

# 不同生境条件下紫茎泽兰实生幼苗的生存特性比较

王瑾芳<sup>1,2</sup> 高贤明<sup>1\*</sup> 党伟光<sup>1,2</sup>

1 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 外来植物紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)入侵我国西南地区并造成了严重的生态灾难, 了解其幼苗的生存特性, 有助于预防和治理其危害。本研究于2005年8月到2006年8月通过盆栽实验和样方调查, 研究了不同光照和水分条件下紫茎泽兰幼苗的生长、生存状况和开花比例。结果表明: (1) 紫茎泽兰从种子萌发到1年后形成幼苗并开花结果的概率为 $1.16 \times 10^{-13}$ – $2.43 \times 10^{-11}$ ; (2) 湿润偏阴生境利于紫茎泽兰的种子萌发和幼苗存活, 其萌发出现率和存活率都达到最高, 分别为13.93%和79.50%; (3) 在水分充足的情况下, 增加光照有利于紫茎泽兰生长; (4) 出土1年后的紫茎泽兰有3.92–5.05%的植株开花结果, 产生的种子密度为23,000–52,000 inds./m<sup>2</sup>。虽然紫茎泽兰种子个体成功生存的概率很小, 但种子产量大增加了该物种成功定居的机会, 特别是湿润偏阴环境能够促进幼苗的定居。

**关键词:** *Eupatorium adenophorum*, 水分, 光照, 存活率, 外来种入侵

## Survival traits of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) seedlings in different habitats

Jinfang Wang<sup>1,2</sup>, Xianming Gao<sup>1\*</sup>, Weiguang Dang<sup>1,2</sup>

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

2 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

**Abstract:** Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) is a highly invasive species. To provide information for controlling or preventing its spread and invasion, we examined recruitment, survival and flowering characteristics of Crofton weed seedlings through container and field experiments in different habitats between Aug. 2005 and Aug. 2006. The results showed that the probability of a seed developing into a mature plant was only  $1.16 \times 10^{-13}$  to  $2.43 \times 10^{-11}$ . The highest emergence rate (13.93%) and seedling survival rate (79.50%) in the first 10 weeks after seed planting occurred in shady and wet habitats, indicating that these two habitats are favorable for seedling emergence and survival. In addition, seedlings grew better in sunny habitat than in shady habitat when soil water was sufficient. One year after emergence, 3.92% to 5.05% of seedlings flowered. Density of seeds produced by these flowering individuals ranged from 23,000–52,000 ind/m<sup>2</sup>. Although survival rate of individual Crofton weed was low, enormous seed production ensured the successful colonization and development of sustainable populations, especially in humid and shady habitat.

**Key words:** *Eupatorium adenophorum*, water, sunshine, exotic species invasion

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)原产于墨西哥和哥斯达黎加(Auld, 1969, 1970), 目前已经入

侵到我国西南地区, 给当地生物多样性以及农林业生产带来严重危害 (达平毅, 2003; Sun *et al.*,

收稿日期: 2008-02-18; 接受日期: 2008-05-27

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-SW-13-03-06)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xmgao@ibcas.ac.cn

2004)。研究者已经对紫茎泽兰在个体和种群特征、生理和生化特性、分布规律、控制措施等方面展开了一系列研究(强胜, 1998; 卢志军和马克平, 2004; 孙晓玉等, 2005; Lu *et al.*, 2006; 王俊峰和冯玉龙, 2006), 结果表明, 紫茎泽兰具有很强的光合作用能力: 光饱和点高, 接近阳生植物, 光补偿点低, 对光的适应范围较宽(刘文耀等, 1988), 能够适应大幅度的光环境差异可能是其表现入侵性的重要原因之一(王俊峰等, 2004)。紫茎泽兰在遮荫和湿润的环境下种子萌发率更高, 幼苗生长速度也更快(李爱芳等, 2007)。但也有研究发现紫茎泽兰幼苗的死亡率很高(孙晓玉等, 2005)。

