感作用强度的重要指标, 0.25% 的提取液对莎草砖子苗 ($RI=0.448$) 和细叶苦荬 ($RI=-0.500$) 有很强的化感作用, 对其他 8 种植物的化感作用不强 ($|RI|<0.14$); 0.8% 的提取液对细叶苦荬 ($RI=-0.775$) 和无芒虎尾草 ($RI=-0.857$) 的抑制作用最强, 对兰花菊三七 ($RI=-0.010$) 的化感作用最小; 1.7% 和 2.5% 的提取液化感作用较强, 对紫花苜蓿的抑制作用最弱 ($RI_{1.7\%}=-0.100, RI_{2.5\%}=-0.330$) (图 2)。

在 0.25% 的紫茎泽兰叶片提取液处理下细叶苦荬、兰花菊三七、紫花大翼豆、白三叶、紫花苜蓿的发芽速率显著降低, 莎草砖子苗的发芽速率则显著增加, 其它植物变化不明显; 在 0.8% 的提取液处理下, 除鸭茅和莎草砖子苗的发芽速率没有显著变化外, 其它植物的发芽速率均显著降低; 在高浓度 (1.7%、2.5%) 的提取液处理下植物的发芽速率均显著降低。在 4 个浓度提取液的处理中, 紫花苜蓿的发芽速率对化感物质最不敏感, 无芒虎尾草、细叶苦荬、莎草砖子苗和白三叶的发芽速率对提取液较敏感, 与发芽率结果一致。此外, 发芽速率比发芽率更敏感, 金盏银盘、兰花菊三七、紫花大翼豆、白三叶、鸭茅、砖子苗、黑麦草和紫花苜蓿都存在发芽率没有显著变化而发芽速率显著降低现象 (图 1、图 3)。表明发芽速率可能是衡量化感作用更敏感的指标, 这与 Leather 和 Einhellig^[14] 的研究结果相似。

2.2 紫茎泽兰叶片提取液对幼苗生长的影响

在 0.25% 紫茎泽兰叶片提取液处理下, 紫花苜蓿、紫花大翼豆的胚根长度显著增加 ($p<0.01$), 细叶苦荬和黑麦草的胚根长度显著降低 ($p<0.01$), 其他 6 种受体植物无明显变化; 紫花苜蓿在 0.8% 浓度下胚根长度显著增加 ($p<0.01$)、1.7% 时无显著变化、2.5% 时显著降低, 其它植物在高浓度 (0.8%、1.7%、2.5%) 叶片提取液的处理下胚根长度均有显著降低 ($p<0.01$) (图 4)。胚轴对不同浓度的紫茎泽兰叶片提取液的响应与胚根相

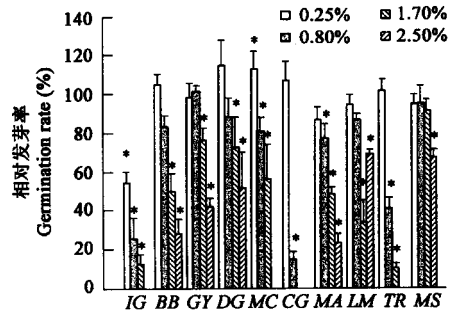


图 1 紫茎泽兰叶片提取液对 10 种植物种子相对发芽率的影响

Fig. 1 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on relative seed germination rates in ten herbaceous species

图中数据为 5 次测定的平均值 $\pm$ 一个标准误 The data were mean $\pm$ SE of 5 separate experiments; IG: 细叶苦荬 *Ixeris gracilis*; BB: 金盏银盘 *Bidens biternata*; GY: 兰花菊三七 *Gynura* sp.; DG: 鸭茅 *Dactylis glomerata*; MC: 莎草砖子苗 *Mariscus cyperinus*; CG: 无芒虎尾草 *Chloris gayana*; MA: 紫花大翼豆 *Macroptilium atropurpureum*; LM: 1 年生黑麦草 *Lolium multiflorum*; TR: 白三叶 *Trifolium repens*; MS: 紫花苜蓿 *Medicago sativa*; * 表示与对照差异显著 indicates significant difference with control; 下同 the same below

