

# 白茅对紫茎泽兰的竞争效应\*

彭 恒<sup>1</sup> 桂富荣<sup>1\*</sup> 李正跃<sup>1</sup> 李 隽<sup>1</sup> 万方浩<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 云南农业大学植物保护学院, 农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 昆明 650201; <sup>2</sup> 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 100081)

**摘 要** 外来生物的入侵可导致环境退化、生物多样性降低和食物及水资源短缺, 利用本地植物或优良牧草进行替代控制是治理入侵植物的有效途径之一。采用本地禾本科植物白茅与紫茎泽兰等比例混合种植, 研究了其对紫茎泽兰的竞争效应。结果表明: 白茅与紫茎泽兰之间呈现很强的竞争作用, 可用作紫茎泽兰的替代控制植物; 白茅地上部分相对竞争力比紫茎泽兰强, 其幼苗萌发早于紫茎泽兰, 株高和单株平均叶面积均显著高于紫茎泽兰; 二者混合种植可显著抑制紫茎泽兰的植株生长和分蘖, 混合种植区紫茎泽兰的株高、单株平均叶面积和叶绿素含量分别只有其单种的 49%、72% 和 77%; 而混合种植对白茅植株生长的影响不显著, 并可促进其分蘖, 混合种植区的白茅分蘖数达单种区的 132%。白茅的相对产量显著高于紫茎泽兰的对应指标, 竞争效应参数相对产量总和 < 1.0; 随着混合种植时间的延长, 两者的竞争关系将愈加显著。

**关键词** 紫茎泽兰; 白茅; 相对产量; 竞争效应; 替代控制

**中图分类号** S451.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)10-1931-06

**Competition effect of *Imperata cylindrica* to *Ageratina adenophora*.** PENG Heng<sup>1</sup>, GUI Furong<sup>1</sup>, LI Zheng-yue<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, WAN Fang-hao<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory for Agricultural Biodiversity and Pest Management of Ministry of Education, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; <sup>2</sup>The State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(10): 1931-1936.

**Abstract:** Invasive alien species may cause environmental degradation, biodiversity loss, food and water shortage, and high possibility and severity of natural disasters. It is a good way to replace invaded plant by utilizing valuable native species. In this study, same proportion of native plant *Imperata cylindrica* and invasive plant *Ageratina adenophora* was mixed cultured, aimed to understand the competition effect of *I. cylindrica* to *A. adenophora*. There was a strong competition between these two plant species. *I. cylindrica* had a higher competitive ability than *A. adenophora*, being able to heavily suppress the growth of *A. adenophora* by shoot competition. Compared with *A. adenophora*, *I. cylindrica* could germinate faster, and its plant height and average leaf area were significantly higher. Mixed culturing *I. cylindrica* and *A. adenophora* could significantly restrain the growth and tillering of *A. adenophora*, resulting in the plant height, average leaf area, and chlorophyll content of *A. adenophora* being 49%, 72%, and 77% of those in monoculture, respectively. On the other hand, mixed culturing had no significant impact on *I. cylindrica*. In reverse, the tillering of *I. cylindrica* was promoted, with the tiller number being 132% of that in monoculture. The relative yield (RY) of *I. cylindrica* was significantly higher than that of *A. adenophora*, and the relative yield total (RYT) was lower than 1.0. With the prolonged time of mixed culturing, the relationships mentioned above became more obvious, suggesting that it would be a promising strategy to replace *A. adenophora* by *I. cylindrica*.

