

不同地理种源紫茎泽兰的生态适应性比较^{*}

周 蒙^{1,2} 刘文耀^{1,3*} 马文章^{1,2} 赵相健^{1,2}

(¹中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ²中国科学院研究生院, 北京 100049; ³Curtin University of Technology, Perth, WA 6845, Australia)

摘 要 采用交互移植法,对移栽在 6 种不同生境中的 5 个不同种源紫茎泽兰幼苗的存活率、株高、分枝数、生物量、单株花序数、产种量和种子萌发率进行了为期 1 年的对比研究. 结果表明:各种源紫茎泽兰的幼苗生长和繁殖特性对样地环境条件变化均表现出很强的可塑性. 试验样地因素对幼苗株高、分枝数、生物量、单株花序数和产种量的影响均达到极显著水平 ($P < 0.001$). 随着样地纬度和海拔的升高,各种源的幼苗株高、分枝数量、单株生物量、每株花序数量和单株产种量均呈下降趋势,且各样地间的差异均达到显著水平 ($P < 0.05$). 但种源因素对幼苗株高、分枝数、生物量、单株花序数和产种量的影响均不显著 ($P > 0.05$). 除单株产种量外,种源与试验样地的交互作用对上述各指标的影响均不显著. 在各样地内,当地种源幼苗的存活率、生长能力和繁殖能力均未表现出显著的优势. 说明紫茎泽兰在我国西南地区入侵成功主要依靠其较高的表型可塑性,而局域适应的作用相对较小.

关键词 紫茎泽兰 交互移植 表型可塑性 局域适应

文章编号 1001- 9332 (2009) 07- 1643- 07 **中图分类号** Q142.9 **文献标识码** A

Ecological adaptability of different provenance *Eupatorium adenophorum* Spreng ZHOU Meng^{1,2}, LIU Wen-yao^{1,3}, MA Wen-zhang^{1,2}, ZHAO Xiang-jian^{1,2} (¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ³Curtin University of Technology, Perth, WA 6845, Australia). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2009, 20 (7): 1643- 1649.

Abstract: By using reciprocal transplant method, *Eupatorium adenophorum* Spreng seedlings of five different provenances were reciprocally transplanted into six different sites in Yunnan Province, with the survival rate, plant height, branch number, biomass, flower number per plant, and seed production measured during the period from April 2007 to May 2008. The seedlings growth and reproductive traits of different provenance *E. adenophorum* all showed strong plasticity to environmental conditions. With increasing latitude and altitude of transplant site, plant height, branch number, biomass, flower number per plant, and seed production of different provenance *E. adenophorum* decreased, and the differences in these growth and reproductive traits were significant among the transplant sites. However, there were no significant differences in these traits among different provenance *E. adenophorum*. Provenance and transplant site had no significant interactive effects on the above-mentioned traits except seed production. At each site, the survival rate, growth potential, and reproductive capability of local provenance *E. adenophorum* didn't have any superiority, illustrating that the success in the invasion of *E. adenophorum* in Yunnan Province was mainly due to the phenotypic plasticity of the plant, while local adaptability only played lesser important role.

Key words: *Eupatorium adenophorum* Spreng; reciprocal transplant; phenotypic plasticity; local adaptation

目前,生物入侵给自然生态系统和人类经济造

成了严重的不良影响,已经成为最棘手的三大生态环境问题之一^[1]. 入侵生物通常会面临与原生境差别较大的新环境,而能够成功适应多种不同的环境是其实现入侵的前提^[2]. 因此,入侵生物对不同生

* 云南省自然科学基金项目 (2006C0056M) 和中国科学院“百人计划”项目 (BRJH2002098) 资助.

* 通讯作者. E-mail: liuw@xtbg.ac.cn

2008-11-21 收稿, 2009-04-18 接受.

境的适应机制是入侵生态学关注的焦点之一^[2]. 表型可塑性与遗传分化是生物适应环境变化的两种不同但并不互相排斥的策略^[3]. 表型可塑性是指同一个基因型在不同环境条件下产生不同表型的特性^[4]. 通过在形态、生理、生态等方面对环境变化做出可塑性响应,入侵植物不仅能够缓解新生境的选择压力,拓展自身的生态幅,还能提高在异质生境中的适合度,保持其入侵性^[5]. 另一方面,面临着不同的选择压力,不同生境中的种群可能发生适应性的遗传分化(即局域适应),从而增强不同种群对各自所在生境的适应能力^[3,5]. 已有研究指出,局域适应有可能增强植物对不同气候条件的适应能力,从而扩展其分布范围^[3,6];或使外来物种更充分地利用当地的环境资源,提高其在生境中的适合度,增强其入侵能力和危害程度^[7]. 对不同种源入侵植物在异质环境中的适应情况进行系统的比较研究,有助于理解表型可塑性和局域适应在其入侵、适应过程中的作用,对掌握其入侵机理,预测入侵潜力及危害程度具有重要意义.

