

紫茎泽兰化感作用对 9 种草本植物种子萌发的影响

桂富荣¹, 蒋智林¹, 金吉斌², 和淑琪¹, 蒋兴川¹, 李正跃¹

¹云南农业大学植物保护学院, 云南 昆明 650201; ²云南农业职业技术学院, 云南 昆明 650031

摘要:【背景】紫茎泽兰是一种入侵我国的世界性恶性杂草, 给当地的农、林、畜牧业生产造成严重的经济损失, 使生态环境面临“绿色灾难”。紫茎泽兰的化感作用是其成功入侵的重要原因, 其化感物质对当地植物的生长具有明显的抑制作用。【方法】利用培养皿滤纸法研究了紫茎泽兰叶片水提液对 9 种草本植物种子萌发的影响, 这些植物包括紫茎泽兰入侵早期直接与之竞争的云南草本植物: 鲁梅克斯、高丹红、鸭茅(安巴)、苕子、胡枝子, 以及为替代控制紫茎泽兰而引进的外来优良牧草: 紫花苜蓿(敖汉)、白三叶(海发)、红三叶、黑麦草(速达)。【结果】紫茎泽兰叶片提取液对 9 种受体植物种子萌发均具有化感作用。低浓度提取液对受体植物的化感作用较弱(对部分植物种子萌发有促进作用); 高浓度提取液对受体植物的化感作用较强, 且能降低种子发芽率及发芽速率, 其中, 发芽速率对化感作用更敏感。不同植物对紫茎泽兰化感作用的敏感程度不同, 鲁梅克斯、鸭茅和苕子对紫茎泽兰的化感作用较敏感; 黑麦草、胡枝子和高丹红最不敏感; 紫花苜蓿、红三叶和白三叶对低浓度紫茎泽兰叶片水提液不敏感, 对高浓度提取液较敏感。【结论与意义】不同植物种子对紫茎泽兰化感作用的敏感性存在差异, 研究结果有利于了解紫茎泽兰成功入侵的机制, 并可作为筛选具有替代控制潜力的优良牧草奠定基础。

关键词: 紫茎泽兰; 化感作用; 种子萌发; 入侵性

Allelopathic effect of *Ageratina adenophora* on seed germination of nine herbaceous species

Fu-rong GUI¹, Zhi-lin JIANG¹, Ji-bin JIN², Shu-qi HE¹, Xing-chuan JIANG¹, Zheng-yue LI¹

¹College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China;

²Yunnan Vocational and Technical College of Agriculture, Kunming, Yunnan 650031, China

Abstract: 【Background】*Ageratina adenophora* is one of the worst invasive alien weeds in China. It has caused serious economic losses to agriculture, forestry and livestock, severely damaging the ecology and environment of China's native habitat. It was confirmed that allelopathy of *A. adenophora* has been a contributing factor in its invasion, some allelochemicals from *A. adenophora* have severe negative impacts on the native receptor plants, significantly inhibited the growth of receptor plants. 【Method】The allelopathic effects of aqueous leaf extract of *A. adenophora* on seed germination and seedling growth of nine herbaceous species in Yunnan Province were determined. These plants included five herbaceous species that compete directly with *A. adenophora* during the early stage of its invasion: *Rumex patientia*, *Sorghum vulgare*, *Dactylis glomerata* cv. Anba, *Vicia dasycarpa* and *Lepedeza bicolor*, and four pasture species introduced to replace *A. adenophora*: *Medicago stive* cv. Aohang, *Trifolium repens* cv. Haifa, *T. pratense* and *Lolium perenne* cv. Suda. 【Result】The aqueous leaf extract of *A. adenophora* could inhibit seed germination and seedling growth in all the nine species, and its effect was concentration dependent, increasing with concentration. Seed germination speed was more sensitive to the extract than seed germination rate, which might be the most sensitive index to judge allelopathy *S. vulgare*, *Lepedeza bicolor* and *Lolium perenne* were not sensitive to the aqueous leaf extracted allelochemicals of *A. adenophora*. 【Conclusion and significance】Different herbaceous plant species seeds has various sensitivities on effects of aqueous leaf extract of *A. adenophora*. These results extend our understanding of the invasion mechanism of *A. adenophora* and to find some potential pasture plants which can displace *A. adenophora* in invaded regions.