**Key words:** *Ageratina adenophora*; *Imperata cylindrica*; relative yield; competition effect; replacement control.

\* 国家重点基础研究计划项目(2009CB119200)、国家科技支撑计划项目(2006BAD08A17)和云南省教育厅重点资助项目(09Z0040)。

\* \* 通讯作者 E-mail: guifr@ynau.edu.cn

收稿日期: 2010-04-07 接受日期: 2010-07-22

外来生物入侵可破坏入侵地区的生物多样性 (Sala *et al.*, 2000), 导致当地物种的濒危或灭绝, 最终导致生态系统单一和退化 (万方浩等, 2002)。紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 是一种原产于墨西哥, 20 世纪 40 年代从中缅边境沿公路传入我国的恶性入侵杂草 (桂富荣等, 2006, Dong *et al.*, 2008), 它入侵牧场可导致牧草产量降低, 造成饲料短缺 (向业勋, 1991); 入侵农田与农作物争夺资源 (王洪炯等, 1994), 破坏土壤的可耕性 (马建列和白海燕, 2004); 入侵林地影响林木生长和森林的自然更新, 降低林木经济效益, 并增加管理成本 (李丽等, 2007)。目前我国的紫茎泽兰主要分布于云南、四川、贵州、广西、西藏、重庆、湖北和中国台湾等 (Peng *et al.*, 1998; Gui *et al.*, 2008), 它的入侵给我国农业、林业、畜牧业造成了严重危害 (王文杰等, 2009), 每年仅畜牧业方面的损失就达 9.89 亿元 (Xu *et al.*, 2006)。

国内外针对紫茎泽兰的研究与治理工作已开展多年。泽兰实蝇的寄生对紫茎泽兰的生长具有一定的抑制作用, 但由于紫茎泽兰的再生分蘖能力较强, 其控制效果非常有限; 化学防治对环境污染大, 且防效受季节变化的影响 (王进军, 2005); 人工及物理机械防除措施是目前防治紫茎泽兰最有效的方法之一, 但由于其根、茎有较强的无性繁殖能力, 加之其土壤中的种子具有长久的种子库 (沈有信和刘文耀, 2004), 人工或机械铲除后土壤中的种子仍能萌发并再次形成大面积入侵 (王进军, 2005)。采用本地植物或优良牧草对紫茎泽兰入侵区域进行植被替代是一种较为有效的防治措施, 并已取得了一定的效果 (张正文和张雪尽, 2003; 梁小玉和张新全, 2004), 近年来, 替代控制技术作为防除紫茎泽兰的一种新途径越来越受关注 (于亮等, 2009)。白茅 (*Imperata cylindrica*) 是一种有很强无性繁殖能力的本地禾本科植物 (宋会兴和彭远英, 2005), 其种群结构稳定, 植株粉碎后混合到饲料中可增加牲畜的生长速度 (姜长阳和宁淑香, 2001), 其根还有很好的医药价值 (赵燕燕等, 2007)。本文采用田间随机区组试验设计对白茅与紫茎泽兰混合种植时的竞争效应进行了研究, 以期对紫茎泽兰的替代控制提供新材料和方法。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于云南省玉溪市红塔区大营街镇 (24°

32.26'N, 102°36.08'E), 海拔 1756 m, 属滇中高原季风气候, 冬无严寒、夏无酷暑。试验区植被以云南松 (*Pinus yunnanensis*)、板栗 (*Castanea mollissima*)、紫茎泽兰和多枝臂形草 (*Brachiaria ramosa*) 为主, 试验田土壤为云南高原的典型红壤土, 试验期当地平均气温在 15℃~24℃, 平均降雨量约 1000 mm。

### 1.2 试验设计和数据收集

设置紫茎泽兰单种区、白茅单种区和白茅与紫茎泽兰混合种植区 (比例为 1:1) 3 个处理小区 (种植密度均为 100 株·m<sup>-2</sup>), 试验田面积为 200 m<sup>2</sup>, 每个小区面积为 2 m×3 m, 每个处理设 6 个重复。2009 年 2 月于室内条件下催芽, 待幼苗长至 4~5 cm 时 (催芽后 30 d 左右) 选取大小一致的植株移栽至试验田, 适时浇水, 待植株成活后使其处于自然状态下生长, 并适时清除田间其他杂草。移栽后从 5 月份开始, 采用 5 点取样法每 2 月 1 次 (分别于 5 月 11 日、7 月 11 日、9 月 11 日和 11 月 11 日) 在各处理小区选取代表性的 10 个植株带回室内, 于 75℃ 条件下烘干, 称其地上部分的干重, 并在最后一次测量时测定 2 物种的株高、叶绿素含量 (叶绿素测定仪 Spad-502 测定)、叶面积 (叶面积测定 LI-3000A 测定) 和分蘖数。

