

紫茎泽兰与黑麦草苗期相对竞争力和生长特征的研究

王志飞, 孟玲, 李保平*

(南京农业大学植物保护学院, 农业部病虫监测与治理重点开放实验室, 南京 210095)

摘要:为探究替代物种黑麦草(*Lolium perenne*)抑制外来入侵杂草紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)的潜力,采用 de Wit 取代系列设计,在野外小区内设置 3 水平多年生黑麦草栽植时间、4 水平种植密度以及 3 水平混种比例等不同种植处理,于 12 周后收获,分别测量黑麦草与紫茎泽兰的地上生物量和地下生物量,用单株相对产量分析其竞争力。结果表明,种植密度、混种比例和黑麦草栽植时间显著影响紫茎泽兰的地上生物量,紫茎泽兰的竞争力在低种植比例情况下,随黑麦草栽植时间的推迟而明显增强,随种植密度的降低而增强。种植密度、混种比例、黑麦草栽植时间以及这些因素的互作等对黑麦草的地上生物量与地下生物量均具有显著影响;栽植时间越晚、密度越大,黑麦草的竞争力就越弱(尽管不存在直线关系)。在大多数种植处理条件下,紫茎泽兰经历的种间竞争明显大于种内竞争,表现出较弱的竞争力;而黑麦草在与紫茎泽兰同时栽植的情况下,经历的种内竞争大于种间竞争,表现出较强的竞争力。

关键词: 紫茎泽兰; 黑麦草; 竞争; 种植方式; 外来入侵杂草

中图分类号: Q948.122.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)03-0199-06

Relative Competitive Ability and Growth Characteristics of *Eupatorium adenophorum* and *Lolium perenne* Seedlings

WANG Zhi-fei, MENG Ling, LI Bao-ping*

(Faculty of Plant Protection, Nanjing Agricultural University; Open Key laboratory of Pests Monitoring and Management, the Ministry of Agriculture of China, Nanjing 210095, China)

Abstract: The competitive ability and growth characteristics of the perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and the alien invasive weed (*Eupatorium adenophorum*) were studied by using de Wit replacement series method. The density, mixture proportion, and ryegrass-transplant time had significant effects on the aboveground biomass of *E. adenophorum*. The competitive ability of *E. adenophorum* was increased with postponing ryegrass-transplant, and planted at low density. The aboveground and belowground biomasses of *L. perenne* were significantly affected by density, mixture proportion, ryegrass-transplant time, and their interactions. The competitive ability of *L. perenne* was decreased with postponing ryegrass-transplant, and with density increasing. The results indicated that there were more interspecific competition of *E. adenophorum* experienced than that of *L. perenne*, while *L. perenne* had more intraspecific competition than interspecific competition when transplanted at the same with *E. adenophorum*, it indicated that *L. perenne* was a stronger competitor.

Key words: *Eupatorium adenophorum*; *Lolium perenne*; Competition; Planting manipulation; Invasive alien weed

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng.)原产于南美洲,已入侵我国西南广大地区,并仍在扩散蔓延,对入侵地的农、林、畜牧业经济和生物多样性造成严重危害^[1-2]。替代控制是一种主要针对外来入侵植物的生态控制方法,旨在利用植物的种间竞争规律,用一种或多种植物的生长优势抑制入侵杂草的生长,达到防治或减轻其危害的目的^[3]。替代控制是防治紫茎泽兰的重要方法之一,如在澳大利亚的紫茎泽兰入侵地,种植禾本科的地毯草(*Axonopus affinis*)来替代控制紫茎泽兰取得了不错的控制效果^[4]。多年生黑麦草(*Lolium perenne*)须根发达、分蘖能力强,建植速度快,能够迅速覆盖地面,常作为水土保持混播种中的先锋植物。这些特性可能使其在铲除紫茎泽兰后迅速栽植,抑制紫茎泽兰萌发再生,从而成为紫茎泽兰强有力的潜在竞争者。黑麦草还是一种优质牧草,具有较高的经济价值^[5],因此具有推广应用价值。所以,黑麦草在云南省曾被推荐为治理紫茎泽兰危害的替代植物之一^[6]。

黑麦草能否替代紫茎泽兰,关键在于其苗期相对竞争力的大小。朱宏伟等的盆栽试验表明,在苗期黑麦草的相对竞争力显著大于紫茎泽兰,是后者强有力的竞争者^[7]。但这个结论是否符合野外实际,竞争结果将受到哪些因素的影响,有必要开展进一步的野外试验。