Key words: *Ageratina adenophora*; allelopathic effect; seed germination; invasiveness

紫茎泽兰 *Ageratina adenophora* Spreng. 为菊科泽兰属植物, 原产于中美洲墨西哥至哥斯达黎加一带, 现广泛分布于澳大利亚、南非、新西兰、缅甸等世界热带和亚热带的 30 多个国家和地区。该杂草于 20 世纪 40~50 年代由中缅边境传入我国云南南部, 之后迅速扩散到西南及华南的部分省区, 目前主要分布于云南、四川、贵州、广西、西藏、重庆、湖北、台湾等省(市)(Gui *et al.*, 2008)。紫茎泽兰一旦定植, 由于其发达的地下根茎和大量的子实形成, 很难被清除, 并且可迅速侵占农田、果园、稀疏林地、草地、路边和

收稿日期: 2011-10-10 接受日期: 2011-11-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2009CB119200); 国家自然科学基金项目(30860069、31060252); 云南农业大学“百名”青年学术和技术带头人培养计划

通讯作者(Author for correspondence): 李正跃, E-mail: lizhengyue@263.net

间隙空地,给当地的农、林、畜牧业生产造成严重的经济损失和生态环境的“绿色灾难”,是我国最有害的入侵杂草之一(Gui *et al.*, 2009; Wan *et al.*, 2010)。在 2003 年中华人民共和国国家环境保护总局公布的首批入侵我国的 16 种外来物种名单中紫茎泽兰位列榜首(杨国庆等, 2008)。

有关入侵植物化感作用的研究是近年来外来植物入侵机理研究的一个热点。据报道,化感作用是导致外来植物成功入侵的重要因素(Ridenour & Callaway, 2001; Wan *et al.*, 2010)。对紫茎泽兰化感作用方面的研究始于 20 世纪 80 年代,主要集中在澳大利亚、印度和中国等,越来越多的研究发现化感作用是紫茎泽兰入侵后逐渐发展成为单种优势种群的重要原因(杨国庆等, 2008)。相关研究显示,紫茎泽兰的沸水浸提液对小麦 *Triticum aestivum* Linn. 种子发芽时间、根长和叶片发育均具有明显的抑制作用(Yadav & Tripathi, 1984);紫茎泽兰水提液不妨碍其本身的萌发和生长,但对小麦、玉米 *Zea mays* Linn. 和云南松 *Pinus yunnanensis* Franch. 等种子的胚根及胚芽的生长有不同程度的抑制作用(和爱军和刘伦辉, 1990),对旱稻 *Oryza sativa* Linn. 幼苗的生长有明显的抑制作用(Yang *et al.*, 2006);其幼苗叶片提取液对水稻和黎豆 *Vigna sinensis* (Linn.) Savi ex Hassk. 均有较强的抑制作用(Navaz *et al.*, 2003);绿豆 *Vigna radiata* (Linn.) Wilezek、豌豆 *Pisum sativum* Linn.、大豆 *Glycine max* (Linn.) Merrill 均对紫茎泽兰的化感作用较敏感(李惠敏等, 2010);紫茎泽兰的枝叶堆积肥对白菜 *Brassica campestris* Linn. 和高粱 *Sorghum bicolor* (Linn.) Moench 的种子萌发也存在显著的化感抑制作用(Rajbanshi & Inubushi, 1998)。本研究选取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而引进的外来牧草为试验材料,研究紫茎泽兰叶片提取液对其种子萌发的影响,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 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 紫茎泽兰叶片水提液的制备 紫茎泽兰叶片水提液的制备参照郑丽和冯玉龙(2005)及 Turk & Tawaha(2002)的方法。于 2009 年 6 月在云南农