### 1.3 数据处理

用 2 物种的地上生物量 (干重) 分别计算其相对产量 (relative yield, RY) (De Wit, 1960) 以及相对产量总和 (relative yield total, RYT) (Fowler, 1982):

$$RY_{ij} = Y_{ij}/Y_i \text{ 或 } RY_{ji} = Y_{ji}/Y_j$$

$$RYT = \frac{RY_{ij} + RY_{ji}}{2}$$

式中:  $Y_{ij}$  为与种  $j$  混生时种  $i$  的生物量;  $Y_{ji}$  为与种  $i$  混生时种  $j$  的生物量;  $Y_i$  为单种  $i$  的生物量;  $Y_j$  为单种  $j$  的生物量。RY 值表明不同种所经历竞争的类型:  $RY < 1.0$  表示种间竞争大于种内竞争;  $RY > 1.0$  表明种内竞争大于种间竞争;  $RY = 1.0$  表明种内和种间竞争水平相当。RYT < 1.0, 表明 2 物种间具有竞争作用; RYT > 1.0, 表明 2 物种之间没有竞争作用; RYT = 1.0, 表明 2 物种需要相同的资源, 且一种可以通过竞争将另一种排除出去。

紫茎泽兰和白茅的株高、叶绿素含量、叶面积和分蘖数用统计软件 SPSS 13.0 的配对样本  $t$  测验 (paired-samples) 检测, 紫茎泽兰和白茅在混种中的竞争影响采用单一样本  $t$  测验 (one samples  $t$  test) 分别比较 RY、RYT 与 1.0 之间的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同时期紫茎泽兰与白茅的竞争效应

对不同时期紫茎泽兰和白茅混合种植区的相对产量测定表明,白茅与紫茎泽兰之间呈现很强的竞争作用。白茅地上部分相对竞争力比紫茎泽兰强,白茅的相对产量显著高于紫茎泽兰的对应指标,竞争效应参数相对产量总和 $<1$ ,且随种植时间的延长,上述关系愈加显著。混种区紫茎泽兰的地上生物量在各测定时期均小于其单种区的地上生物量(相对产量值 $<1$ ),且相对产量呈现随混种时间的延长而下降的趋势,说明与白茅混合种植的紫茎泽兰受抑制的程度越来越大。室内研究发现,白茅的幼苗萌发早于紫茎泽兰 10 d 左右。田间第 1 次测量的紫茎泽兰相对产量值为 0.92,第 2、3 和 4 次测量值分别是其第 1 次测量值的 83%、57%、42% (表 1)。t 测验结果表明,第 2 次测量的紫茎泽兰相对产量值与 1.0 的差异达显著水平( $P<0.05$ ),第 3、4 次测量的相对产量值与 1.0 的差异达极显著水平( $P<0.01$ )。混种区白茅的相对产量也随混种时间的增加而减少,除第 1 次测量的相对产量值 $>1$  外,其他 3 次均 $<1$  (表 1),表明与紫茎泽兰混合种植时白茅的生长也受到一定程度的抑制,但其相对产量 t 测验值与 1.0 的差异均未达到显著水平。

混合种植区 2 物种的相对产量总和 (RYT) 在 4 次测量中均 $<1$ ,且随混种时间的延长而逐渐减小 (表 1),表明 2 物种之间存在强烈的竞争作用。白茅对紫茎泽兰的竞争作用随混种时间的延长而增强,对紫茎泽兰产生的抑制效果越来越明显;同样,紫茎泽兰对白茅的竞争作用也随混种时间的延长而增强,但与前者相比明显处于劣势。第 1、2 次测量的 2 物种相对产量总和 t 测验值与 1.0 的差异未达到显著水平,而第 3 次的测量值达显著水平