交互移植试验(reciprocal transplant)是研究植物对环境变化响应、检测局域适应的有效手段之一^[8]. 通过将不同种源植株在多个样地中交互种植,可以在相对自然的条件下直接比较各种生境条件下不同种源的适应情况. 如果种源与试验样地的交互作用对植物的生长、繁殖特性存在显著影响,且在多样地中,当地种源相对于外地种源在生长、繁殖中表现出显著的优势,则认为该物种存在局域适应现象^[8]. 目前,交互移植试验已经广泛应用于研究植物对环境变化的适应机理、潜力^[9],探讨植物对自然选择的响应及进化历史^[10]等方面,但是多局限于对土著植物的研究,对入侵植物的研究较少^[11],在我国还未见到相关研究报道.

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng)是一种世界性多年生恶性杂草,原产于中美洲的墨西哥和哥斯达黎加等地,20世纪40—50年代由中缅、中越边境传入我国云南省南部. 经过半个多世纪的传播、扩散,现已在我国西南地区广泛分布并造成严重危害^[12-14]. 紫茎泽兰对环境条件变化表现出很强的可塑性响应,而较强的表型可塑性^[15-18]可能是其入侵成功的重要原因. 另一方面,入侵我国西南地区的紫茎泽兰不同种源的分子遗传特性^[19-20]及生理特性^[21-23]间均存在着一定的分化,这意味着局域适应在其入侵、扩散过程中也起到了重要作用. 但是,目前对不同种源紫茎泽兰之间是否存在局域适应现

象尚缺乏直接的试验验证,表型可塑性与局域适应在其入侵、扩散过程中所起的作用还不清楚. 为此,本文采用交互移植的方法,比较不同地理种源紫茎泽兰在不同纬度、海拔生境中的生长、繁殖特性,探讨紫茎泽兰对不同生境的可塑性响应、不同种源间是否存在局域适应,以及表型可塑性与局域适应对其入侵、适应的贡献,旨在为深入研究紫茎泽兰入侵、扩散机理,预测其入侵潜力、危害程度,制定有效的控制和治理方案提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

利用云南多样化的气候类型和复杂的地理条件,从南到北,沿纬度、海拔由低到高的顺序,选择勐仑、大渡岗、昆明、红岩、剑川和丽江6个地点作为种子采集地点和野外移栽试验地点. 其中西双版纳州的勐仑镇位于滇南热带地区,是云南境内紫茎泽兰分布区的最南缘;大渡岗、昆明和红岩属于亚热带气候范围,是紫茎泽兰适生区;而剑川和丽江则属于北亚热带气候,是紫茎泽兰在云南省分布区的北缘(图1). 各移植试验地点的地理位置和气候要素见表1^[24].

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料 2007年4月中旬,在勐仑、大渡岗、昆明、剑川和丽江5地选择山地原生植被破坏后形成的紫茎泽兰单优群落,采集不同地理种源紫茎泽兰的种子,带回中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部实验室内自然风干. 2007年6月中旬,在位于昆明的温室内进行种子萌发及幼苗培育. 50 d后(2007年8月初),选取生长状况一致(株高8 cm, 3对叶片)的幼苗作为移栽试验用苗.

1.2.2 试验方法 在勐仑、大渡岗、昆明、红岩、剑川和丽江6个地点选择地形条件相似的地段设立野外移植试验样地,于2007年8月初,将培育的各种源幼苗分别交互移植到以上6个样地中. 多样地均采用随机区组设计,每个样地由4个2 m × 2 m的小区组成. 在每个区组中,移入每个种源紫茎泽兰幼苗各6株,5个种源幼苗随机排列. 每个样地中,各种源紫茎泽兰幼苗数量均为24株. 每个样地幼苗总数为120株,6个样地共计720株. 移栽后一周内,适时浇水,以提高移栽幼苗的成活率. 在每个样地设置围栏. 剑川、丽江两样地内的幼苗因2008年初的低温、霜冻全部死亡,其他4个样地内的幼苗均全部存活至试验结束(2008年5月).