在植物生活史中, 幼苗阶段对于定居和建群来说是最为脆弱的阶段, 也是对环境条件最为敏感的时期(Guterman, 1993; 黄振英等, 2001), 外来物种在这一时期对环境的适应性决定了它是否能够成功入侵(Auld & Martin, 1975; Hasegawa, 1984; Green, 1997)。但是目前对紫茎泽兰在幼苗阶段适应不同环境的生存特性还不十分清楚。为此我们通过控制实验和野外调查, 研究了紫茎泽兰从种子萌发到成熟开花过程中的一系列生理生态特征的变化, 希望回答以下问题: (1) 紫茎泽兰种子从萌发到成熟植株的概率有多大; (2) 不同环境条件下其幼苗阶段生长、生存特性有何差异; (3) 萌发后1年的紫茎泽兰对种群繁殖扩散的贡献有多大。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点概况

研究地点位于四川省攀枝花市仁和区平地镇, 地理位置为 $26^{\circ}10'N$ ,  $101^{\circ}49'E$ , 海拔1,940 m。本区具有独特的立体型山地地貌和立体型亚热带气候, 年平均气温 $20.4^{\circ}C$ , 年积温 $7,450^{\circ}C$ , 年日照时数2,745 h, 无霜期300 d 以上。年降雨量760–1,100 mm, 有明显的干湿季之分, 雨季多集中在6–10月, 雨季降水丰富, 夜间降雨偏多, 白天光照充足, 有利于植物生长(李爱芳等, 2006)。

### 1.2 幼苗初期存活和生长动态

由于紫茎泽兰刚刚萌发的幼苗个体较小, 生存能力受环境影响较大, 为了便于控制环境条件特别是土壤水分和光照强度, 本实验采用盆栽方式进行。实验所用花盆直径为23 cm, 所用土壤取自实验地点附近。为减小土壤种子库对实验的影响, 取土

时避开表层土而取用10 cm以下的土壤。在实验开始前将土装盆, 每天浇水并翻动, 以促进种子萌发, 直到1个月后不再有幼苗出土时开始进行本实验。播种量根据当年生紫茎泽兰产生种子的密度( $23,000\text{--}52,000$  inds./ $m^2$ )确定, 在土壤表面每盆播撒0.1 g紫茎泽兰种子, 播种后再覆盖一薄层土。根据我们实测的紫茎泽兰种子千粒重 $0.043 \pm 0.001$  g, 换算成播种密度约为 $50,000$  inds./ $m^2$ 。

实验设水分和光照两个因子, 每个因子又分别设浇水和不浇水、遮荫和不遮荫两个水平, 两两组合为干旱偏阳处理、湿润偏阳处理、干旱偏阴处理和湿润偏阴处理共计4种处理, 每种处理设6个重复。浇水处理是在没有降水或降水不足时及时补充花盆内土壤水分; 无浇水处理的花盆土壤水分仅来源于自然降雨。实验期间日降水量见表1, 此数据来自攀枝花气象站。遮荫处理采用透光率为21.2%的黑色尼龙网覆盖花盆, 不遮荫处理则将花盆置于阳光直射之下。自播种日开始每周记录一次各盆中新萌发的幼苗数量。实验时间为2006年6月5日至2006年8月18日。实验结束时清点各盆中紫茎泽兰幼苗数, 并完整地拔出, 按盆分别装入纸袋, 带回实验室在 $65^{\circ}C$ 下烘干至恒重并称量。

### 1.3 幼苗定居及发育

紫茎泽兰幼苗出土10周后其生长受到花盆的限制, 因此选择野外紫茎泽兰实生苗群落进行调查。虽然紫茎泽兰种子属于投机式萌发, 但绝大部分种子在雨季早期萌发, 如果不受到其他干扰, 其他时间萌发的幼苗极少。因此野外调查过程中未考虑新萌发的幼苗。

在研究区域选取108国道两侧紫茎泽兰单优势群落, 在雨季前对其中的紫茎泽兰植株进行彻底清除。以进入雨季后土壤中紫茎泽兰种子萌发形成的当年生实生幼苗作为研究对象。在不同坡向和坡位分别选取光照和水分条件不同组合的4个区域, 即干旱偏阳生境、湿润偏阳生境、干旱偏阴生境和湿润偏阴生境, 与盆栽实验的4种处理相对应。在每种生境中用木桩固定10个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方, 分别在2005年8月25日、11月8日, 2006年1月3日、3月2日、5月8日和7月3日开始依次调查各样方中紫茎泽兰植株的定居状况及其高度, 2006年3月调查各样方中这些当年生紫茎泽兰的开花植株数。

表1 盆栽实验期间攀枝花日降水量(2006)  
Table 1 Daily precipitation in Panzhihua City during the experiment period (2006)