表 1 混合种植条件下不同时期紫茎泽兰和白茅的相对产量与相对产量总和

Tab.1 Relative yield and relative yield total of *Ageratina adenophora* and *Imperata cylindrica* in different growth stage

测量日期	紫茎泽兰 相对产量	白茅相对产量	相对产量总和
5 月 11(第 1 次)	0.92±0.05	1.01±0.07	0.96±0.08
7 月 11(第 2 次)	0.76±0.03 *	0.97±0.05	0.87±0.08
9 月 11(第 3 次)	0.52±0.06 **	0.94±0.04	0.72±0.03 *
11 月 11(第 4 次)	0.39±0.08 **	0.90±0.04	0.65±0.02 **

数值为平均值±标准差; \*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ 。

( $P<0.05$ ),第 4 次测量值达极显著水平( $P<0.01$ ) (表 1)。表明在幼苗时期白茅对紫茎泽兰的抑制作用不强,但随着混合种植时间的延长,二者对相同资源的竞争越来越激烈,生长后期白茅在竞争中的优势越来越明显。

2.2 单种与混合种植时紫茎泽兰和白茅的株高表现

混合种植时白茅和紫茎泽兰的株高均低于各自单种时的株高,但白茅的株高在单种与混种间的差异不显著,而紫茎泽兰的株高在单种和混种间出现显著差异,紫茎泽兰单种区的株高达 99 cm,而混种区的株高只有其单种的 49% (图 1),说明 2 物种混种可显著抑制紫茎泽兰的植株生长。不论是单种还是混合种植,白茅的株高均高于紫茎泽兰 (图 1)。单种时紫茎泽兰的株高达白茅株高的 84%,而混合种植区其株高只有白茅株高的 43%,表明混合种植时白茅在争夺光照等资源时具有明显的优势。

2.3 紫茎泽兰与白茅在单种和混种时的叶绿素含量差异

在单种区,紫茎泽兰的叶绿素含量显著高于白茅,白茅的叶绿素含量只有紫茎泽兰的 73% (图 2),说明紫茎泽兰的光合作用和物质合成速率强于白茅。但在二者混合种植时,可能由于株高方面的劣势使得紫茎泽兰失去了上述优势,混种中 2 物种的叶绿素含量非常接近 (图 2)。混合种植区 2 物种的叶绿素含量均小于各自单种区的叶绿素含量,其中紫茎泽兰的叶绿素含量在单种与混种间差异达显著水平( $P<0.05$ ),混种区的叶绿素含量只有其单种区的 77% (图 2);而白茅的叶绿素含量在单种与混种间无显著差异。

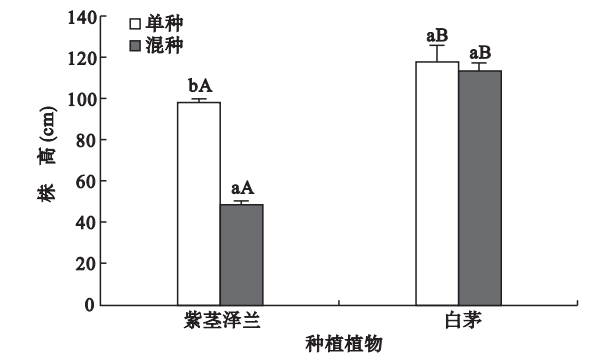


图 1 单种与混合种植条件下紫茎泽兰和白茅的株高  
Fig.1 Plant height of *Ageratina adenophora* and *Imperata cylindrica* in monoculture and mixed culture  
数值为平均值±标准差;小写字母表示相同物种不同种植方式之间的差异,大写字母表示相同种植方式不同物种之间的差异。下同。