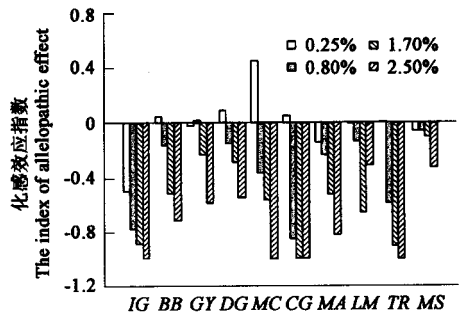


图 2 紫茎泽兰叶片提取液对 10 种植物种子相对发芽率的化感效应指数的影响

Fig. 2 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on the index of allelopathic effect in ten herbaceous species

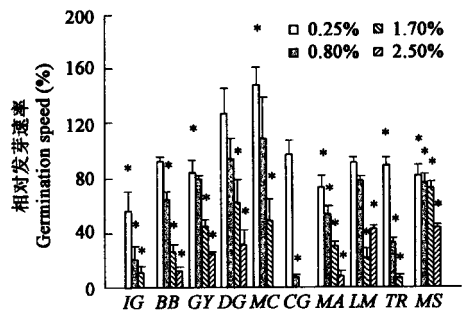


图 3 紫茎泽兰叶片提取液对 10 种植物种子相对发芽速率的影响

Fig. 3 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on relative seed germination speed in ten herbaceous species

似,但敏感性不如胚根(图 5)。这与前人的研究结果一致^[10,15],Turk 和 Tawaha^[10]认为这与胚根最先接触化感物质有关。

幼苗干重也是表示化感作用强度的一个敏感指标^[14]。在 0.25% 的提取液处理下,鸭茅、莎草砖子苗和无芒虎尾草幼苗干重增加,1 年生黑麦草幼苗干重降低,其他植物变化不大;在 0.8% 的提取液处理下,莎草砖子苗、虎尾草、1 年生黑麦草和白三叶幼苗干重显著降低,另外 6 种植物变化不大;在 1.7% 的提取液处理下,兰花菊三七和紫花苜蓿干重变化不大,其他植物干重均显著降低;2.5% 的提取液处理显著降低所有受体植物幼苗干重。随着浓度的增加提取液对干重的抑制作用逐渐加强,其中紫花苜蓿幼苗的干重变化最小,对紫茎泽兰叶片提取液最不敏感(图 6)。

2.3 紫茎泽兰叶片提取液对幼苗丙二醛(MDA)含量影响

在 0.25% 的紫茎泽兰叶片提取液处理下,兰花菊三七和紫花大翼豆幼苗 MDA 含量低于对照。随着处理浓度的增加,两种植物 MDA 含量升高,且均高于对照(图 7)。

3 讨论

紫茎泽化感作用可以降低种子发芽率(图 1)、发芽速率(图 3)、胚根和胚轴长度(图 4,图 5)、以及幼苗干重(图 6),叶片提取液浓度越高其效果越明显。种子萌发对物种更新至关重要,种子发芽率降低可能会降低植物在群落中的多度。种子发芽速率降低,发芽时间延长,出苗延后,将严重影响植物对地上和地下资源的竞争能力^[16~18,11]。化感物质对胚根生长的抑制导致植株根系变小,吸水、吸肥能力降低,对胚轴生长的抑制导致植株矮小、瘦弱,影响其对光的竞争,这些均会直接影响未来植株的生长发育及其在群落中的地位和作用。通过化感作用紫茎泽兰抑制其它植物种子萌发和幼苗生长,使其在竞争中处于优势地位。