日期 Date	降水量(mm) Precipitation	日期 Date	降水量(mm) Precipitation	日期 Date	降水量(mm) Precipitation
June 7	1.8	July 4	1.6	July 24	30.4
June 8	7.7	July 5	6.6	July 25	0.1
June 9	13.3	July 7	34.5	July 29	0.7
June 10	11.0	July 8	16.6	July 30	3.3
June 18	20.0	July 9	2.5	July 31	18.0
June 23	63.9	July 11	16.4	Aug. 1	0.9
June 27	49.8	July 12	17.0	Aug. 12	6.8
June 29	0.1	July 16	33.1	Aug. 13	61.0
June 30	22.5	July 18	31.4	Aug. 16	1.0
July 1	76.8	July 19	19.8		

表2 紫茎泽兰萌发出现率和幼苗各阶段存活率  
Table 2 Emergence rate and livability of Crofton weed during different growing period

	干旱偏阳 Dry and sunny	湿润偏阳 Humid and sunny	干旱偏阴 Dry and shady	湿润偏阴 Humid and shady
盆栽实验 Experiment in pots				
种子萌发出现率 Emergence rate of seeds (%)	5.13 <sup>a</sup>	6.43 <sup>a</sup>	7.94 <sup>a</sup>	13.93 <sup>b</sup>
10周幼苗存活率 Livability in 10 weeks (%)	1.08 <sup>a</sup>	63.50 <sup>b</sup>	31.30 <sup>c</sup>	79.50 <sup>b</sup>
样方调查 Survey in field				
1年生幼苗存活率 Livability in one year (%)	41.47 <sup>a</sup>	41.09 <sup>a</sup>	49.47 <sup>a</sup>	48.84 <sup>a</sup>
1年生幼苗开花率 Flowering rate of one-year seedlings (%)	5.05 <sup>a</sup>	3.92 <sup>a</sup>	4.24 <sup>a</sup>	4.49 <sup>a</sup>
从种子到开花个体的概率 Probability of seeds developing into flowering seedlings	1.16×10 <sup>-13</sup>	6.58×10 <sup>-12</sup>	5.21×10 <sup>-12</sup>	2.43×10 <sup>-11</sup>

表中各行内具有相同字母的数据间差别不显著,  $P < 0.05$ 。  
Within each line, data that share the same letter are not significantly different from each other ( $P < 0.05$ )

1.4 数据处理

对不同处理及不同生境的各组数据运用统计软件SPSS 13.0的描述统计(Descriptive)过程进行均值与标准误的分析。运用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验不同生境各项数据间是否差异显著,并采用LSD法进行多重比较。其中,对不符合方差分析假设的数据,进行以10为底的对数变换后再做检验。

实验调查得到了种子萌发出现率、10周内幼苗存活率、1年幼苗存活率和1年后开花率4个阶段的比例,据此我们推算了1粒种子在1年后成为1株开花植株的概率(表2)。

2 结果

2.1 不同处理/生境的种子萌发与幼苗补充

盆栽实验中,在比较理想的湿润偏阴处理下种子萌发率为13.93%,显著大于其他生境( $n = 6$ ),即干旱偏阳处理( $P = 0.004$ ),湿润偏阳处理( $P =$

0.013),干旱偏阴处理( $P = 0.041$ ),种子萌发速度快且萌发最高峰时幼苗密度大,平均为 $6,711 \pm 1,697$  inds./m<sup>2</sup>;而在干旱偏阳处理下,紫茎泽兰种子萌发率仅有5.13%,种子萌发速度慢且萌发最高峰时幼苗密度较小,平均为 $2,468 \pm 531$  inds./m<sup>2</sup>(图1),但与干旱偏阴( $n = 6$ ,  $P = 0.640$ )和湿润偏阳处理( $n = 6$ ,  $P = 0.316$ )相比差异均不显著;干旱偏阴和湿润偏阳处理下紫茎泽兰幼苗密度峰值无显著差别( $n = 6$ ,  $P = 0.586$ ),平均值分别为 $3,825 \pm 382$  inds./m<sup>2</sup>和 $3,095 \pm 421$  inds./m<sup>2</sup>(图1)。