业大学后山实验农场采集 5 年生紫茎泽兰的成熟叶片,株高约 2 m,已郁闭成紫茎泽兰单优群落。将叶片在室温条件下阴干,研磨成粉状,按每 100 mL 蒸馏水中 3.0 g 干物质的比例浸泡 48 h,用双层纱布过滤 2 次后即得 3.00% 紫茎泽兰叶片抽提母液,然后分别稀释为 2.00%、1.00%、0.50%、0.25% 水提液,备用。

1.1.2 受体植物 紫茎泽兰入侵早期直接与之竞争的云南草本植物:鲁梅克斯 *Rumex Patientia* Linn.、高丹红 *Sorghum vulgare* Pers.、鸭茅(安巴) *Dactylis glomerata* Linn. (An Ba)、苕子 *Vicia dasy-carpa* Tenor、胡枝子 *Lepedeza bicolor* Turcz,它们均为云南省易被紫茎泽兰入侵的群落生境中的常见种;为替代控制紫茎泽兰而引进的外来优良牧草:紫花苜蓿(敖汉) *Medicago stive* Linn. (Ao Hang)、白三叶(海发) *Trifolium repens* Linn. (Hai Fa)、红三叶 *T. pratens* Linn.、黑麦草(速达) *Lolium perenne* Linn. (Su Da)。分别用上述 5 个浓度的紫茎泽兰提取液处理 9 种草本植物的种子,测试紫茎泽兰叶片化感作用对种子萌发的影响。

1.2 试验方法

在化感活性测定中最常见的是测定对种子发芽的影响。通常采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验(郑丽和冯玉龙, 2005)。选取籽粒饱满、大小均一的受体植物种子置于铺有 2 层滤纸的培养皿中,根据种子大小每皿放置 30 ~ 50 粒不等,分别加入一定量(以淹没种子的 1/3 为准)的各浓度紫茎泽兰叶片提取液,以蒸馏水为对照,在 25 °C、80% 湿度、12 h 光照的条件下进行培养,每个处理设 4 个重复。每隔 8 h 记录发芽种子的数量,直到种子不再萌发为止。

供试种子的发芽率、发芽率化感效应敏感指数(RI)按下列公式计算:

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

$$RI = 1 - C/T (T \geq C) \text{ 或 } RI = C/T - 1 (T < C)$$

式中, C 为对照种子发芽率, T 为处理种子发芽率。 RI 表示化感作用强度,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。由于物种间的种子萌发和生长参数差异较大,为便于比较,本文采用相对值(对照的百分比)表示发芽率。文中数据为 4 次测定的平均值 $\pm$ 标准误。

采用发芽速度指数(I)来定量评价化感物质对种子发芽的延缓作用。

$$I=2 \times [nX_1 + (n-1)X_2 + (n-2)X_3 + \cdots + 3X_{(n-2)} + 2X_{(n-1)} + X_n]$$

式中, n 是种子发芽的天数, X 为每隔 24 h 发芽的种子数, X_1 为 24 h 记录的发芽数, X_2 为 48 h 记录的发芽数,依此类推(曾任森,1999)。为了便于比较,本文采用相对发芽速度(处理种子的发芽速度/对照种子的发芽速度 $\times 100$)来评价紫茎泽兰化感物质对种子发芽的延缓作用。

1.3 数据处理

在 Excel 软件中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 紫茎泽兰叶片提取液对 9 种植物种子萌发的化感作用