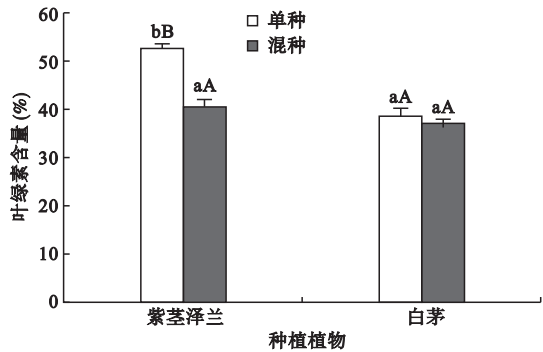


图 2 单种与混合种植条件下紫茎泽兰和白茅的叶绿素含量  
Fig. 2 Chlorophyll content of *Ageratina adenophora* and *Imperata cylindrica* in monoculture and mixed culture

2.4 紫茎泽兰与白茅的单株平均叶面积在单种与混种间的差异

白茅的单株平均叶面积在单种和混种时均大于紫茎泽兰,白茅的单株平均叶面积达 37 cm<sup>2</sup>,而紫茎泽兰的单株平均叶面积仅有 15 cm<sup>2</sup>(图 3),二者差异达显著水平 ( $P<0.05$ ),说明白茅的叶片截光量显著高于紫茎泽兰,从而合成更多的营养物质,促进其植株生长。在单种区,紫茎泽兰的单株平均叶面积为白茅的 40%,二者混合种植时,其单株平均叶面积的差异进一步扩大,前者只有后者的 30%(图 3)。白茅的单株平均叶面积在单种与混种间无显著差异,而紫茎泽兰的单株平均叶面积在单种与混种间差异显著,其混种区的单株平均叶面积只有单种区的 72%。

2.5 单种与混种区紫茎泽兰和白茅的分蘖数差异

单种和混种区的白茅分蘖数均高于紫茎泽兰,白茅在单种时其分蘖数可达 10.5 个·株<sup>-1</sup>以上,而紫茎泽兰的分蘖数最多只有 6.8 个·株<sup>-1</sup>。单种区

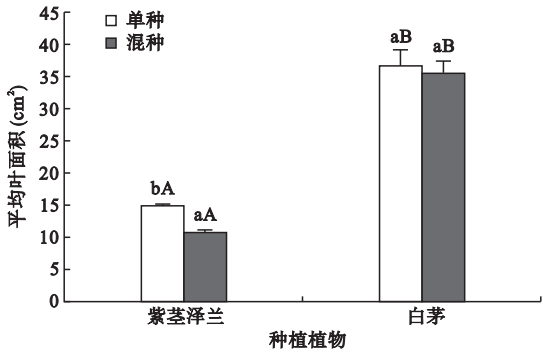


图 3 单种与混合种植条件下紫茎泽兰和白茅的单株平均叶面积  
Fig. 3 Average leaf area of *Ageratina adenophora* and *Imperata cylindrica* in monoculture and mixed culture

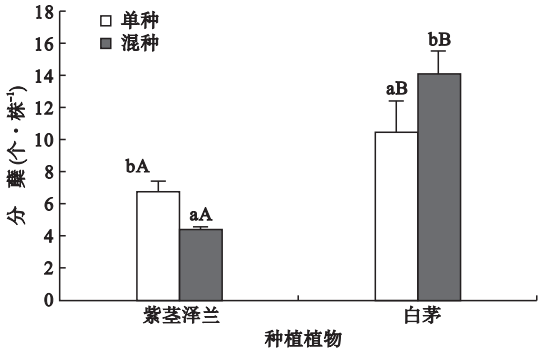


图 4 单种与混合种植条件下紫茎泽兰和白茅的分蘖数  
Fig. 4 Tillering number of *Ageratina adenophora* and *Imperata cylindrica* in monoculture and mixed culture