2.2 不同处理/生境的幼苗定居

盆栽实验结果显示,播种后10周内,各种处理的紫茎泽兰幼苗密度变化趋势均表现为先迅速增加,达到峰值后除湿润偏阴处理变化较小外,其他处理均有部分幼苗死亡,密度减小;在2006年7月30日(播种第8周)之后开始趋于平稳(图1)。而样方调查发现,不同生境条件下当年生紫茎泽兰幼苗的死

亡率差异不显著( $n = 10$ ,  $P = 0.270$ )(表2), 不同生境中幼苗密度均随季节更替而变化, 在雨季的中后期(9–11月)至旱季初期(11月至翌年1月)维持比较稳定的较高水平, 随后密度开始降低, 直到干旱末期的5月达到谷底; 进入雨季(6月)后由于有新的实生幼苗补充以及克隆繁殖, 密度开始回升(图2)。

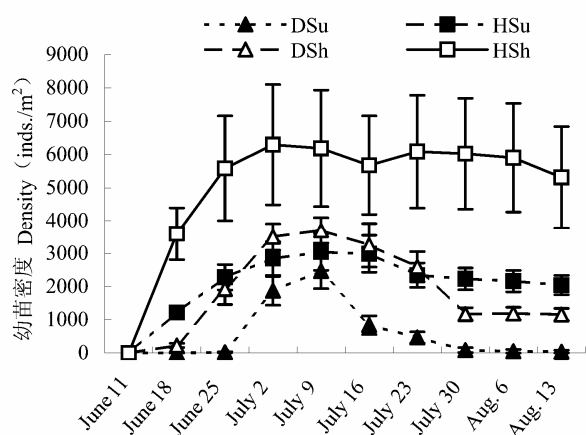


图1 不同遮荫和水分处理下紫茎泽兰幼苗密度变化。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 1 Changes of seedling density in different shady and water treatments. DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

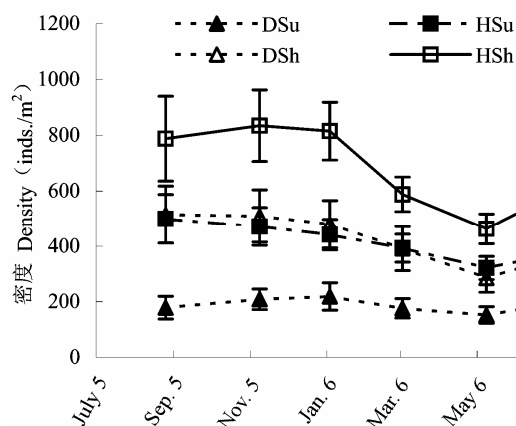


图2 不同生境条件下紫茎泽兰幼苗密度的季节变化。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 2 Seasonal changes in seedling density in different habitats. DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

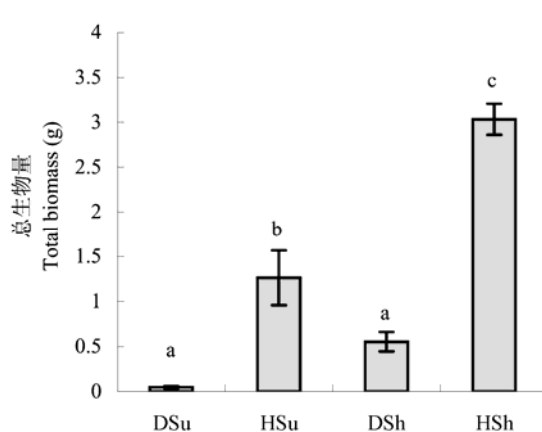


图3 盆栽紫茎泽兰幼苗出土10周后总生物量。图中具有相同字母的柱之间差别不显著( $P < 0.05$ )。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 3 Total biomass of seedlings in pot during 10 weeks. The bars that share the same letter are not significantly different from each other ( $P < 0.05$ ). DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

## 2.3 不同处理/生境幼苗生长状况

不同处理间, 盆栽实验中紫茎泽兰幼苗的生物量(图3)和样方调查中紫茎泽兰的高度(图5)显示了与幼苗密度相似的差异特点。在干旱偏阳处理/生境下, 幼苗总生物量/高度最小; 湿润偏阴生境下, 幼苗总生物量/高度最大, 并显著大于其他3种处理( $n=6$ ,  $P \leq 0.001$ )或其他3种生境( $n=10$ ,  $P \leq 0.001$ ); 干旱偏阴处理/生境和湿润偏阳处理/生境, 生长状况居中。