紫茎泽兰叶片提取液对黑麦草发芽的抑制作用较弱,经各浓度处理的种子发芽率最终都达到 85% 以上,在处理 32 h 后黑麦草种子开始大量萌发,88 h 时经 1.00% 以下的紫茎泽兰提取液处理的种子发芽率仍达 87% 以上;高丹红种子对紫茎泽兰叶片提取液也不敏感,其种子在各浓度提取液处理 8 h 后开始萌发,32 h 时种子发芽率达 60% 以上;紫茎泽兰叶片提取液对胡枝子发芽的抑制作用也较弱,处理 16 h 后种子开始萌发,56 h 时经各浓度紫茎泽兰叶片提取液处理的种子发芽率均达 70%,供试种子的发芽率最终都达到 79% 以上;低浓度的紫茎泽兰叶片提取液对白三叶种子萌发几乎没有抑制作用,但高浓度(2.00% 以上)的提取液对其种子萌发有一定的抑制作用(图 1)。

紫花苜蓿对 1.00% 以下的紫茎泽兰叶片提取液敏感性较低,但对高浓度的提取液较敏感,经 3.00% 提取液处理的种子发芽率未达 50%。紫茎泽兰叶片提取液对白三叶和红三叶种子萌发的抑制作用随浓度的升高而增强,1.00% 以下的紫茎泽兰叶片提取液对白三叶和红三叶种子的抑制力较弱(图 1),处理 32 h 时白三叶种子的发芽率仍达 80% 以上,红三叶种子在处理 64 h 时发芽率也达 75% 以上;而高浓度(2.00% 和 3.00%)的紫茎泽兰叶片提取液对白三叶和红三叶种子的抑制力较强,在对照处理的发芽率达 100% 之后 24 h 红三叶种