紫茎泽兰叶片提取液处理可以增加兰花菊三七和紫花大翼豆幼苗 MDA 含量,处理浓度越高 MDA 含量越高(图 7),表明化感物质可以引起受体植株细胞内活性氧水平升高,发生氧化胁迫。MDA 是膜质过氧化产物,是膜质过氧化程度的指标之一^[19]。同时,MDA 本身也是一种有害物质,它能强烈地与细胞内各种成分发生反应,引起酶和膜的严重损伤,膜电阻及膜的流动性降低,最终导致膜结构及生理完整性的破坏^[20]。紫茎泽兰化感作用对受体植物的影响很可能与其引起的氧化胁迫和 MDA 含量升高有关。Rice^[21]将化感物质对种子萌发和幼苗生长的影响概括为:影响激素的合成和利用,改变了细胞的分裂、伸长和亚显微结构,影响了膜的透性和蛋白质的合成。化感物质对周围植物从基因水平到生态学水平都有影响^[4]。

不同植物对紫茎泽兰化感作用敏感程度不同,其确切原因还不清楚,但可能与各物种不同的进化历史有关。在长期的协同进化过程中,入侵种和原生境中其他物种已经习惯了相互之间的化感物质,而当入侵种进入一个新的生境时,该生境中的物种就会受到其化感物质的影响。有研究表明在入侵群落中入侵种化感物质的积累比在原群落中多^[22]。综合各项指标可以看出,紫花苜蓿对紫茎泽兰化感作用最不敏感,因此,在适宜的环境下可以选择它作为替代控制紫茎泽兰的物种。用紫花苜蓿等不敏感植物替代紫茎泽兰,不仅可以降低替代时紫茎泽兰化感作用的不利影响,还可以降低替代成功后紫茎泽兰再侵入时化感作用的影响。外来牧草无芒虎尾草和白三叶,本地种细叶苦荬和莎草砖子苗对紫茎泽兰化感作用较敏感,替代控制紫茎泽兰时,对芒虎尾草和白三叶的使用需谨慎,在紫茎泽兰入侵过程中细叶苦荬和莎草砖子苗有可能较早地被排挤掉。

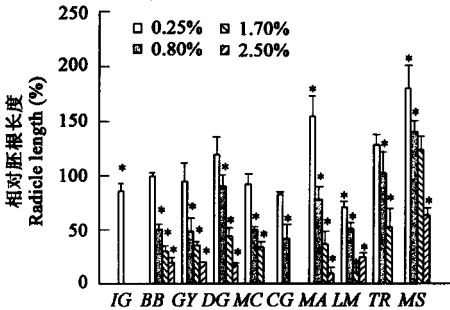


图 4 紫茎泽兰叶片提取液对 10 种植物相对胚根长度的影响
Fig. 4 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on relative radicle length in ten herbaceous species

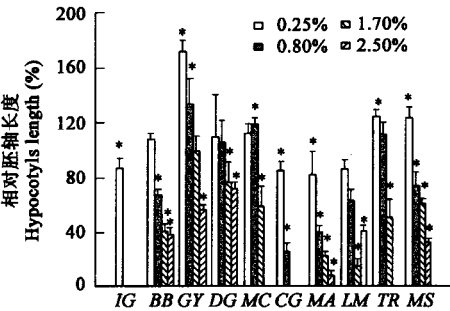


图 5 紫茎泽兰叶片提取液对 10 种植物相对胚轴长度的影响
Fig. 5 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on relative hypocotyl length in ten herbaceous species

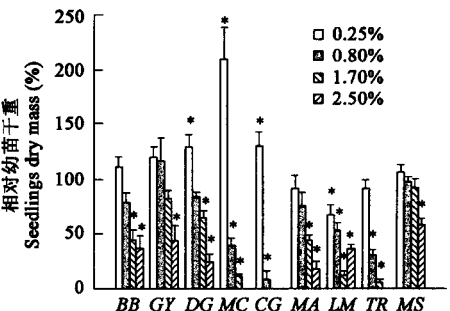


图 6 紫茎泽兰叶片提取液对 9 种植物幼苗相对干重的影响
Fig. 6 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on relative seedlings dry mass in nine herbaceous species