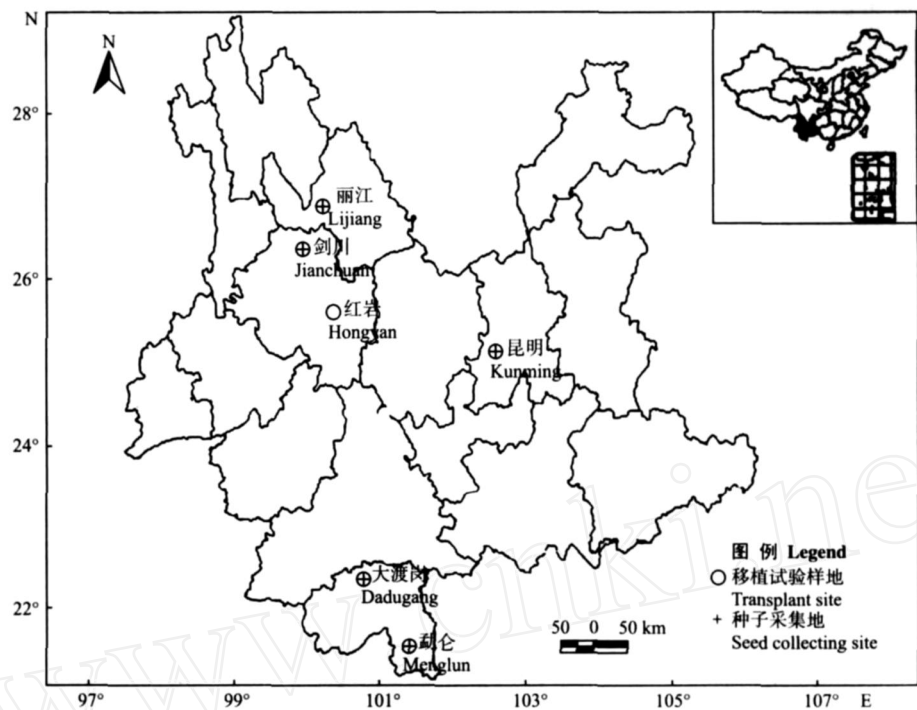


图 1 紫茎泽兰种子采集及交互移栽地点

Fig 1 Locations of seed collecting and reciprocal transplant sites of *Eupatorium adenophorum*.

表 1 不同移植试验点的气候特点

Tab 1 Climatic characteristic of different sites

地 点 Study site	地理位置 Location	海 拔 Altitude (m)	年均气温 Mean annual Temperature ()	1月 平均气温 Mean temperature in January ()	7月 平均气温 Mean temperature in July ()	无霜期 Frost-free period (d)	年降水量 Annual precipitation (mm)
勐 伦 Menglun	21°41'47"N, 102°12'50"E	678	21.4	10.0	26.0	365	1979.0
大渡岗 Dadugang	22°22'44"N, 100°57'31"E	1293	17.5	10.5	22.7	318	1600.0
昆 明 Kunming	24°58'39"N, 102°36'33"E	1981	15.0	7.7	19.8	227	1035.0
红 岩 Hongyan	25°27'39"N, 100°24'32"E	2100	14.4	8.5	20.1	244	730.0
剑 川 Jianchuan	26°20'34"N, 99°59'21"E	2356	13.9	6.7	20.0	204	746.0
丽 江 Lijiang	26°53'02"N, 100°13'39"E	2420	12.6	5.9	18.1	191	904.5

1.2.3数据观测 于2008年5月上旬紫茎泽兰种子成熟的季节,对样地内各种源紫茎泽兰的株高、分枝数量(5 cm以下的分枝、分蘖总数)、花序数量进行测量、统计,并采集成熟的种子.同时,在各样地内每个种源中随机挑选10个植株,在每个植株上随机挑选10个花序,计数每个花序中的种子数量,并据此计算各样地内每个种源的平均单株种子产量.种子采集完成后,将各样地内不同种源植株全部连根掘出,洗净后称其鲜质量,并取样带回,置于鼓风干燥箱中在80℃恒温下烘干,计算出每植株干质量.采集的种子风干处理后在室温下进行萌发试验,测定各样地中每个种源植株所产种子的萌发率.

1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件对所有数据进行统计分

析,采用 General Linear Model AVOVA 对种源、试验样地及二者的交互作用进行方差分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验各样地内不同种源及不同样地内同一种源幼苗的生长、繁殖指标在5%水平的差异显著性.为了保证方差分析的有效性,对生物量数据进行了对数转换.种子萌发率数据呈现非正态分布,采用非参数分析(Kruskal-Wallis)进行显著性检验.