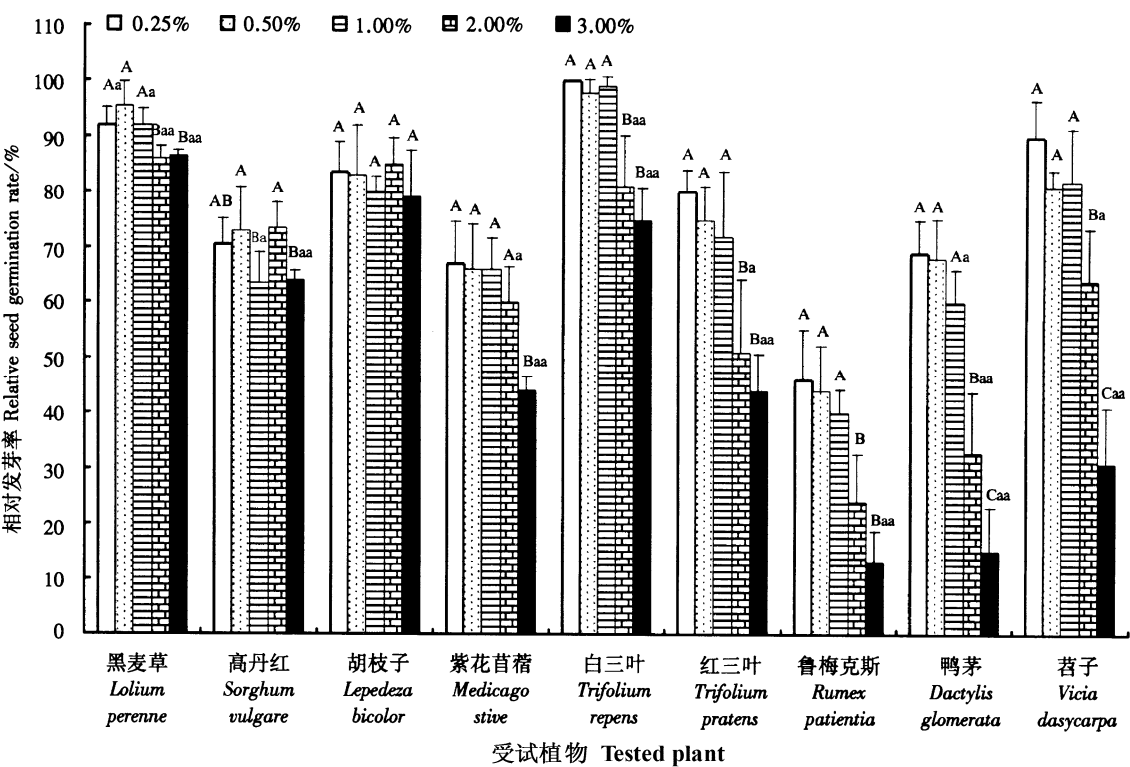
子的发芽率小于 60%。

鲁梅克斯、鸭茅和苕子对紫茎泽兰的化感作用均较为敏感,其敏感性随提取液浓度的上升而显著增强(图 1)。经 3.00% 紫茎泽兰叶片提取液处理的鲁梅克斯和鸭茅种子在对照处理发芽率达 100% 之后 24 h 其发芽率小于 20%;低浓度提取液(0.25% 和 0.50%)对苕子种子萌发有一定的促进作用,但高浓度提取液可明显抑制其种子萌发,如经 3.00% 紫茎泽兰叶片提取液处理的苕子种子在处理 232 h 时发芽率小于 40%。方差分析表明,除胡枝子外,其余植物种子经 3.00% 浓度处理的发芽率均与对照组存在极显著差异($P < 0.01$);当处理浓度低于 1.00% 时,除黑麦草和高丹红外,其他植物种子的发芽率与对照组均不存在显著差异;当处理浓度达 2.00% 时,各植物种子的发芽率与对照组的差异性因植物种类而异(图 1)。利用不同浓度的紫茎泽兰叶片提取液处理同一植物种子,其发芽率之间的差异也因植物种类而异:除高丹红、胡枝子和紫花苜蓿外,其余植物种子经 1.00% 及以下浓度与 2.00% 及以上浓度处理的发芽率存在极显著差异($P < 0.01$);胡枝子在不同浓度处理下的种子发芽率不存在显著差异($P = 0.669$);在处理浓度低于 2.00% 时,紫花苜蓿种子的发芽率在各浓度间不存在极显著差异,但均与 3.00% 浓度处理的种子发芽率存在极显著差异($P < 0.01$)(图 1)。

2.2 紫茎泽兰叶片提取液对 9 种植物种子发芽速率的影响

在低浓度(0.25% 和 0.50%)的紫茎泽兰叶片提取液处理下,除胡枝子的发芽速率与对照相比有所增大外,其他植物种子的发芽速率均有所下降;在中等浓度(1.00% 和 2.00%)的提取液处理下,苕子、鸭茅、红三叶、白三叶、紫花苜蓿和黑麦草种子的发芽速率均显著降低,而高丹红、胡枝子和鲁梅克斯种子的发芽速率反而有所上升。在 0.25% 浓度处理下,仅黑麦草和鸭茅的种子发芽速率与对照组存在显著差异($P = 0.021$ 和 $P = 0.03$);在处理浓度高于 0.25% 时,紫花苜蓿、白三叶和鸭茅的种子发芽速率与对照组均存在极显著差异($P < 0.01$)。在处理浓度 $\leq 1.00\%$ 时,除鸭茅外,其余同一植物的种子在各处理浓度间发芽速率不存在显著差异。在高浓度(3.00%)的提取液处理下,除胡枝子的发芽速率变化不明显外,其他植物种子的发芽速率均显著降低,且均与对照组的发芽速率存在极显著差

异($P<0.01$),其中,黑麦草、紫花苜蓿、白三叶、鲁梅克斯、鸭茅和苕子种子经3.00% 紫茎泽兰叶片提取液处理后的发芽速率与其他浓度处理的种子发芽速率之间存在极显著差异($P<0.01$)(图2)。



不同大写字母表示不同浓度之间存在显著差异 ($P<0.05$);小写字母 a 表示与对照存在显著差异 ($P<0.05$);小写字母 aa 表示与对照存在极显著差异 ($P<0.01$)。下同。

Bars with different capital letters within the same plant indicate significant differences among various concentrations at $P<0.05$; small letters indicates significant differences with control at $P<0.05$ or $P<0.01$. The same as below.