在自然界中,水溶性的化感物质主要通过雨水和雾滴等的淋溶而进入土壤发生化感作用^[8]。土壤中化感物质的含量受到多种因素的影响,包括枯落物的密度、分解速度以及降雨量等^[23~26]。当化感物质在土壤中积累一定量后,就会抑制植物种子萌发^[16]和幼苗生长^[27],从而影响植物的竞争力^[28]。紫茎泽兰入侵过程的第一步是种子传入到受干扰的群落中,之后在适宜的环境下部分种子萌发,其幼苗在群落下层,生长十分缓慢。此时,被入侵群落中紫茎泽兰个体小,数量也少,总生物量低,释放的化感物质较少,很难作用于群落中其它物种的成熟植株,即紫茎泽兰入侵早期化感作用并不重要。随着入侵的加剧,群落中紫茎泽兰个体增大,数量增多,生物量增加,释放的化感物质较多,积累到一定的程度就会抑制周围植物种子萌发和幼苗生长,即化感作用可能在紫茎泽兰入侵后期起到一定作用。但是,可以想象此阶段即使没有化感作用紫茎泽兰入侵也会继续下去。王俊峰发现在紫茎泽兰与其它物种等比例的1年生人工群落中,紫茎泽兰生长缓慢,也处于群落下层,对混播物种也无化感作用。紫茎泽兰光适应能力很强,范围很大,小苗可以在4%自然光下存活、生长,并保持较高的光合潜能^[29],待其生长到群落上层后通过遮荫排挤掉其它物种^[30,31],这可能是紫茎泽兰具有强入侵行的主要原因。推测紫茎泽兰化感物质对其入侵并无直接帮助。那么,紫茎泽兰的化感物质到底具有什么作用?已知其叶片提取液具有防虫^[32]和抑菌作用^[5],推测紫茎泽兰制造这些物质主要是为了防御天敌(而不是为了抑制其它植物),从而间接促进其入侵^[33]。

References:

[1] Hou T P, Liu S G. A review on poisonous plant; *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Grassland and Turf*, 1999, **4**: 6~8.

[2] Liu L H, Xie S C, Zhang J H. Studies on the distribution, harmfulness and control of *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Acta Ecologica Sinica*, 1985, **5**(1): 1~6.

[3] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**: 560~568.

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

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

[6] 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.

[7] Song Q S, Fu Y, Tang J W, *et al.* Allelopathic potential of *Eupatorium Adenophorum*. *Acta Phytoecol. Sin.*, 2000, **24**: 362~365.

[8] Tukey H B J. Leaching of metabolites from above ground plant parts and its implications. *Bull. Torrey Bot. Club*, 1966, **93**: 385.

[9] Ridenour W M, Callaway R M. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 2001, **126**: 444~450.

[10] Turk M A, Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil. *Pak. J. Agronom*, 2002, **1**(1): 28~30.

[11] 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.

[12] Zeng R S. Review on bioassay methods for allelopathy research. *Chin. J. Appl. Ecolo.*, 1999, **10**(1): 123~126.

[13] Wang Y R, Liu H X, Li P, *et al.* The effect of chilling stress on membrane-lipid peroxidation of photosynthetic apparatus in rice seedlings in the dark and light. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1986, **12**: 244~251.

[14] Leather G R, Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy. In: Putnam A R, Tang C S eds. *The Science of Allelopathy*, New York: John Wiley & Sons, 1986. 133~145.

[15] Chung I M, Miller D A. Natural herbicide potential of alfalfa residues on selected weed species. *Agron. J.*, 1995, **87**: 920~925.

[16] Ross M A, Harper J L. Occupation of biological space during seedling establishment. *Journal of Ecology*, 1972, **60**: 77~88.

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

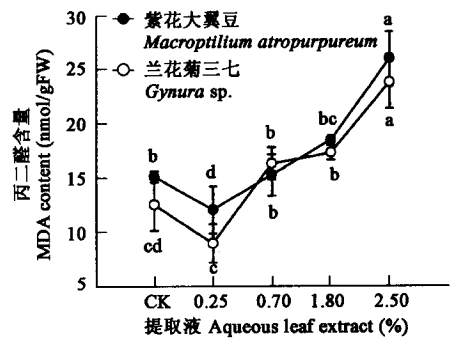


图7 紫茎泽兰叶片提取液对紫花大翼豆和兰花菊三七幼苗MDA含量的影响

Fig. 7 The influence of aqueous leaf extract of *E. adenophorum* on malondialdehyde content in *Macroptilium atropurpureum* and *Gynura sp.*

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

[19] Lin C C, Kao C H. Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regu.*, 2000, **30**: 151~155.