众多研究表明,出苗时间、混种密度和比例等种植方式,对植物种间竞争结果具有重要影响^[8-9]。迄今,有关种植方式对替代植物与紫茎泽兰竞争表现影响的研究尚未见报道。本研究在云南昆明进

行野外小区试验,比较在不同栽植时间、混种密度和比例等条件下,黑麦草与紫茎泽兰的竞争能力,为合理利用替代植物黑麦草控制入侵杂草紫茎泽兰的替代控制实践提供依据。

1 材料和方法

1.1 实验地概况和材料

野外试验小区位于昆明市北郊云南农业大学试验农场(海拔 1 966 m,位于 25°08'18.9"N, 102°45'4.1"E)。昆明市年平均温度 15.1℃,年降雨量 1 000 mm,属亚热带季风气候。试验地的土质为红色粘土。紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)种子于 2005 年 4 月份采自云南省昆明市黑龙潭,常温下干燥保存。多年生黑麦草(*Lolium perenne*)种子购于种子公司,萌发率为 83%~95%。

1.2 小区设置

试验小区布局参考 Landhausser^[10]的方法,该方法的优点是既分析种间影响,又分析种内影响;而且可以非常有效地揭示不同密度下的种间关系(图 1)。每小区面积为 2.3 m×2.3 m。共设 3 个黑麦草幼苗栽植时间、5 个种植方式和 4 个种植密度。于 2006 年 6 月 11 日播种紫茎泽兰和黑麦草种子开始育苗,然后,隔 15 d 播种 1 次黑麦草种子,共播 2 次,从而获得 3 个不同龄期的黑麦草幼苗。同一龄期选择株高、形态相近的幼苗移栽入小区,对一周内死亡的幼苗进行补栽。5 个种植方式包括:3 个不同比例的混种,即紫茎泽兰与黑麦草比例分别为 2:5(图 1a)、3:4(图 1b)和 4:3、黑麦草单

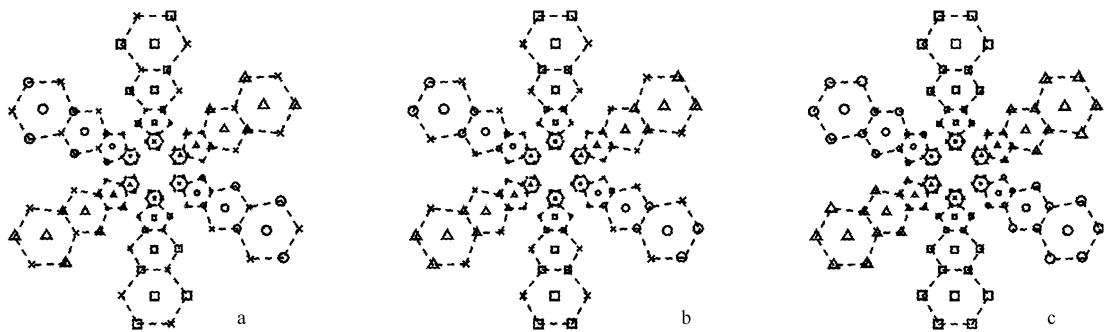


图 1 试验小区设置

Fig. 1 Layout of the systematic planting design

混种比例:a,紫茎泽兰:黑麦草=2:5;b,紫茎泽兰:黑麦草=3:4;c,黑麦草单种。×代表紫茎泽兰;黑麦草栽植时间:○表示同时,△表示延迟 15 d,□表示延迟 30 d。密度:从中心到边缘 4 个不同大小六边形代表 4 个密度。Mixture proportion: a, *E. adenophorum* : *L. perenne* = 2 : 5; b, *E. adenophorum* : *L. perenne* = 3 : 4; c, *L. perenn* monocultured. × represents *E. adenophorum*. Ryegrass-transplant time are at 0 day(○), 15 days(△), and 30 days(□), respectively. The four densities are represented by different sizes of hexagons along spokes.