2 结果与分析

2.1 不同样地中各种源紫茎泽兰幼苗株高

由表2可以看出,试验样地对紫茎泽兰幼苗株高有极显著影响($P < 0.001$),但种源及其与试验样地的交互作用对紫茎泽兰幼苗株高的影响均不显著

($P > 0.05$). 由表 3 可以看出, 5 个种源紫茎泽兰幼苗株高均随试验样地纬度、海拔的升高而降低. 在纬度、海拔较高的红岩样地中, 各种源幼苗株高分别为勐仑样地的 46.19% (勐仑种源)、46.71% (大渡岗种源)、44.85% (昆明种源)、45.47% (剑川种源) 和 45.39% (丽江种源). 每个种源幼苗株高在样地间的差异均达到显著水平. 但在各样地内, 5 个种源紫茎泽兰株高之间的差异均不显著.

2.2 不同样地中各种源紫茎泽兰的分枝数量

由表 2 可以看出, 移植试验地环境对紫茎泽兰分枝数量有极显著影响 ($P < 0.001$). 但是, 种源及其与试验样地的交互作用对紫茎泽兰分枝数量的影响均不显著, 由表 3 可以看出, 4 个样地中幼苗的平均分枝数量从南到北依次为: 勐仑样地 > 大渡岗样

表 2 不同样地内紫茎泽兰幼苗生长、繁殖特性的二因素方差分析

Tab 2 Two-way ANOVA performed on growth and reproductive traits of *Eupatorium adenophorum* transplanted in to each sites

指标 Trait	种源 Provenance	试验样地 Site	种源 × 试验样地 Provenance × Site	区组 Block
株高 Plant height	1.91 ^{ns}	266.73 ^{***}	0.81 ^{ns}	1.87 [*]
分枝数量 Branch number	0.99 ^{ns}	161.45 ^{***}	0.79 ^{ns}	9.05 ^{***}
生物量 (对数) Biomass (ln)	0.34 ^{ns}	598.88 ^{***}	0.86 ^{ns}	4.00 ^{***}
花序数量 Flower number	1.86 ^{ns}	481.60 ^{***}	0.63 ^{ns}	4.00 ^{***}
产种量 Seed number	2.14 ^{ns}	889.32 ^{***}	3.69 ^{***}	3.97 ^{***}

ns: $P > 0.05$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$. 下同
The same below.

表 3 不同样地内紫茎泽兰幼苗的生长、繁殖特性

Tab 3 Growth and reproductive traits of *Eupatorium adenophorum* transplanted in to each sites (mean ±SE)