图 1 紫茎泽兰叶片提取液对 9 种植物种子相对发芽率的影响

Fig. 1 The effect of aqueous leaf extract of *A. adenophora* on relative seed germination rates in nine herbaceous species

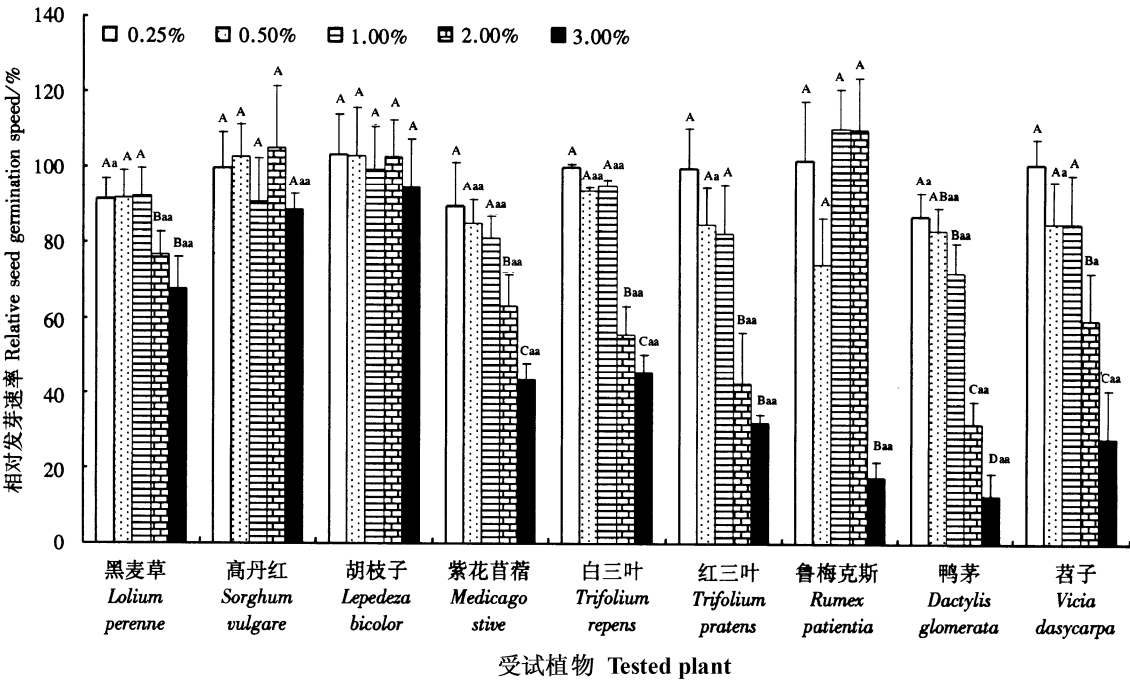


图 2 紫茎泽兰叶片提取液对 9 种植物种子相对发芽速率的影响

Fig. 2 The effect of aqueous leaf extract of *A. adenophora* on relative seed germination speed in nine herbaceous species

在5个浓度提取液的处理中,胡枝子和高丹红的发芽速率对化感物质最不敏感,各浓度处理下的种子发芽速率均没有显著差异(图2);苕子、鸭茅的发芽速率对提取液较敏感,与发芽率结果一致。此外,红三叶、白三叶、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的现象(图1~2),表明发芽速率可能是衡量化感作用更敏感的指标。这与郑丽和冯玉龙(2005)及 Leather & Einhellig (1986)的研究结果相似。

2.3 紫茎泽兰叶片提取液对9种植物的化感效应

化感效应指数是衡量化感作用强度的重要指

标。低浓度(0.25%、0.50%和1.00%)的紫茎泽兰叶片提取液对9种植物种子的化感作用均较弱($|RI| < 0.16$),且对少数植物种子还具有一定的促进作用,如鲁梅克斯经0.25%和0.50%紫茎泽兰叶片提取液处理后的 RI 分别为0.11和0.07。3.00%紫茎泽兰叶片提取液对鸭茅($RI = -3.67$)和鲁梅克斯($RI = -2.15$)的抑制作用最强,对胡枝子($RI = -0.05$)和黑麦草($RI = -0.12$)的抑制作用较弱(图3)。