紫茎泽兰的分蘖数可达白茅分蘖数的 64%,而混种区前者只有后者的 31%(图 4)。紫茎泽兰的分蘖数在 2 物种混种时受到抑制,而白茅的分蘖数却在混种时得到显著促进。2 物种的植株分蘖数在单种与混种间均有显著差异,但混种区的紫茎泽兰分蘖数只有其单种区的 64%(图 4),而混种区的白茅分蘖数达其单种区的 132%,原因可能在于相同的种植密度下,单种区白茅的种内竞争大于混种区的种内种间竞争之和,在一定程度上抑制了其自身的分蘖生长所致。

3 讨论

植物竞争是生态研究的重要领域,它是决定群落性质的主要因素(李蕴等,2008),入侵种与本地种的种间竞争能力研究目前已成为竞争取代的研究焦点之一。本研究中,紫茎泽兰与白茅混合种植时相对产量总和 $<1$ ,说明 2 物种存在竞争作用,并且在一个生长季内随时间的延长竞争作用越来越激烈。混种区的紫茎泽兰生物量小于其单种区生物量,说明混种区紫茎泽兰的种间竞争大于种内竞争,在紫茎泽兰入侵区域混种白茅可在一定程度上抑制紫茎泽兰的生长,随着时间的延长紫茎泽兰被抑制的效果越来越明显。混种区的白茅幼苗期生物量大于其单种区生物量,表明此时紫茎泽兰对白茅几乎没有抑制作用,其生存压力可能主要来自种内;在生长后期,混种区白茅的相对产量 $<1.0$ ,说明白茅与紫茎泽兰的种间竞争超过了其种内竞争,但相对产量  $t$  测验值与 1.0 的差异尚未达到显著水平,说明种间竞争对白茅的生长影响较小。

在物种间的竞争中,植物增加其植株高度将有利于增加其自身的生物量(王俊峰和冯玉龙,

2004),紫茎泽兰在入侵扩散过程中往往通过荫蔽作用排斥其他本地植物(王满莲和冯玉龙,2005)。要成功替代控制紫茎泽兰,所选择的植物应在获取自然资源方面具有优于紫茎泽兰的一些生物学特性。朱宏伟等(2007)研究发现,黑麦草在与紫茎泽兰竞争中具有株高优势,可用于替代控制紫茎泽兰。本研究发现,白茅与紫茎泽兰相比具有植株高、单株平均叶面积大等方面的优势(单种区的紫茎泽兰株高只有白茅的84%左右,而单株平均叶面积还不到白茅的50%),也可用于紫茎泽兰的替代控制。白茅在与紫茎泽兰的竞争中由于具有植株高、单株平均叶面积大等优势,在二者混合种植时可获得和截取更多的光照资源,随着混种时间的延长,白茅的株高优势进一步扩大,而紫茎泽兰的植株生长受到了强烈的抑制,紫茎泽兰的株高与其单种相比大幅度下降。

叶绿素是植物进行光合作用的必要条件之一,它的含量对植物光合速率起着重要作用(秦天才和吴玉树,1997),其高低将直接影响光合作用的强弱和物质合成的速率(吴成龙等,2006)。叶绿素含量的变化是植物光合作用强度变化的重要指标,同时也可反映出植物的其他信息,如所处的生长期、生长状况等(Ustin *et al.*, 1998)。本研究中,单种区的紫茎泽兰叶绿素含量显著高于白茅,说明其本身的光合速率强于白茅,但混种区的紫茎泽兰叶绿素含量和白茅的叶绿素含量相差不大,可能是紫茎泽兰与白茅混种削弱了其光合作用能力,导致其光合速率下降。