指标 Trait	试验样地 Site	种源 Provenance					平均值 Site mean
		勐仑 Menglun	大渡岗 Dadugang	昆明 Kunming	剑川 Jianchuan	丽江 Lijiang	
株高 Plant height (cm)	勐仑 Menglun	67.07 ±0.85Aa	68.01 ±0.86Aa	67.25 ±0.86Aa	66.27 ±0.81Aa	74.24 ±0.93Aa	68.56 ±1.00
	大渡岗 Dadugang	48.40 ±0.88Ba	54.15 ±0.86Ba	55.50 ±0.79Ba	52.84 ±0.78Ba	47.57 ±0.78Ba	51.7 ±0.86
	昆明 Kunming	39.78 ±0.43Ca	37.93 ±0.51Ca	39.41 ±0.56Ca	40.76 ±0.60Ca	37.25 ±0.58Ca	39.08 ±0.67
	红岩 Hongyan	30.98 ±0.57Da	31.77 ±0.44Da	30.16 ±0.54Da	30.13 ±0.42Da	32.41 ±0.37Da	31.12 ±0.63
	平均值 Provenance mean	46.57 ±1.85	47.93 ±1.78	48.05 ±1.86	47.45 ±1.66	47.82 ±1.89	
分枝数量 Branch number	勐仑 Menglun	6.67 ±0.64Aa	7.43 ±0.35Aa	9.35 ±0.39Aa	9.71 ±0.37Aa	8.21 ±0.34Aa	8.27 ±0.12
	大渡岗 Dadugang	4.69 ±0.33Ba	5.43 ±0.35Ba	6.92 ±0.36Ba	7.67 ±0.32Ba	6.55 ±0.30Ba	6.25 ±0.11
	昆明 Kunming	4.99 ±0.26Ba	5.45 ±0.29Ba	6.22 ±0.32BCa	6.93 ±0.34Ba	6.31 ±0.35Ba	5.98 ±0.10
	红岩 Hongyan	4.85 ±0.32Ba	5.10 ±0.31Ba	5.21 ±0.24Ca	5.46 ±0.26Ca	5.41 ±0.30Ca	5.21 ±0.10
	平均值 Provenance mean	5.32 ±0.17	5.85 ±0.17	6.93 ±0.20	7.44 ±0.16	6.62 ±0.16	
对数转换 生物量 Ln-biomass (g)	勐仑 Menglun	2.93 ±0.13Aa	3.02 ±0.14Aa	3.06 ±0.14Aa	3.14 ±0.15Aa	3.10 ±0.13Aa	3.05 ±0.09
	大渡岗 Dadugang	1.68 ±0.16Ba	1.83 ±0.14Ba	2.01 ±0.17Ba	2.19 ±0.13Ba	2.16 ±0.11Ba	1.97 ±0.09
	昆明 Kunming	1.42 ±0.10BCa	1.55 ±0.08BCa	1.69 ±0.10BCa	1.83 ±0.09BCa	1.77 ±0.13BCa	1.65 ±0.06
	红岩 Hongyan	1.25 ±0.09Ca	1.33 ±0.11Ca	1.40 ±0.09Ca	1.43 ±0.12Ca	1.26 ±0.14Ca	1.33 ±0.05
	平均值 Provenance mean	1.82 ±0.11	1.92 ±0.11	2.04 ±0.10	2.15 ±0.10	2.10 ±0.11	
花序数量 Flowers number	勐仑 Menglun	90.95 ±2.42Aa	96.80 ±3.04Aa	92.35 ±2.66Aa	95.20 ±2.11Aa	94.15 ±1.68Aa	93.89 ±1.08
	大渡岗 Dadugang	72.75 ±1.96Ba	73.55 ±2.73Ba	76.50 ±2.45Ba	75.55 ±3.15Ba	76.15 ±2.43Ba	74.90 ±1.13
	昆明 Kunming	57.6 ±1.08Ca	56.75 ±0.89Ca	59.00 ±1.71Ca	57.65 ±1.11Ca	58.90 ±1.11Ca	57.98 ±0.43
	红岩 Hongyan	41.30 ±0.86Da	46.28 ±1.19Da	47.75 ±1.27Da	48.60 ±0.80Da	45.25 ±0.66Da	45.93 ±0.82
	平均值 Provenance mean	65.65 ±2.12	68.34 ±2.26	68.90 ±2.02	69.25 ±2.08	68.74 ±2.07	
单株产种量 Seed number (×10 ²)	勐仑 Menglun	53.48 ±1.42Aab	57.15 ±1.79Aa	49.85 ±1.44Ab	51.47 ±1.14Ab	52.1 ±0.93Aab	52.81 ±0.64
	大渡岗 Dadugang	38.9 ±1.05Ba	42.84 ±1.44Ba	38.74 ±1.32Ba	37.16 ±1.55Ba	38.58 ±1.23Ba	39.24 ±0.61
	昆明 Kunming	25.71 ±0.94Ca	24.7 ±0.74Ca	27.85 ±0.7Ca	27.73 ±0.59Ca	27.06 ±0.74Ca	26.61 ±0.41
	红岩 Hongyan	16.92 ±0.39Dc	17.57 ±0.56Dbc	19.49 ±0.60Dab	21.43 ±0.33Da	20.13 ±0.4Da	19.11 ±0.41
	平均值 Provenance mean	33.75 ±1.5	35.57 ±0.73	33.98 ±1.34	34.45 ±1.26	34.47 ±1.39	
萌发率 Germination rate (%)	勐仑 Menglun	60.07 ±2.44Aa	50.17 ±4.25Aa	65.04 ±4.11Aa	64.26 ±2.49Aa	63.57 ±2.18Aa	60.62 ±0.75
	大渡岗 Dadugang	68.92 ±4.06Aa	64.13 ±2.44Aa	63.78 ±2.24Aa	57.6 ±4.08Aa	65.02 ±1.85Aa	63.89 ±1.04
	昆明 Kunming	66.5 ±2.32Aa	61.15 ±2.45Aa	62.94 ±2.17Aa	65.97 ±2.35Aa	64.2 ±2.4Aa	64.15 ±0.83
	红岩 Hongyan	72.86 ±2.59Aa	64.51 ±2.29Aa	66.57 ±2.34Aa	61.54 ±2.42Aa	70.82 ±2.22Aa	67.26 ±0.87
	平均值 Provenance mean	67.09 ±1.03	59.99 ±1.05	64.58 ±1.03	60.84 ±1.03	65.90 ±0.92	

数据后不同大写字母表示同一种源内、不同试验样地间的差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一试验样地内, 不同种源间差异显著 ($P < 0.05$) Capital letter showed significant difference at 0.05 level among different sites in the same provenance; small letter showed significant difference at 0.05 level among different provenances in the same site

地 > 昆明样地 > 红岩样地, 随着样地纬度、海拔的增加呈减少趋势。每个种源紫茎泽兰分枝数量在样地间表现出相同的变化规律, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。但是同一样地内, 不同种源分枝数量间的差异不显著。