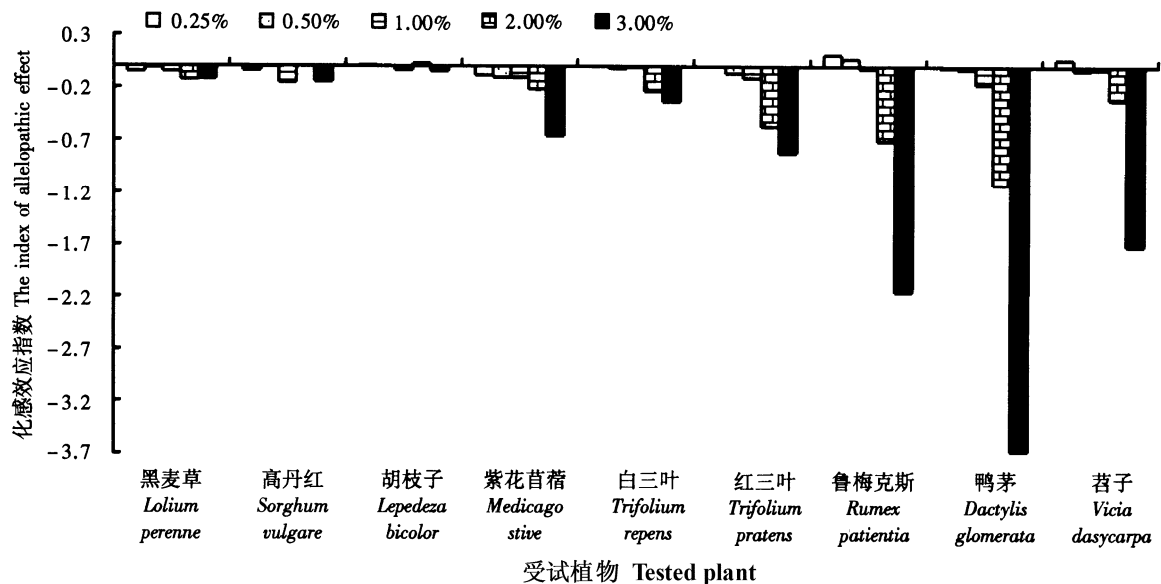


图3 紫茎泽兰叶片提取液对9种植物种子相对发芽率化感效应指数的影响
Fig.3 The influence of aqueous leaf extract of *A. adenophora* on the index of allelopathic effect in nine herbaceous species

3 讨论

种子萌发对物种更新至关重要,种子发芽率的降低可能会减少植物在群落中的数量,而种子发芽速率的降低也会影响植物在地上和地下的竞争能力,这些均会影响未来植株的生长发育及其在群落中的地位和作用(Molly & Eric, 2002)。本研究结果显示,紫茎泽兰化感作用可降低种子发芽率和发芽速率,但并非所用的草种都对紫茎泽兰的化感作用敏感,黑麦草(速达)、高丹红和胡枝子对紫茎泽兰化感作用的敏感性较弱;低浓度紫茎泽兰叶片提取液对紫花苜蓿(敖汉)、红三叶和白三叶种子萌发无明显抑制作用,但高浓度提取液可明显抑制上述植物种子的萌发;鲁梅克斯、鸭茅(安巴)和苕子对紫茎泽兰化感作用较为敏感。不同植物对紫茎泽兰

化感作用的敏感程度不同,其原因可能与各物种不同的进化历史有关。

在不同植物间长期的协同进化过程中,入侵种和原生境中的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(郑丽和冯玉龙, 2005)。在同类试验(采用紫茎泽兰叶片制备提取液并在受体植物中都出现紫花苜蓿和白三叶)中,郑丽和冯玉龙(2005)研究表明,紫花苜蓿对紫茎泽兰的化感作用最不敏感,认为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,而白三叶对紫茎泽兰的化感作用最为敏感,认为在替代控制紫茎泽兰时使用白三叶需谨慎。因此,用黑麦草、紫花苜蓿等对紫茎泽兰的化感作用不敏感的植物替代控制紫