种(图 1c)和紫茎泽兰单种。每个种植方式下 4 个种植密度(由从中心到边缘的不等边长的六角形代表),即 30、56、120 和 460 株 m^{-2} 。所有处理均设 10 个重复。

1.3 生物量测定与数据分析

于 12 周后收获,单株测量紫茎泽兰和黑麦草的地上部分和地下部分干重(80℃ 恒温烘至恒重),为了探究种植密度、黑麦草栽植时间和混种比例等种植方式对紫茎泽兰和黑麦草地上与地下部分生长的影响,采用多因素方差分析检验这些种植因素对两种植物影响的显著性。

在衡量植物竞争强度的众多参数中,混种相对产量是一个有效而明确的参数^[11]。用地上与地下部分干重之和作为单株产量,根据 Wilson^[12]的公式计算混种相对产量:

$$RY_{ij} = Y_{ij} / pY_i \text{ 和 } RY_{ji} = Y_{ji} / qY_j$$

Y_{ij} 是与种 j 混生时种 i 的产量, Y_{ji} 是与种 i 混生

时种 j 的产量, Y_i 是单种 i 的产量, Y_j 是单种 j 的产量, p 为 i 种的种植比例, q 为 j 种的种植比例。单种的 RY 值定为 1.0,将每一混种 RY 值与 1.0 进行非配对 t -测验。 $RY < 1.0$ 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。

2 结果和分析

2.1 种植方式对紫茎泽兰生物量的影响

种植密度、混种比例、黑麦草栽植时间、密度与时间互作等显著影响紫茎泽兰的地上生物量和总生物量;种植密度、混种比例、密度与比例互作等对地下生物量有显著影响,而黑麦草栽植时间对地下生物量无显著影响;密度、比例与黑麦草栽植时间等 3 因素对紫茎泽兰生物量没有显著互作效应($P > 0.66$)(表 1)。

表 1 不同种植处理对紫茎泽兰总生物量、地上生物量和地下生物量影响的三因素方差分析

Table 1 Three-way ANOVA for *E. adenophorum* showing the significance of effects of density, ryegrass-transplant time, mixture proportion, and the interaction on total biomass, aboveground biomass, and underground biomass

因变量 Response	自由度 DF	均方 Mean square	F	P
总生物量 Total Biomass				
密度 Density	3	619.76	72.80	<0.001
时间 Time	2	98.17	11.53	<0.001
比例 Proportion	2	54.51	6.40	0.002
密度 × 时间 Density × Time	6	19.85	2.33	0.031
密度 × 比例 Density × Proportion	6	15.41	1.81	0.094
时间 × 比例 Time × Proportion	4	13.02	1.53	0.192
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	6.18	0.73	0.727
地上生物量 Aboveground biomass				
密度 Density	3	492.67	72.95	<0.001
时间 Time	2	81.64	12.09	<0.001
比例 Proportion	2	41.07	6.08	0.002
密度 × 时间 Density × Time	6	17.18	2.54	0.019
密度 × 比例 Density × Proportion	6	13.03	1.93	0.073
时间 × 比例 Time × Proportion	4	10.99	11.63	0.165
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	5.20	0.77	0.682
地下生物量 Underground biomass				
密度 Density	3	315.90	143.62	<0.001
时间 Time	2	1.97	0.90	0.409
比例 Proportion	2	273.70	124.43	<0.001
密度 × 时间 Density × Time	6	0.45	0.21	0.975
密度 × 比例 Density × Proportion	6	288.45	131.14	<0.001
时间 × 比例 Time × Proportion	4	1.52	0.69	0.598
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	1.73	0.79	0.667

2.2 种植方式对黑麦草生物量的影响

种植密度、混种比例、栽植时间、密度与时间互作等显著影响黑麦草的总生物量、地上生物量和地下生物量,但种植密度与混种比例互作对总生物量

没有显著影响,混种比例对地上生物量无显著影响;密度、比例与黑麦草栽植时间等 3 因素对黑麦草生物量具有显著互作效应($P < 0.05$)(表 2)。

表 2 不同种植处理对黑麦草总生物量、地上生物量和地下生物量影响的三因素方差分析

Table 2 Three-way ANOVA for *L. perenne* showing the significance of effects of density, ryegrass-transplant time, mixture proportion, and the interaction on total biomass, aboveground biomass, and underground biomass