植株的叶片是其光合作用的主要场所,也是为植株提供养分的重要场所。叶面积的大小是衡量植株的生长状况和光能利用率的重要指标(Baldwin & Schmelz, 1994)。本研究表明,单种区的紫茎泽兰单株平均叶面积小于白茅的单株平均叶面积,在二者混种时这种差距进一步扩大,混种区白茅的单株平均叶面积达紫茎泽兰单株平均叶面积的3倍多(图3)。混种区的紫茎泽兰单株平均叶面积与其单种相比也显著变小,这可能是紫茎泽兰在混种条件下的一种生存适应。在与白茅的竞争中,由于株高方面的劣势,部分紫茎泽兰的叶片被白茅遮蔽,这部分被遮盖的叶片常处于较低的光合作用,导致光合作用所产生的物质可能会小于呼吸作用所消耗的物质,为了更好地利用有限的光合产物,紫茎泽兰在生长过程中就会尽量减少无效叶片的面积,以利于在

竞争中求得生存。

分蘖是植物通过无性繁殖与其他植物竞争的有效途径,也是植物为尽快占领资源的一种手段。它是碳代谢为植株构建碳骨架,并为其生理代谢提供能量供应,增强光合活性,储存更多的光合产物和地上干物质的重要途径(郭天财等,2009)。虽然植株分蘖芽的分化与物种本身的固有特性有关,常常不受外界环境影响,但其分蘖芽是否进一步发育形成分蘖则与外界环境等诸多因素有关。在紫茎泽兰的替代控制中,具有较好替代控制效果的物种通常都具有较强的分蘖能力,且多数为禾本科植物(蒋智林等,2008)。本研究所选用的白茅也是禾本科植物,其单种时的分蘖数就大于紫茎泽兰的分蘖数,在与紫茎泽兰混种时,紫茎泽兰的分蘖数受到了抑制,而白茅的分蘖数却得到促进,这将更有利于其对紫茎泽兰的替代控制,提高替代控制效果和植被恢复。本研究结果与前人利用黑麦草替代控制紫茎泽兰的研究类似(朱宏伟等,2007;赵林等,2007)。

本地禾本科植物白茅分布广泛(宋会兴和彭远英,2005),它具有很强的无性繁殖能力和耐旱能力,能生长在沙地上(姜长阳和宁淑香,2001),在干旱条件下仍表现出良好的生长势。本研究显示,白茅的相对竞争力显著大于紫茎泽兰,在野外的竞争演替中,白茅有可能成功取代紫茎泽兰,但其长期的竞争演替结果有待于进一步的深入研究;不同环境因素和肥力水平对紫茎泽兰和白茅竞争关系的影响也尚需进一步研究,以便为紫茎泽兰的替代控制及其入侵生境的生态修复提供更加全面和深入的基础理论。

## 参考文献

- 桂富荣, 郭建英, 万方浩. 2006. 我国不同地理梯度下紫茎泽兰种群遗传多样性的变化. 华北农学报, **21**(5): 72-78.
- 郭天财, 盛 坤, 冯 伟, 等. 2009. 种植密度对两种穗型小麦品种分蘖期茎蘖生理特性的影响. 西北植物学报, **29**(2): 350-355.
- 姜长阳, 宁淑香. 2001. 白茅地组织培养及植株再生. 植物生理学通讯, **37**(2): 132-133.
- 蒋智林, 刘万学, 万方浩, 等. 2008. 非洲狗尾草与紫茎泽兰的竞争效应. 中国农业科学, **41**(5): 1347-1354.
- 李 丽, 张无敌, 尹 芳. 2007. 紫茎泽兰各种利用研究. 农业与技术, **27**(4): 51-54.
- 李 蕴, 肖宜安, 王春香, 等. 2008. 北美车前和车前的生长特征与相对竞争能力. 生态学杂志, **27**(4): 514-518.