在盆栽实验中, 不同处理条件下平均单株幼苗的生物量不同, 湿润偏阳处理的幼苗个体平均生物量显著大于其他处理(图4,  $n = 6$ ,  $P < 0.05$ ), 即干旱偏阳处理( $P = 0.003$ )、干旱偏阴处理( $P = 0.027$ )和湿润偏阴处理( $P = 0.015$ )。

## 2.4 当年生植株发育状况

不同生境条件下紫茎泽兰当年生植株的发育状况有所不同。发育成熟(开花结实)个体数所占比例均较低, 且相互之间无显著差异(表2,  $n = 10$ ,  $P = 0.903$ )。干旱偏阳生境开花植株密度较小, 仅有  $10 \pm 4$  inds./m<sup>2</sup>, 湿润偏阴生境开花植株密度为  $23 \pm 4$  inds./m<sup>2</sup>, 二者在统计上亦无显著差异(图6,  $n = 10$ ,  $P = 0.079$ )。每开花植株头状花序数为  $36.7 \pm 2.3$ 。

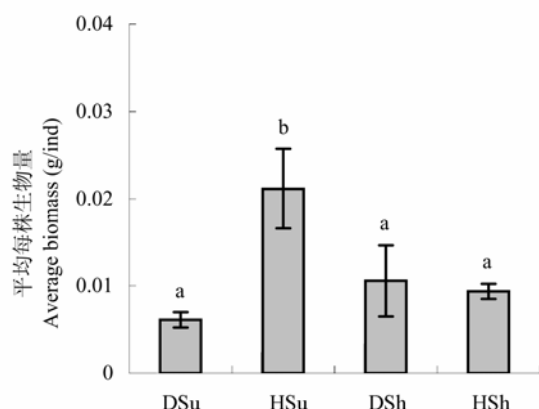


图4 盆栽紫茎泽兰幼苗出土10周后平均单株生物量。图中具有相同字母的柱之间差别不显著( $P < 0.05$ )。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 4 Average biomass of seedling in pot during 10 weeks. The bars that share the same letter are not significantly different from each other ( $P < 0.05$ ). DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

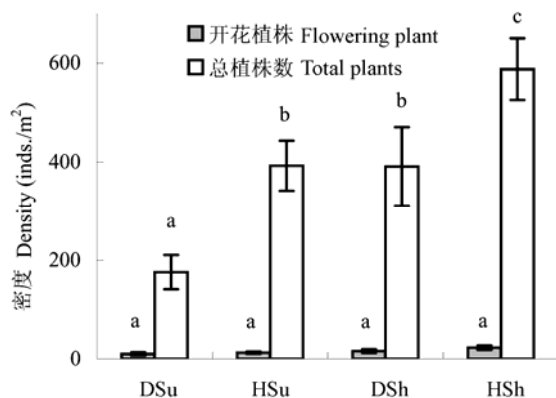


图5 不同生境紫茎泽兰出土1年后生长高度。图中具有相同字母的柱之间差别不显著( $P < 0.05$ )。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 5 Seedling height in different habitats one year after emergence. The bars that share the same letter are not significantly different from each other ( $P < 0.05$ ). DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

### 3 讨论

#### 3.1 种子萌发出现率及其与处理/生境的关系

据文献报道, 在实验室条件下紫茎泽兰种子发芽率较高, 达94% (Lu *et al.*, 2006), 在不同光照条件下, 种子萌发率在59.3–83.3%之间(王文琪等,

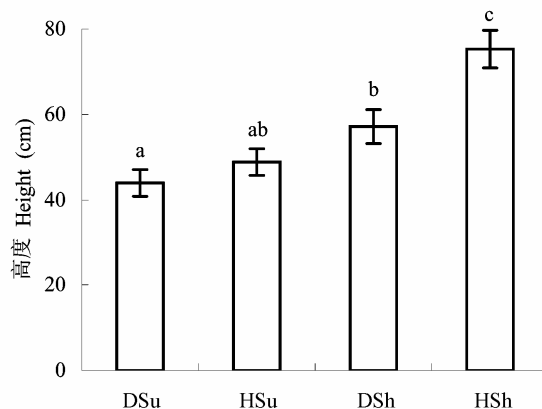


图6 不同生境紫茎泽兰发育成熟的植株与总植株密度。图中具有相同字母的柱之间差别不显著( $P < 0.05$ )。DSu: 干旱偏阳处理; HSu: 湿润偏阳处理; DSh: 干旱偏阴处理; HSh: 湿润偏阴处理。

Fig. 6 Density of flowering and total plants in different habitats. The bars that share the same letter are not significantly different from each other ( $P < 0.05$ ). DSu, Dry and sunny; HSu, Humid and sunny; DSh, Dry and shady; HSh, Humid and shady.