因变量 Response	自由度 DF	均方 Mean square	F	P
总生物量 Total Biomass				
密度 Density	3	902.95	47.90	<0.001
时间 Time	2	1892.89	100.41	<0.001
比例 Proportion	2	68.06	3.61	0.027
密度 × 时间 Density × Time	6	62.97	3.34	0.003
密度 × 比例 Density × Proportion	6	7.57	0.40	0.878
时间 × 比例 Time × Proportion	4	76.37	4.05	0.003
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	38.05	2.10	0.020
地上生物量 Aboveground biomass				
密度 Density	3	717.76	52.38	<0.001
时间 Time	2	1424.48	103.95	<0.001
比例 Proportion	2	47.03	3.43	0.330
密度 × 时间 Density × Time	6	45.96	3.35	0.003
密度 × 比例 Density × Proportion	6	5.28	0.39	0.889
时间 × 比例 Time × Proportion	4	53.86	3.93	0.004
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	27.39	2.00	0.021
地下生物量 Underground biomass				
密度 Density	3	14.11	29.19	<0.001
时间 Time	2	37.99	78.61	<0.001
比例 Proportion	2	1.75	3.62	0.027
密度 × 时间 Density × Time	6	2.03	4.20	<0.001
密度 × 比例 Density × Proportion	6	0.26	0.55	0.773
时间 × 比例 Time × Proportion	4	2.18	4.51	<0.001
密度 × 时间 × 比例 Density × Time × Proportion	12	0.98	2.03	0.019

2.3 种植方式对混种相对产量的影响

在大多数种植处理组合情况(高密度、高比例、黑麦草延迟栽种)下,紫茎泽兰的相对产量显著小于 1.0;在其他处理条件下紫茎泽兰的相对产量等于或显著小于 1.0 ($P < 0.05$),这种格局随着黑麦草栽植时间的推迟、种植密度的增大、以及种植比例的提高而表现得更加明显,但与这些因素未表现出明显的直线关系(图 2 a,b,c)。例如,相同密度和比例下,黑麦草延迟 15 d 栽植时,紫茎泽兰的 RY 平均增加 23.3% (最大 77.6%);黑麦草延迟 30 d 栽植时,紫茎泽兰的相对产量平均提高 48.3% (最大为 81.1%)。黑麦草栽植时间和种植密度在低种植比

例情况下,对紫茎泽兰相对产量的影响大于高种植比例。

黑麦草在与紫茎泽兰同时栽植的情况下,其相对产量通常大于 1.0,而在其他种植方式下通常小于 1.0 ($P < 0.05$)(图 2d,e,f)。种植密度在高种植比例情况下对黑麦草相对产量的影响大于低种植比例;当黑麦草种植比例高时,推迟 30 d 栽植黑麦草仅在高密度下显著降低黑麦草的相对产量(图 2d);而当黑麦草种植比例较低时,推迟 30 d 栽植黑麦草在所有种植密度下都显著降低黑麦草的相对产量(图 2e,f);而推迟 15 d 栽植对黑麦草相对产量的影响通常不显著($P > 0.05$)。