- 梁小玉, 张新全. 2004. 紫茎泽兰发生特点、防治及其利用. 四川草原, (2): 13-15.
- 马建列, 白海燕. 2004. 入侵生物紫茎泽兰的危害及综合防治. 农业环境与发展, **21**(4): 33-34.
- 秦天才, 吴玉树. 1997. 镉铅单一和复合污染对小白菜抗坏血酸含量的影响. 生态学杂志, **16**(3): 31-34.
- 沈有信, 刘文耀. 2004. 长久性紫茎泽兰土壤种子库. 植物生态学报, **28**(6): 768-772.
- 宋会兴, 彭远英. 2005. 缙云山2种禾草种群生殖配置的比较研究. 植物资源与环境学报, **14**(3): 12-15.
- 万方浩, 郭建英, 王德辉. 2002. 中国外来生物入侵现状及其外来入侵生物的研究与管理对策. 生物多样性, **10**(1): 119-125.
- 王洪炯, 何萍, 马家林. 1994. 紫茎泽兰传入凉山州草地调查研究报告. 中国草地, (1): 62-64.
- 王进军. 2005. 紫茎泽兰// 万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京: 科学出版社: 650-661.
- 王俊峰, 冯玉龙. 2004. 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, **28**(6): 781-786.
- 王满莲, 冯玉龙. 2005. 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, **29**(5): 697-705.
- 王文杰, 李文馨, 祖元刚, 等. 2009. 紫茎泽兰茎和叶片色素及叶绿素荧光相关参数对不同温度处理的响应差异. 生态学报, **29**(10): 5429-5433.
- 吴成龙, 尹金来, 徐阳春, 等. 2006. 碱胁迫对菊芋幼苗生长及其光合作用和抗氧化作用的影响. 西北植物学报, **26**(3): 447-454.
- 向业勋. 1991. 紫茎泽兰的分布、危害及防除意见. 杂草科学, **5**(4): 10-11.
- 于亮, 李世吉, 桂富荣, 等. 2009. 黑麦草和紫花苜蓿对紫茎泽兰的竞争作用研究. 云南农业大学学报, **24**(2): 164-168.
- 张正文, 张雪尽. 2003. 在黔中高原喀斯特脆弱生态区种植皇竹草治理紫茎泽兰的研究. 贵州畜牧兽医, **27**(3): 4-5.
- 赵林, 孟玲, 李保平. 2007. 施肥对苗期紫茎泽兰和黑麦草相对竞争力的影响. 生态学杂志, **26**(11): 1743-1747.
- 赵燕燕, 曹悦, 孙启时. 2007. RP-HPLC法测定白茅根中siderin含量. 沈阳药科大学学报, **24**(2): 86-88.
- 朱宏伟, 孟玲, 李保平. 2007. 黑麦草与入侵杂草紫茎泽兰苗期的相对竞争力. 应用与环境生物学报, **13**(1): 29-32.
- Baldwin IT, Schmelz EA. 1994. Constraints on an induced defense: The role of leaf area. *Oecologia*, **97**: 424-430.
- De Wit CT. 1960. On competition. *Verslagen Lanbouwkundige Onderzoekingen*, **66**: 1-82.
- Dong SK, Cui BS, Yang ZF, et al. 2008. The role of road disturbance in the dispersal and spread of *Ageratina adenophora* along the Dian-Myanmar International Road. *Weed Research*, **48**: 282-288.
- Fowler N. 1982. Competition and coexistence in a North Carolina grassland. *Journal of Ecology*, **70**: 19-82.
- Gui FR, Wan FH, Guo JY. 2008. Population genetics of *Ageratina adenophora* using inter-simple sequence repeat (ISSR) molecular markers in China. *Plant Biosystems*, **142**: 255-263.
- Peng CI, Chung KF, Leu WP. 1998. Notes on three newly naturalized plant (*Asteraceae*) in Taiwan. *Taiwania*, **43**: 320-329.
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**: 1770-1774.
- Ustin SL, Smith MO, Jacquemoud S, et al. 1998. Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences (3rd ed.). New Jersey: John Wiley, Hoboken.
- Xu HG, Ding H, Li MY, et al. 2006. The distribution and economic losses of alien species invasion to China. *Biological Invasions*, **8**: 1495-1500.

作者简介 彭恒,男,1985年生,硕士研究生。主要从事外来生物入侵研究。E-mail: pengheng85@126.com

责任编辑 刘丽娟