2.3 不同样地中各种源紫茎泽兰的单株生物量

由表 2 可以看出, 移植试验样地对紫茎泽兰单株生物量有极显著的影响 ($P < 0.001$), 但种源及其与试验样地的交互作用影响不显著 ($P > 0.05$)。由表 3 可以看出, 在勐仑样地中, 各种源紫茎泽兰单株生物量均较高, 大渡岗样地居次, 而在纬度、海拔更高的昆明、红岩样地中, 单株生物量进一步下降。各种源紫茎泽兰单株生物量均呈现出随着样地纬度、海拔的升高而减小的趋势, 且在样地间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。但在同一样地内, 不同种源紫茎泽兰单株生物量间的差异均不显著。

2.4 不同样地中各种源紫茎泽兰的花序数量

由表 2 可以看出, 移植试验样地环境对各种源紫茎泽兰花序数量有极显著影响 ($P < 0.001$), 但种源及其与试验样地的交互作用对紫茎泽兰花序数量的影响均不显著。由表 3 可以看出, 在勐仑样地中, 各种源紫茎泽兰花序数量均达最高值, 随着移植试验样地纬度、海拔的升高, 各种源紫茎泽兰花序数量逐渐减少。在纬度、海拔最高的红岩样地中, 各种源花序数量分别为勐仑样地中的 45.41% (勐仑种源)、48.33% (大渡岗种源)、51.71% (昆明种源)、51.50% (剑川种源) 和 48.06% (丽江种源)。各种源紫茎泽兰花序数量在样地间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。但在同一样地内, 不同种源紫茎泽兰花序数量间的差异均不显著。

2.5 不同样地中各种源紫茎泽兰的产种量

紫茎泽兰具有较强入侵扩散能力的重要原因是产种量较高。交互移植试验结果 (表 2) 表明, 试验样地及其与种源的交互作用均对紫茎泽兰单株种子产量有极显著影响 ($P < 0.001$), 而种源因素对单株产种量的影响不显著。由表 3 可以看出, 随着试验样地纬度、海拔的升高, 各种源单株产种量均呈减少趋势。在纬度、海拔较高的红岩移植样地中, 各种源单株产种量分别为勐仑样地中的 31.64% (勐仑种源)、30.75% (大渡岗种源)、39.10% (昆明种源)、41.64% (剑川种源) 和 38.63% (丽江种源), 且每个种源单株产种量在样地间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。在红岩样地中, 昆明、剑川和丽江 3 种源的单株产种量显著多于勐仑种源 ($P < 0.05$)。勐仑样地中, 大渡岗

种源单株产种量最多, 且显著高于昆明种源和剑川种源 ($P < 0.05$)。在大渡岗、昆明两样地中, 种源间的单株产种量差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.6 不同样地中各种源紫茎泽兰的种子萌发率

由表 3 可以看出, 每个样地内, 各种源植株的种子萌发率均在 50% 以上。在同一移植试验样地中, 不同种源紫茎泽兰种子萌发率间均无显著差异 ($P > 0.05$)。在所有移植试验的样地中, 红岩样地内紫茎泽兰的种子平均萌发率最高, 为 67.26%; 勐仑样地最低, 为 60.62%; 大渡岗、昆明样地居中, 分别为 63.89% 和 64.15%。同一种源移栽于不同样地中的紫茎泽兰种子萌发率之间无显著差异。

3 讨 论

表型可塑性与植物的适应性之间存在着密切联系, 许多入侵植物具有较高的表型可塑性^[25]。本研究中, 各种源紫茎泽兰幼苗的生长、繁殖特性均受到移植试验样地条件的显著影响。随着试验样地纬度、海拔升高, 各种源紫茎泽兰株高、分枝数量、叶片数量、单株生物量、花序数量及单株产种量均呈下降趋势, 且各种源上述生长、繁殖参数在样地间的差异均达到显著水平。表明各种源紫茎泽兰均具有较高的表型可塑性, 能够对环境条件变化作出明显响应。这与前人的研究结果相似^[26-27]。已有的研究表明, 在较大的地理尺度上, 气候条件, 尤其是水、热状况是影响紫茎泽兰入侵的重要因素^[12, 14]。本试验中, 随着纬度、海拔的升高, 样地的气温逐渐下降, 降水量也呈减少趋势。这可能是导致样地间各种源幼苗生长、繁殖特性出现上述可塑性响应的重要原因。此外, 不同样地土壤性质的变化也可能是影响紫茎泽兰幼苗生长和繁殖特性的因素^[17]。