2006), 在常温条件下储藏一年的紫茎泽兰种子的活力也不低于60%(王文琪等, 2007)。但是本研究中盆栽紫茎泽兰的萌发出率却远远低于上述结果, 仅为5.13–13.93% (表2)。其原因可能是: 一方面紫茎泽兰种子萌发具有投机性和显著不整齐性等杂草种子萌发特征, 以避免在同一时间全部萌发时可能遇到突发不利环境因素而威胁种群生存(李爱芳等, 2007); 另一方面, 由于紫茎泽兰种子微小, 刚萌发出来的胚根非常脆弱, 一旦缺水, 很快就会干枯而死, 因此在实验中, 可能有一定比例的种子已经开始萌发, 但由于干旱缺水而使新生胚根枯萎死亡, 从而导致萌发终止。由于紫茎泽兰种子微小无法鉴别未萌发与萌发终止的种子, 所以未将那些萌发终止的种子加以统计, 因此本实验的种子萌发率偏低。这里使用萌发出率, 以区别在实验室条件下一般没有水分胁迫、强光照射条件下的萌发率。另外, 覆土厚度的增加也会影响萌发。

本实验表明, 在种源充足的情况下紫茎泽兰种子萌发出率一般不高, 即使是在比较理想的湿润偏阴处理下也仅达到13.93%, 不过这一结果与其他3种处理结果的差异已经达到极显著或显著的水平; 而在干旱偏阳的处理下, 紫茎泽兰种子萌发出率仅有5.13% (表2)。这些结果表明, 强烈的光照和水分匮乏的生境条件可能对紫茎泽兰幼苗的补充有

非常不利的影响。

紫茎泽兰从种子到幼苗补充的比例不高并不影响幼苗定居所需要的密度, 因为本研究显示在密度较小的干旱偏阳生境下, 紫茎泽兰种子萌发的实生幼苗密度也高达 $2,468 \pm 531 \text{ inds./m}^2$  (图1), 而成年的紫茎泽兰植株只需 $1-5 \text{ inds./m}^2$ 就可以形成单优植物群落。在水分条件比较优越并有一定遮荫的生境条件下, 紫茎泽兰实生幼苗的密度可达 $5,000 \text{ inds./m}^2$ 以上(图1)。很多研究认为能够形成丰富的幼苗是入侵物种的一大特征(Colautti *et al.*, 2006; van Kleunen & Johnson, 2007), 本研究所进行的盆栽实验(图1)结果与上述结论一致。

### 3.2 不同生境幼苗生长、生存差异

据报道, 紫茎泽兰对光具有很强的适应性, 光合作用能力强。具有接近阳性植物的光饱和点, 而光补偿点却很低(刘文耀等, 1988)。这可能是其表现入侵性的重要原因之一(王俊峰等, 2004)。紫茎泽兰可以根据生长环境光强的变化调节其形态和生理过程, 在不同的光照条件下紫茎泽兰的叶片能够采取相应的适应对策, 保证在高光强条件下光合器官不受破坏, 在低光强条件下能有效地利用光能(Sun *et al.*, 2006)。但是根据实验观察, 由于紫茎泽兰幼苗早期十分脆弱, 易受强光直射的伤害, 因此一定的遮荫有利于幼苗的补充和定居。