[20] Scandalios J G. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.*, 1993, **101**: 7~12.

[21] Rice E L. *Allelopathy*, 2nd edition. New York: Academic Press, 1984.

[22] Molly E H, Eric S M. Allelopathic effects and root distribution of *Ceratiola Ericoides* (Empetraceae) on seven rosemary scrub species, *American Journal of Botany*, 2002, **89**(7): 1113~1118.

[23] Mann J. *Secondary Metabolism*, 2nd Edition. Oxford:Clarendon Press, 1987. 374.

[24] Saxena A, Singh D V, Joshi N L. Autotoxic effects of pearl millet aqueous extracts on seed germination and seedling growth. *Journal of Arid Environments*, 1996, **33**: 255~260.

[25] Escudero A, Albert M J, Pitta J M, *et al.* Inhibitory effects of *Artemesia herba-alba* on the germination of the gypsophyte *Helianthemum squamatum*. *Plant Ecology*, 2000, **148**: 71~80.

[26] Nilsson M C, Zackrosson O, Sterner O, *et al.* Characterisation of the differential interference effects of two arboreal dwarf shrub species. *Oecologia*, 2000, **123**: 122~128.

[27] Witkowski E T F. Growth and competition between seedlings of *Protea repens* (L.) and the alien invasive, *Acacia saligna* (Labill.) Wendl. In relation to nutrient availability. *Functional Ecology*, 1991, **5**:101~110.

[28] Grice A C, Westoby M. Aspects of the dynamics of the seed-banks and seedling populations of *Acacia victoriae* and *Cassia* spp. In arid Western New South Wales. *Australian Journal of Ecology*, 1987, **12**: 209~215.

[29] Wang J F, Feng Y L, Liang H Z. Acclimation of photosynthetic characteristics to growth light intensity in *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Chin. J. App. Ecol.*, 2004, **15**(8): 1373~1377.

[30] Wang J F, Feng Y L, Li Z. Acclimation of photosynthesis to growth light intensity in *Chromolaena odorata* (L.) and *Gynura* sp. *J. Plant Physiol. Mol. Biol.*, 2003, **29**: 542~548.

[31] 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 Phytoecol. Sin.*, 2004, **6**:781~786.

[32] Li Y S, Zou H Y, Tang S Z, *et al.* Insecticidal activity of extracts from fourteen compositae plants against larvae of cabbage white butterfly *Pieris rapae* L. *Entomological Journal of East China*, 2000, **9**(2): 99~101.

[33] Ryan M K, Michael J C. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis, *Trends Ecol. Evol.*, 2002, **17**(4): 164~170.

参考文献:

[1] 侯太平,刘世贵.有毒植物紫茎泽兰研究进展. 国外畜牧学——草原与牧草, 1999, **4**: 6~8.

[2] 刘伦辉,谢寿昌,张建华. 紫茎泽兰在我国的分布、危害与防除途径的探讨. 生态学报, 1985, **5**(1): 1~6.

[3] 彭少麟,向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 1999, **19**(4): 560~568.

[6] 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.

[7] 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**: 362~365.

[12] 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.

[13] 王以柔,刘鸿先,李平,等. 在光照和黑暗条件下低温对水稻幼苗光合器官膜脂过氧化作用的影响. 植物生理学报, 1986, **12**: 244~251.

[29] 王俊峰,冯玉龙,梁红柱. 紫茎泽兰光合特性对生长环境光强的适应. 应用生态学报, 2004, **15**(8): 1373~1377.

[30] 王俊峰,冯玉龙,李志. 飞机草和兰花菊三七光合作用对生长光强的适应. 植物生理与分子生物学报, 2003, **29**(6): 542~548.

[31] 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, **6**: 781~786.

[32] 李云寿,邹华英,唐绍宗,等. 14 种菊科植物提取物对菜青虫的杀虫活性. 华东昆虫学报, 2000, **9**(2): 99~101.