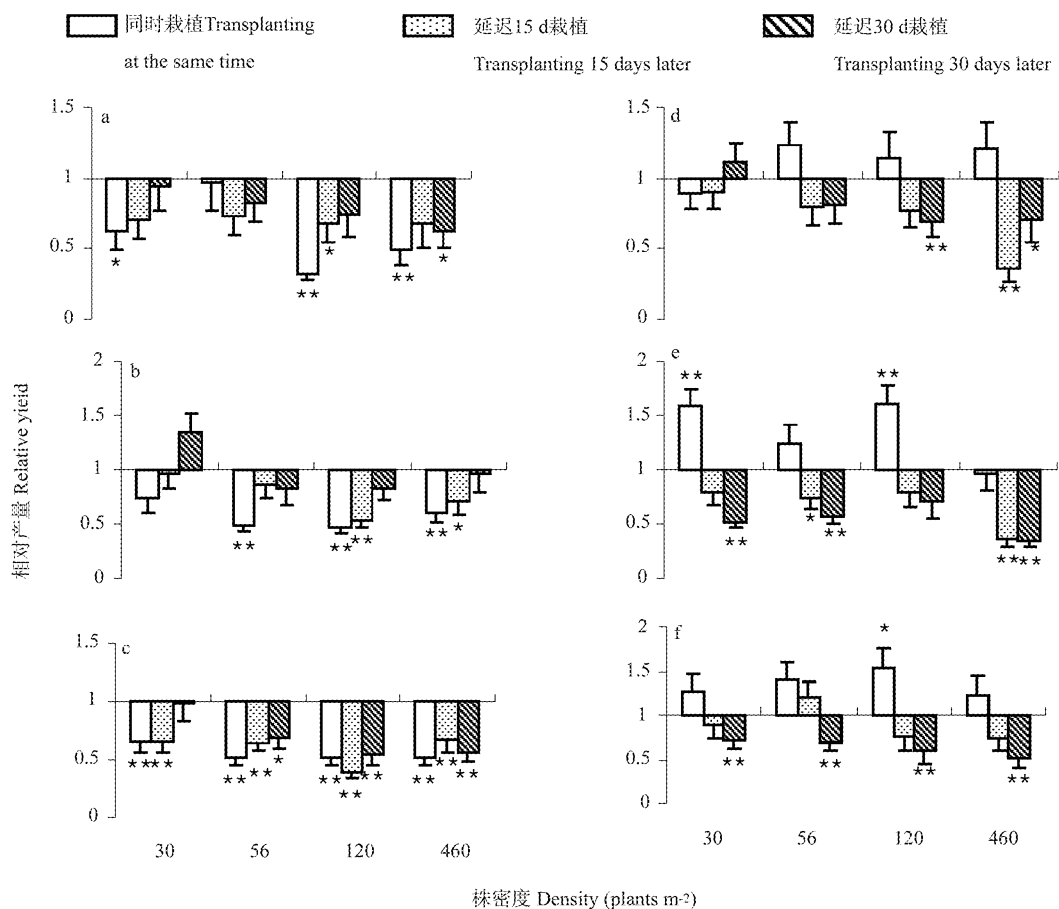


图2 紫茎泽兰和黑麦草的相对产量

Fig. 2 Relative yields (RY) of *E. adenophorum* and *L. perenne*

混种:紫茎泽兰:黑麦草=2:5(a,d),3:4(b,e)和4:3(c,f) Mixture: *E. adenophorum*:*L. perenne* =2:5(a,d), 3:4 (b, e), 4:3 (c, f); 用非成对 *t* 测验比较相对产量与 1.0 的差异 (* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$) An un-paired *t*-test was used to compare each RY with 1.0 (* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$).

3 讨论

通常生长在一起的植物,在一定的时、空环境中,光照、水分、营养等资源可能成为限制因素,因此植物之间可能为这些资源而竞争^[9]。而且对某一资源的竞争可能影响其对另一资源的竞争,例如,植物地上部分对光照的竞争结果(通常用枝叶生长量表示)会影响到地下部分对土壤营养和水平的竞争(通常用根系生长量表示)^[12]。在植物竞争中,种群密度、比例以及竞争者相对大小等都可能不同程度地影响植物对资源的竞争。本研究结果表明,种植密度、混种比例和黑麦草栽植时间显著影响紫茎泽兰的地上生物量,这说明紫茎泽兰幼苗对光照资源的竞争受种植方式的影响要大于其对土壤营养和水分资源的竞争。紫茎泽兰幼苗具有

阳性偏阴的生物学特性^[13],能够忍耐只有 10% 日光的阴蔽环境,但过于阴蔽($\geq 2\%$)对紫茎泽兰幼苗生长具有严重的不利影响^[4]。显然,在与黑麦草的竞争中,黑麦草强大的分蘖生长可能对紫茎泽兰幼苗对阳光的竞争产生很大影响。虽然本研究未测定光照强度,但研究结果表明,紫茎泽兰的竞争力(用相对产量表示)在低种植比例情况下,随黑麦草栽植时间的推迟而明显增强,随种植密度的降低而增强。种植密度和黑麦草栽植时间直接影响着紫茎泽兰幼苗对光照的需求,因为密度越低、黑麦草栽植越晚(因为越小),紫茎泽兰幼苗获得的阳光就越多。种植密度、混种比例、黑麦草栽植时间以及这些因素的互作等对黑麦草的地上与地下生物量均具有显著影响,说明黑麦草对几种主要资源(光照、土壤营养和水分)的竞争均受到种植方式的

影响。从竞争力表现(用相对产量衡量)看,栽植时间越晚、密度越大,黑麦草的竞争力就越弱(尽管不存在直线关系);种植比例本身对黑麦草竞争力的影响似乎没有明显的规律性,可能通过与其他因素的互作而产生影响。