在适宜条件下, 外来植物通过表型可塑性实现入侵的重要方式主要表现在很强的生长、繁殖能力, 尽量增加总体适合度; 而在资源受限或胁迫的生境中, 则表现出一定的耐受能力并确保一定的适合度^[28-29]。在水、热条件优越的勐仑样地内, 各种源幼苗的株高、分枝数量、生物量及单株产种量均达到最大值, 表明在适宜生境中, 紫茎泽兰能够充分利用环境资源, 使自身的生长和繁殖能力达到较高水平; 而在条件较差的红岩样地中, 紫茎泽兰幼苗生长、繁殖能力虽然明显低于勐仑样地, 但各种源一年生植株单株产种量仍在 1900 粒以上, 室温下的萌发率不低于 50%。这表明在不利生境中, 紫茎泽兰凭借较高的产种量, 仍可以较大的幼苗补充量抢占剩余生态

位,从而达到成功入侵^[30].因此,紫茎泽兰生长、繁殖特性在样地间的变化在一定程度上反映了表型可塑性在其入侵过程中的作用.适应性遗传分化(即局域适应)也是植物适应生境的一种方式^[3],并可能是一些入侵植物大肆泛滥的重要原因^[5].研究表明,不同种源紫茎泽兰种子萌发及幼苗对高温、低温胁迫的耐受性存在差异,可能是不同种源间发生适应分化的结果^[21-23].分子遗传学研究也表明,不同种源紫茎泽兰在DNA水平上存在着一定的差异,遗传分化也可能是导致其入侵成功的重要原因之一^[19-20].但上述研究多从分子遗传学角度出发,或在人工模拟胁迫条件下对其生理指标变化进行比较分析,目前尚缺乏自然条件下对其不同种源生态适应性分化的直接检测.本项野外交互移植试验结果表明,除单株产种量外,种源与试验样地的交互作用对紫茎泽兰幼苗生长、繁殖特性的影响均不显著;在样地内,来源于当地的种源并未比外地种源表现出更高的生长、繁殖能力和明显的本地种群优势.这可能与紫茎泽兰入侵时间较短有关.对于寿命较长的克隆植物,50~80年的时间尚不足以使其不同种源表型间产生遗传差异^[11].本研究结果还表明,在紫茎泽兰入侵我国西南地区的过程中,其较高的表型可塑性起到了重要的作用,而局域适应作用相对较小,与Parker等^[7]和Ross等^[11]对入侵植物毛蕊花(*Verbascum thapsus*)、十大功劳(*Mahonia aquifolium*)等的研究结论相似.这在一定程度上解释了紫茎泽兰在我国入侵成功的原因与机理.但这并不意味着对其入侵和危害潜力的研究中可以忽略局域适应的作用.事实上,表型可塑性与遗传分化间存在着复杂的相互作用,高的表型可塑性能够屏蔽新生境造成的选择压力,保存遗传变异,从而为入侵物种在入侵过程中发生遗传分化提供材料^[29].不同种源紫茎泽兰遗传特性的研究也证实,入侵我国的紫茎泽兰遗传多样性较高^[19-20].因此,随着紫茎泽兰在我国入侵、定居时间的延长,其不同种源间是否会进一步发生适应分化,并产生局域适应,还有待于深入的研究.