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,而且可以降低替代成功后紫茎泽兰再入侵时化感作用的影响。但培养皿试验往往会过高估计受试植物的化感效应,而不能反映自然状况下的真实情况(Inderjit, 2006)。因此,有关替代控制植物在野外环境中对紫茎泽兰化感作用的真实响应情况还需进一步验证,同时紫茎泽兰入侵后的土壤营养、微生物群落变化及其提取物对植物生长的影响也有待研究,以便为控制该物种提供依据。

参考文献

- 和爱军,刘伦辉. 1990. 紫茎泽兰浸提液对几种植物发芽的影响. 杂草学报, 4(4): 37–38.
- 李惠敏,陈丽羽,秦新民. 2010. 紫茎泽兰对 6 种豆科植物的化感作用. 湖北农业科学, 49(8): 1856–1858.
- 杨国庆,万方浩,刘万学. 2008. 入侵杂草紫茎泽兰的化感作用研究进展. 植物保护学报, 35(5): 463–468.
- 曾任森. 1999. 化感作用研究中的生物测定方法综述. 应用生态学, 10(1): 123–126.
- 郑丽,冯玉龙. 2005. 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, 25(10): 2783–2784.
- Gui F R, Wan F H and Guo J Y. 2008. Population genetics of *Ageratina adenophora* using inter-simple sequence repeat (ISSR) molecular markers in China. *Plant Biosystems*, 142(2): 255–263.
- Gui F R, Wan F H and Guo J Y. 2009. Determination of the population genetic structure of the invasive weed *Ageratina adenophora* using ISSR-PCR markers. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56(3): 410–416.
- Inderjit S. 2006. Experimental complexities in evaluating the allelopathic activities in laboratory bioassays: a case study. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 56–62.
- Leather G R and Einhellig F A. 1986. Bioassays in the study of allelopathy // Putnam A R and Tang C S. *The Science of Allelopathy*. New York: John Wiley & Sons, 133–145.
- Molly E H and Eric S M. 2002. Allelopathic effects and root distribution of *Ceratiola ericeides* (Empetraceae) on seven rosemary scrub species. *American Journal of Botany*, 89(7): 1113–1115.
- Navaz M, George S and Geethakumari V L. 2003. Influence of *Eupatorium* (*Chromolaena odorata* (L.) King and Robinson) leachates on germination and seedling growth of rice and cowpea. *Allelopathy Journal*, 11(2): 235–240.
- Rajbanshi S S and Inubushi K. 1998. Chemical and biochemical changes during laboratory-scale composting of allelopathic plant leaves (*Eupatorium adenophorum* and *Lantana camara*). *Biology and Fertility of Soils*, 26: 66–71.
- Ridenour W M and Callaway R M. 2001. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126: 444–450.
- Turk M A and Tawaha A M. 2002. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil. *Pakistan Journal of Agronomy*, 1(1): 28–30.
- Wan F H, Liu W X, Guo J Y, Qiang S, Li B P, Wang J J, Yang G Q, Niu H B, Gui F R, Huang W K, Jiang Z L and Wang W Q. 2010. Invasive mechanism and control strategy of *Ageratina adenophora* (Sprengel). *Science China Life Sciences*, 53(11): 1291–1298.
- Yadav A S and Tripathi R S. 1984. Effect of associated species on 3 *Eupatorium* species. *Indian Journal of Ecology*, 11(2): 190–196.
- Yang G Q, Wan F H, Liu W X and Zhang X W. 2006. Physiological effects of allelochemicals from leachates of *Ageratina adenophora* (Spreng.) on rice seedlings. *Allelopathy Journal*, 18(2): 237–246.

(责任编辑:杨郁霞)