我们的研究虽然不能直接代表紫茎泽兰在自然环境中与本土植物的竞争情况,但在一定程度上表明,紫茎泽兰并非是一种具有强竞争力的外来入侵物种。根据紫茎泽兰与黑麦草的竞争力表现(以相对产量表示),在大多数种植处理组合(高密度、高比例、黑麦草延迟栽种)情况下,紫茎泽兰表现出较弱的竞争力,经历的种间竞争明显大于种内竞争;在其他处理条件下相对产量等于1.0,说明经历的种间竞争等于种内竞争。而黑麦草在与紫茎泽兰同时栽植的情况下,表现出较强的竞争力,经历的种内竞争大于种间竞争。这一研究结果与此前在室内和野外对紫茎泽兰与黑麦草苗期竞争的研究相一致^[7,14-15],均支持最近提出的假说:当入侵植物能够依赖本土物种残留的资源而生存和生长时,就能成功入侵新的环境^[16],而不支持竞争导致成功入侵的假说^[17],这也是近年来入侵生物学研究得出的重要见解之一^[18]。

参考文献

- [1] Qiang S(强胜). The history and status of the stuffy on control weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng.) a worst world weed [J]. J Wuhan Bot Res(武汉植物学研究), 1998, 16: 366-372.(in Chinese)
- [2] Zhao G J(赵国晶), Ma Y P(马云萍). Investigation and study on the distribution and damage of *E. adenophorum* in Yunnan Province [J]. J Weed Sci(杂草学报), 1989, 3(2): 37-40.(in Chinese)
- [3] Gui F R(桂富荣), Ma J(马骏). The control of exotic invasive weeds [J]. Big Nat(大自然), 2004(2): 38-39.(in Chinese)
- [4] Auld B A, Martin P M. The autecology of *Eupatorium adenophorum* Spreng. in Australia [J]. Weed Res, 1975, 15: 27-31.
- [5] Sun F D(孙凡德). Research and prospect of ryegrass [J]. J Sichuan Grassland(四川草原), 2006(2): 29-31.(in Chinese)
- [6] He D Y(何大愚), Liang J S(梁家社). Progress of control for *Eupatorium adenophorum* Spreng. [J]. Ecol Prog(生态学进展), 1988, 5(3): 163-168.(in Chinese)
- [7] Zhu H W(朱宏伟), Meng L(孟玲), Li B P(李保平). The relative competition between the *Lolium perenne* and the exotic invasive *Eupatorium adenophorum* in seedling [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2007, 13(1): 29-32.(in Chinese)
- [8] Firbank L G, Watkinson A R. On the effects of competition: from monocultures to mixtures [M] // Grace J B, Tilman D. Perspectives on Plant Competition. San Diego: Academic Press, 1990: 165-192.
- [9] Silvertown J, Charlesworth D. Introduction to Plant Population Biology [M]. Forth ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2001: 172-206.
- [10] Landhausser S M, Stadt K J, Lieffers V J. Screening for control of a forest weed: Early competition between three replacement species and *Calamagrostis canadensis* or *Picea glauca* [J]. J Appl Ecol, 1996, 33: 1517-1526.
- [11] Williams A C, McCarthy B C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs [J]. Ecol Res, 2001, 16: 29-40.
- [12] Wilson J B. Shoot competition and root competition [J]. J Appl Ecol, 1988, 25: 279-296.
- [13] Liu L H(刘伦辉), Liu W Y(刘文耀), Zheng Z(郑征), et al. The characteristic research of autecology ecology of pmakani (*Eupatorium adenophorum*) [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 1989, 9(1): 66-70.(in Chinese)
- [14] Zhao L(赵林), Meng L(孟玲), Li B P(李保平). Effects of fertilizers and cutting on competitive and growth of *Lolium perenne* and the invasive exotic *Eupatorium adenophorum* at seedling stage [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2007, 26(11): 1743-1747.
- [15] Zhao L(赵林), Li B P(李保平), Meng L(孟玲), et al. The relative competition ability of *Lolium perenne* and the alien invasive weed, *Eupatorium adenophorum* (Compositae) at different nitrogen and phosphorus levels in seedling stage [J]. Acta Pratacul Sin(草业学报), 2008, 17(1): 5-10.(in Chinese)
- [16] Seabloom E W, Harpole W S, Reichman O J, et al. Invasion, competition dominance, and resource use by exotic and native California grassland species [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, 100(23): 13384-13389.
- [17] Elton C S. The Ecology of Invasions by Animals and Plants [M]. Chicago: University of Chicago Press, 2000: 117-124.
- [18] Sax D F, Stachowicz J J, Brown J H, et al. Ecological and evolutionary insights from species invasions [J]. Trends Ecol Evolut, 2007, 22(9): 465-471.