在本实验中, 干旱偏阴处理由于遮荫减少了太阳辐射对紫茎泽兰幼苗的直接伤害, 也降低了土壤水分的丧失, 导致水分条件与湿润偏阳处理相似, 因此幼苗数量无显著差异 (图1,  $n = 6$ ,  $P = 0.586$ )。根据实地观察发现, 对于紫茎泽兰幼苗早期成活来说, 干旱和强光直射是两个限制因子, 因此干旱偏阳处理条件下紫茎泽兰幼苗无论是密度还是总体生物量都是最低的。当水分不再是限制因子时(湿润偏阳处理), 直射光虽然降低了幼苗的成活率, 但同时也促进了存活幼苗的生长, 因此幼苗平均生物量高于其他处理; 当没有水分和强光直射等因子限制时(湿润偏阴处理), 尽管幼苗总体生物量大于其他处理(图3,  $n = 6$ ,  $P < 0.001$ ), 但个体平均生物量却较低(图4)。导致个体生物量差异的原因可能是: 生境条件优越时幼苗存活率高导致其密度较大, 种内竞争剧烈, 使得个体获取资源量较少, 从而降低了个体平均生物量; 生境条件严酷时幼苗存活率低导致密度较小, 但此时能够存活的幼苗通常是比较健壮

的个体, 再加上种内竞争程度降低, 个体平均生物量反而较高。湿润偏阳处理的个体生物量最大, 说明在水分较好的生境条件下, 较强的光照有利于紫茎泽兰生长发育, 这一结果与以前的相关研究结论一致(李爱芳等, 2007; Sun *et al.*, 2006)。实际上, 不同生境中幼苗存活率的变化对于紫茎泽兰发育成熟后的种群密度影响甚微, 因为定居的幼苗密度已大大超过了紫茎泽兰能够形成单优群落所需要的密度, 这可能是紫茎泽兰几乎能够在任何它所能传播到的地方造成入侵危害的重要原因之一。

### 3.3 个体发育特征及其意义

在我国西南部, 紫茎泽兰的花果期在旱季的中后期(3-4月), 这表明紫茎泽兰实生苗必须经过至少近一年的生长发育才能够进入其生活史中的有性繁殖阶段。在样方调查中发现, 经过近一年的生长发育, 仅有部分当年生紫茎泽兰植株发育成熟并开花结果(表2, 图6)。按每头状花序平均种子量为 $62.01 \pm 0.45$ 粒计算(李爱芳等, 2006), 根据紫茎泽兰开花植株密度(图6)和我们观察到的紫茎泽兰头状花序数量估算, 不同生境种子产量密度在 $23,000-52,000 \text{ inds./m}^2$ 之间。如果将种子萌发出苗率、幼苗存活率和开花率作为从种子、幼苗补充、幼苗定居到成功入侵比率的粗略估算的话, 那么从种子生长发育到成年植株的概率仅有 $1.16 \times 10^{-13} - 2.43 \times 10^{-11}$  (表2)。但就是这很小比率的植株所产生的种子量也可以达到 $23,000-52,000 \text{ inds./m}^2$ , 这个数量已足够维持单优种群规模, 并为进一步扩散提供种源。

李爱芳等(2007)研究发现, 紫茎泽兰存在着不同的生活史周期, 即部分紫茎泽兰幼苗经过一年的生长发育后在翌年的3-4月进入花果期, 而另一部分则继续保持营养生长。结合本研究结果可以推测, 由于一年生紫茎泽兰幼苗平均高度一般在 $40-80 \text{ cm}$ 之间(图5), 并且开花结实后花枝枯死并进入休眠期, 这样在雨季到来时, 这些开花结实的个体在与其他植物种类进行生活空间竞争时在高度上的优势不再明显, 但是其克隆繁殖的能力很强, 仍能够保持生长上的优势。大部分没有开花的紫茎泽兰植株, 其枝干不仅不会枯死, 反而因为没有休眠期而继续保持生长, 这就保证了紫茎泽兰群体在进入一个新的生境后能很快在与其他植物进行生活空间的竞争上获得优势, 从而保证了入侵的成功。紫