参考文献

- [1] Sala OE, Chapin FS III, Armesto JJ, *et al* Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, **287**: 1770-1774
- [2] Xu R-M (徐汝梅), Ye W-H (叶万辉). *Bio-invasion - Theory and Practice* Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
- [3] Sultan SE. Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Botanica Neerlandica*, 1995, **44**: 363-383
- [4] Bradshaw AD. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, 1965, **13**: 115-155
- [5] Bossdorf O, Auge H, Lafuma L, *et al* Phenotypic and genetic differentiation between native and introduced plant populations. *Oecologia*, 2005, **144**: 1-11
- [6] Joshi J, Schmid B, Caldeira MC, *et al* Local adaptation enhances performance of common plant species. *Ecology Letters*, 2001, **4**: 536-544
- [7] Parker M, Rodriguez J, Loik ME. An evolutionary approach to understanding the biology of invasions: Local adaptation and general-purpose genotypes in the weed *Verbascum thapsus*. *Conservation Biology*, 2003, **17**: 59-72
- [8] Kawecki TJ, Ebert D. Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 2004, **7**: 1225-1241
- [9] Bender MH, Baskin GM, Baskin CC. Phenology and common garden and reciprocal transplant studies of *Polymnia canadensis* (Asteraceae), a monogamous species of the North American Temperate Deciduous Forest. *Plant Ecology*, 2002, **161**: 15-39
- [10] Byars SG, Papst W, Hoffmann AA. Local adaptation and cogradient selection in the alpine plant, *Poa hiemata*, along a narrow altitudinal gradient. *Evolution*, 2007, **61**: 2925-2941
- [11] Ross CA, Faust D, Auge H. Mahonia invasions in different habitats: Local adaptation or general-purpose genotypes? *Biological Invasions*, 2009, **11**: 441-452
- [12] Liu L-H (刘伦辉), Xie S-C (谢寿昌), Zhang J-H (张建华). Studies on the distribution harmfulness and control of *Eupatorium adenophorum* Spreng. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1985, **5**(1): 1-6 (in Chinese)
- [13] Zhao G-J (赵国晶), Ma Y-P (马云萍). The investigation research on the distribution and harmfulness of *Eupatorium adenophorum* Spreng in Yunnan Province. *Journal of Weed Science* (杂草学报), 1989, **3**(2): 37-40 (in Chinese)
- [14] Lu Z-J (卢志军), Ma K-P (马克平). The influence of topographical factors on the invasion of the alien species, *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2004, **28**(6): 761-767 (in Chinese)
- [15] Wang J-F (王俊峰), Feng Y-L (冯玉龙). The effect of light intensity on biomass allocation, leaf morphology and relative growth rate of two invasive plants. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2004, **28**(6): 781-786 (in Chinese)
- [16] Sun XY, Lu ZH, Li PH, *et al* Ecological adaptation of *Eupatorium adenophorum* populations to light intensity. *Journal of Forestry Research*, 2006, **17**: 116-120
- [17] Wang M-L (王满莲), Feng Y-L (冯玉龙), Li X (李新). Effects of soil phosphorus level on morphological and photosynthetic characteristics of *Ageratina adenophora* and *Chromolaena odorata*. *Chinese Journal of Applied*

- Ecology* (应用生态学报), 2006, 17(4): 602-606 (in Chinese)
- [18] Wang J-F (王俊峰), Feng Y-L (冯玉龙), Liang H-Z (梁红柱). Adaptation of *Eupatorium adenophorum* photosynthetic characteristics to light intensity. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, 15(8): 1373-1377 (in Chinese)
- [19] Duan D (段 惠), Qiang S (强 胜), Wu H-R (吴海荣), et al. Genetic diversity of *Eupatorium adenophorum* determined by AFLP marker. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, 25(8): 2109-2114 (in Chinese)
- [20] Gui F-R (桂富荣), Guo J-Y (郭建英), Wan F-H (万方浩). Genetic variation among populations of *Eupatorium adenophorum* from different areas investigated by inter-simple sequence repeat markers. *Journal of Molecular Cell Biology* (分子细胞生物学报), 2007, 40(1): 41-48 (in Chinese)
- [21] Su X-H (苏秀红), Song X-L (宋小玲), Qiang S (强胜), et al. Response of seed germination of different populations of *Eupatorium adenophorum* Spreng to drought stress. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2005, 11(3): 308-311 (in Chinese)
- [22] Su X-H (苏秀红), Qiang S (强 胜), Song X-L (宋小玲). Comparison of *Eupatorium adenophorum* heat tolerances of different geographical populations. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2005, 25(9): 1766-1771 (in Chinese)
- [23] Li H, Qiang S, Qian Y. Physiological response of different cotton weed (*Eupatorium adenophorum*) populations to low temperature. *Weed Science*, 2008, 56: 196-202
- [24] Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences (中国科学院地理科学与资源研究所). Scientific Database [EB/OL]. [2008-10-11]. <http://www.data.ac.cn/index.asp.html>
- [25] Baker HG. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 1974, 5: 1-24
- [26] Fetcher N, Cordero RA, Voltzow J. Lack of Ecotypic Differentiation: Plant Response to Elevation, Population Origin, and Wind in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Biotropica*, 2000, 32: 225-234
- [27] Santamaría AL, Figueira J, Pilon JJ, et al. Plant performance across latitude: The role of plasticity and local adaptation in an aquatic plant. *Ecology*, 2003, 84: 2454-2461
- [28] Richards CL, Bossdorf O, Muth NZ, et al. Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecology Letters*, 2006, 9: 981-993
- [29] Geng Y-P (耿宇鹏), Zhang W-J (张文驹), Li B (李博). Phenotypic plasticity and invasiveness of alien plants. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2004, 12(4): 447-455 (in Chinese)
- [30] Huang M-F (黄梅芬), Kui J-X (奎嘉祥), Xu C (徐驰). Ecological study of *Eupatorium adenophorum*. *Weed Science* (杂草科学), 2008(1): 1-5 (in Chinese)

作者简介 周 蒙,男,1983年生,硕士研究生.主要从事恢复生态学研究. Email: ksxf@yahoo.cn

责任编辑 李凤琴