茎泽兰这种生活史特征不仅及时为紫茎泽兰的扩散提供了大量的种子,而且能够迅速地在入侵地建立优势种群,通过生存空间竞争排挤本地植物,形成单优群落,导致入侵危害。

## 参考文献

- Auld BA (1969) The distribution of *E. adenophorum* Spreng. on the far north coast of new south wales. *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, **102**, 159–161.
- Auld BA (1970) *Eupatorium* weed species in Australia. *Pest Articles and News Summaries*, **16**, 82–86.
- Auld BA, Martin PM (1975) The autoecology of *Eupatorium adenophorum* Spreng. in Australia. *Weed Research*, **15**, 27–31.
- Colautti RI, Grigorovich IA, MacIsaac HJ (2006) Propagule pressure: a null model for biological invasions. *Biological Invasions*, **8**, 1023–1037.
- Da PF (达平馥), Hong YQ (洪焰泉) (2003) Damage characteristics of *Eupatorium adenophorum* and its recent development of research and utilization. *Forest Inventory and Planning* (林业调查规划), **28**, 95–98. (in Chinese with English abstract)
- Green PT, O'Dowd DJ, Lake PS (1997) Control of seedling recruitment by land crabs in rain forest on a remote oceanic island. *Ecology*, **78**, 2474–2486.
- Guterman Y (1993) Seed germination in desert plants. In: *Adaptations of Desert Organisms Series*. (ed. Guterman Y), pp. 287–304. Springer, Berlin.
- Hasegawa S (1984) Basic studies on the conservation of the natural coastal forests in Hokkaido: the structure and regeneration of *Quercus dentata* Thunb. forest in Ishikari. *Research Bulletins of the College Experiment Forests, Hokkaido University*, **41**, 313–422. (in Japanese with English summary)
- Huang ZY (黄振英), Guterman Y, Hu ZH (胡正海), Zhang XS (张新时) (2001) Seed germination in *Artemisia sphaerocephala*. II. The influence of environmental factors. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **25**, 240–246. (in Chinese with English abstract)
- Li AF (李爱芳), Gao XM (高贤明), Dang WG (党伟光), Huang RX (黄荣祥), Deng ZP (邓祖平), Tang HC (唐和春) (2006) Parasitism of *Procecidochares utilis* and its effect on growth and reproduction of *Eupatorium adenophorum*. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **30**, 496–503. (in Chinese with English abstract)
- Li AF (李爱芳), Gao XM (高贤明), Dang WG (党伟光), Wang JF (王瑾芳) (2007) Growth trends of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) seedlings in different habitats. *Biodiversity Science* (生物多样性), **15**, 479–485. (in Chinese with English abstract)
- Liu WY (刘文耀), Liu LH (刘伦辉), Zheng Z (郑征) (1988) Photosynthesis trait of *Eupatorium adenophorum* and its ecological significance. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **10**, 175–181. (in Chinese)
- Lu P, Sang WG, Ma KP (2006) Effects of environmental factors on germination and emergence of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*). *Weed Science*, **54**, 452–457.
- Lu ZJ (卢志军), Ma KP (马克平) (2004) The influence of topographical factors on the invasion of the alien species, *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 761–767. (in Chinese with English abstract)
- Qiang S (强胜) (1998) The history and status of the stuffy on control weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng.) a worst world weed. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **16**, 366–372. (in Chinese)
- Sun XY, Lu ZH, Sang WG (2004) Review on studies of *Eupatorium adenophorum*—an important invasive species in China. *Journal of Forestry Research*, **15**, 319–322.
- Sun XY (孙晓玉), Lu ZH (陆兆华), Yu XJ (于兴军), Sang WG (桑卫国) (2005) Age structure dynamics of *Eupatorium adenophorum* populations and its implications for control. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **29**, 373–379. (in Chinese with English abstract)
- Sun XY, Lu ZH, Li PH, Jiang QS, Liang Z (2006) Ecological adaptation of *Eupatorium adenophorum* populations to light intensity. *Journal of Forestry Research*, **17**, 116–120.
- van Kleunen M, Johnson SD (2007) South African Iridaceae with rapid and profuse seedling emergence are more likely to become naturalized in other regions. *Journal of Ecology*, **95**, 674–681.
- Wang WQ (王文琪), Wang JJ (王进军), Zhao ZM (赵志模) (2006) Seed population dynamics and germination characteristics of *Eupatorium adenophorum*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**, 982–986. (in Chinese with English abstract)
- Wang WQ (王文琪), Wang JJ (王进军), Zhao ZM (赵志模) (2007) Influence of environmental factors on seed germination of *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (植物保护科学), **23**, 346–349. (in Chinese with English abstract)
- Wang JF (王俊峰), Feng YL (冯玉龙), Liang HZ (梁红柱) (2004) Adaptation of *Eupatorium adenophorum* photosynthetic characteristics to light intensity. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 1373–1377. (in Chinese with English abstract)
- Wang JF (王俊峰), Feng YL (冯玉龙) (2006) Allelopathy and light acclimation characteristic for *Ageratina adenophora* seedlings grown in man-made communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 1809–1817. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣)