

光强对三叶鬼针草生长特征的影响

潘玉梅¹, 刘明超^{1,2}, 唐赛春^{1*}, 韦春强¹, 蒲高忠¹, 岑艳喜^{1,2}

(1. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 广西师范大学, 广西 桂林 541004)
中国科学院

摘要: 利用温室盆栽试验,研究了不同光强 100%、40%、20%和 5% 下三叶鬼针草营养生长期和繁殖期的生长特征。结果表明:中度遮荫有利于三叶鬼针草支持结构的生长和营养期的物质积累,重度遮荫下仍能生长良好。在两个生长时期,相对生长速率(RGR)、净同化速率(NAR)均在 100%光强下最大,5%光强下最小;总生物量在营养期和繁殖期分别在 40%光强和全光照下最大,在 3%光强下最小;株高、总叶面积(TLA)、根生物量比(RMR)、根冠比(R/C)、叶生物量比(LMR)、比叶面积(SLA)、叶面积比(LAR)、平均叶面积比(LARm)在 3%光强时均大于全光照下的;支持结构生物量比(SBR)在 40%光强、20%光强下大于 3%光强和全光照处理。这说明三叶鬼针草在形态、生物量分配及生长特性上对光因素具较强的可塑性,这可能是其分布范围广、具有强入侵性的因素之一。

关键词: 三叶鬼针草; 形态特征; 生物量分配

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)01-0077-06

Effect of light intensity on the growth characteristics of *Bidens pilosa*

PAN Yu-Mei¹, LIU Ming-Chao^{1,2}, TANG Sai-Chun^{1*},
WEI Chun-Qiang¹, PU Gao-Zhong¹, Cen Yan-Xi^{1,2}

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 2. Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: The growth characteristics of invasive species *Bidens pilosa* in vegetative and reproductive periods under four different relative irradiance 5%, 20%, 40% and 100% were studied in the green house. The results showed that moderate shading was favorable for the growth of the weed's supporting organs and biomass accumulation in vegetative period. However, the weed could grow well under severe shading condition. In the two growth periods, the maximum value of RGR and NAR were found under the full exposure and the minimum value under 5% light intensity; The total biomass was the highest under 40% light intensity in vegetative period and under 100% light intensity in reproductive period respectively, and the lowest one was found under 5% light intensity in both periods; The seedling height, TLA, RMR, R/C, LAR, SLA, and the LARm were more higher under 5% light intensity than that under 100% light intensity; The SBR were higher under 40% and 20% light intensity than that under 5% and 100% light intensity. The results indicated that *B. pilosa* had strong plasticity to light in morphology, biomass allocation and growth characteristic, which may be one of the reasons why the weed spread extensively and had strong invasiveness

Key words: *Bidens pilosa*; morphology characteristic; biomass allocation

收稿日期: 2011-05-01 修回日期: 2011-08-19

基金项目: 广西自然科学基金北部湾重大专项(2011GXNSFE 018005); 广西科学院基本科研业务费(桂植业 09028)[Supported by Fundamental Scientific Research Fund of Guangxi Academy of Sciences (Gui 09028); Beibu Gulf Key Specialized Program of Guangxi Natural Science Foundation (2011GXNSFE 018005)]

作者简介: 潘玉梅(1981-), 女, 安徽萧县人, 助理研究员, 主要从事外来入侵物种的研究, (E-mail)panym@gxib. cn.

* 通讯作者: 唐赛春, 女, 云南石屏人, 博士, 从事植物学、入侵生物学方面的研究, (E-mail)tangs@gxib. cn.

外来植物之所以能在陌生的入侵地成功定居、建群并暴发成灾,不仅与自身生长力、繁殖特性有关,与入侵地的生态环境因子及其对入侵地异质环境的适应能力密切相关。光是植物生长的重要影响因素,光照强度的变化对入侵植物的形态、生长和生物量分配有显著影响(陈忠义等,2005;张炜银等,2002;王琼等,2003),与同生境下的土著种相比,外来入侵植物有明显高的捕获和利用光能的效率(Pattison等,1998),因此,研究光照对外来入侵植物生长的影响,是探索该植物成功入侵机理的主要内容之一。

三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)为菊科(Compositae)鬼针草属(*Bidens*)一年生草本植物,原产热带美洲,现广泛分布于亚洲和美洲的热带、亚热带地区(李振宇,2002)。其花果期较长,可以不断地产生种子,萌发率高,繁殖力较强,瘦果冠毛芒状且具倒刺,易被携带而传播,入侵性极强,现已入侵我国多个省区,尤其在西南、华南地区入侵严重,是农业、林业、畜牧业等主要的有害外来植物之一,严重威胁到当地生物多样性,破坏生态平衡,被多个省区归化为入侵性较强的入侵种(徐海根等,2004;万方浩等,2005;朱世新等,2005),也是台湾菊科入侵种中较强入侵性的物种(Wu & Wang,2005)。三叶鬼针草由于具有抗疟、抑菌、抗炎、抗病毒、抗氧化、降血糖、降血压等药理作用,多年来一直被当作中草药使用和研究(曹春泉等,2006;王硕丰等,2005)。但有关三叶鬼针草的入侵特性和入侵机理的研究较少,仅有其分布与危害状况(周国庆等,2010)、化感特性(杜凤移等,2007;曾任森等,2004)、种子萌发(洪岚等,2004)等初步研究的报道,郝建华等(2009)对其繁殖特征与入侵性的关系进行了探讨,Sun & Ganders(1990),Grombone-Guaratini(2004)等对其繁殖特征及繁殖生物学特性进行了研究,而对于入侵生境中环境因子对其入侵性的影响的研究还少见报道。本文通过研究不同光强下三叶鬼针草的生长特征、生物量分配等生态特性,探讨环境因子光对其入侵特性的影响,为寻求其入侵机理提供基础。

1 材料与方法

试验在广西植物研究所实验大棚内进行,地理位置 $110^{\circ}12' E, 25^{\circ}11' N$,海拔 170 m,属于中亚热带季风气候区,全年平均温度 $19.2^{\circ} C$,年降雨量为

1 655.6 mm。于 5 月初将籽粒饱满的三叶鬼针草种子均匀播种到花盆中育苗,待幼苗长至 10 cm 左右,选取长势一致的幼苗移栽到内径为 23 cm,深为 18 cm 的盆中,每盆一株,栽培基质由肥土与砖红壤等体积混合而成,每盆装土 3kg,全部幼苗在遮荫条件下进行为期两周的适应性生长后进行光照处理。通过黑色尼龙网遮荫设置 4 种光照处理:(1)全光照,100%,即温室内不遮荫时的光照;(2)40%光照强度,覆盖一层遮荫网;(3)20%光照强度,覆盖两层遮荫网;(4)5%光照强度,覆盖三层遮荫网。用光照计测定相对光照强度。将幼苗随机分组到各光照处理中,每个处理设置五个重复,移栽 25 盆待用。试验期间每天浇适量的水分,并随时防治病虫害。

光照处理后分别在营养生长旺盛期和繁殖期进行形态特征及生物量等生长参数的测量,即株高、总叶面积、叶片数及总生物量、根生物量、叶生物量、茎生物量等。用 Li-3000 型叶面积仪测量叶面积,称重部分在 $80^{\circ} C$ 下烘 48 h,电子天平(精确度 0.0001 g)称量。计算如下参数:叶面积比(Leaf area ratio, LAR 总叶面积/植株总重);比叶面积(Specific leaf area, SLA, 总叶面积/总叶重);根生物量比(Root mass ratio, RMR, 根重/植株总重)、叶生物量比(Leaf mass ratio, LMR, 叶重/植株总重)、支持结构生物量比(Supporting organs biomass ratio, SBR, 支持结构重/植株总重)、根冠比(Root mass/Crown mass, 根生物量/地上部分生物量);采用 Poorter(1999)的方法计算平均相对生长速率(Relative growth rate, RGR)、净同化速率(Net assimilation rate, NAR)和平均叶面积比 LARm。

$$RGR = \ln W_2 - \ln \bar{W}_1 / \Delta t; NAR = W_2 - \bar{W}_1 / L_2 - \bar{W}_1 \times \ln L_2 - \ln \bar{L}_1 / \Delta t; LARm = \ln W_2 - \ln \bar{W}_1 / W_2 - \bar{W}_1 \times L_2 - \bar{W}_1 / \ln L_2 - \ln \bar{L}_1。$$

利用 SPSS 软件的 One-way ANOVA 方法对数据进行处理和分析,利用 EXCEL 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 光照对三叶鬼针草形态特征的影响

营养生长旺盛期,遮荫处理对三叶鬼针草各形态参数影响明显(叶片数除外)。株高在 5%~40%光强范围内,随着光强的增加而逐渐增加,超过 40%光强时又显著下降,100%光强下株高最小,显著低于其它光强处理($P < 0.05$);总叶面积在 40%

光强下最大,但与低、弱光处理下差异不明显,在 100%光强下最小,与其它处理间差异显著($P < 0.05$);叶片数在 5%~40%光强范围内随着光强增加而增加,超过 40%光强时又逐渐减少。40%和 100%光强下的叶片数多于 20%和 5%光强下的,但

各处理间差异不明显($P > 0.05$);叶面积比和比叶面积均随着光强增加而减小,叶面积比在 5%光强下显著大于其它处理,100%光强下显著低于其它处理($P < 0.05$),比叶面积在 100%光强处理下明显小于其它处理($P < 0.05$)。

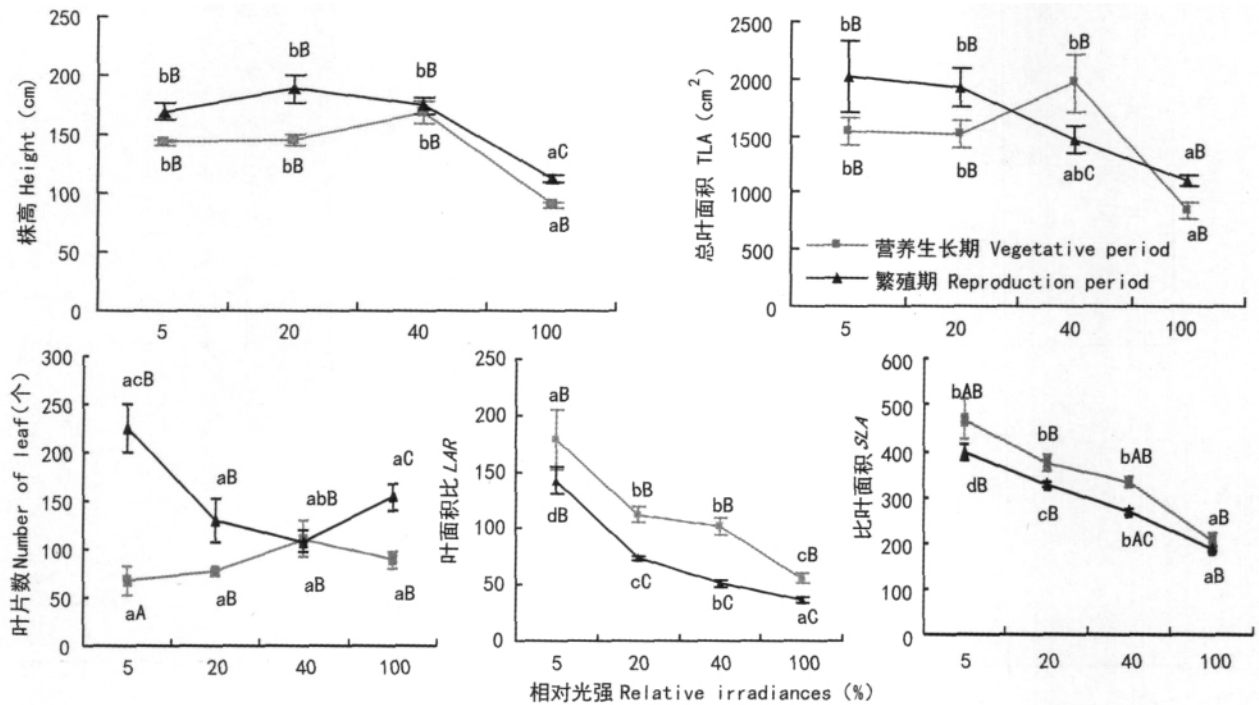


图 1 不同光强下三叶鬼针草营养生长期和繁殖期的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristic of *Bidens pilosa* in vegetative and reproduction periods under different light intensities. Different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ among morphology parameters under different light intensity in the same growth period; different capital letters indicate significant difference at $P < 0.05$ among morphology parameters under the same light intensity in different growth periods. The same below.

Different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$ among morphology parameters under different light intensity in the same growth period; different capital letters indicate significant difference at $P < 0.05$ among morphology parameters under the same light intensity in different growth periods. The same below.

在繁殖期,株高在 20%光强下最大,但与 5%和 40%光强下差异不明显,100%光强下明显小于其它处理($P < 0.05$);总叶面积随着光强增加而减小,20%和 5%光强下显著大于 100%光强下的($P < 0.05$);总叶片数在 5%光强下最多,40%光强下最少;叶面积比和比叶面积随着光强增加显著减少($P < 0.05$)。从营养生长旺盛期到繁殖期,三叶鬼针草各形态参数在不同光强处理下变化不同。株高在各光强下均表现为增加的趋势,100%光强下增加的较明显($P < 0.05$);总叶面积在 100%、20%和 5%光强下表现为增加的趋势,但不明显,而在 40%光强下表现为显著下降($P < 0.05$);叶片数在两个生长期变化趋势与总叶面积相似,但在 5%光强和 100%光强下增加明显($P < 0.05$),在 40%光强下变化不明显($P > 0.05$);比叶面积和叶面积比均表现为减

少的趋势,其中,比叶面积在 40%光强下减少较明显($P < 0.05$),而叶面积比在 100%、40%和 20%光强下均减少的较明显($P < 0.05$)。

2.2 光照对三叶鬼针草生物量及生物量分配的影响

营养生长旺盛期,总生物量在 5%~40%光强范围内随光强增加而增加,光强超过 40%时又开始减少。40%光强处理下总生物量显著高于其它光照处理的($P < 0.05$),5%光强处理下总生物量明显小于其它光强处理($P < 0.05$),20%和 100%处理间差异不明显($P > 0.05$)。根生物量比在 5%~40%光强范围内,变化不明显,超过 40%光强时显著增大,100%光强下根生物量比最大。支持结构生物量比在 20%~40%光强范围内较大,100%光强时显著小于其它光照处理的($P < 0.05$)。叶生物量比随着光强增加而减小,5%光强下显著大于其它光照处理

的($P < 0.05$),但在其它几个光照处理间差异不明显($P > 0.05$)。根冠比在5%~40%光强范围内变化不明显,40%~100%光强范围内随着光强增加而显著增加($P < 0.05$),100%光强时根冠比最大。

生长繁殖期,总生物量随着光强增加而增加,5%光强下总生物量显著小于其它光照处理($P <$

0.05)。根生物量比随着光强增加而增加,其中5%光强处理与其它各处理均差异显著,20%光强处理与100%光强处理差异明显($P < 0.05$)。支持结构生物量比在20%、40%光强时显著大于3%和100%光强处理的,但前二者间及后二者间差异均不明显($P > 0.05$)。叶生物量比随着光强增加而减小,

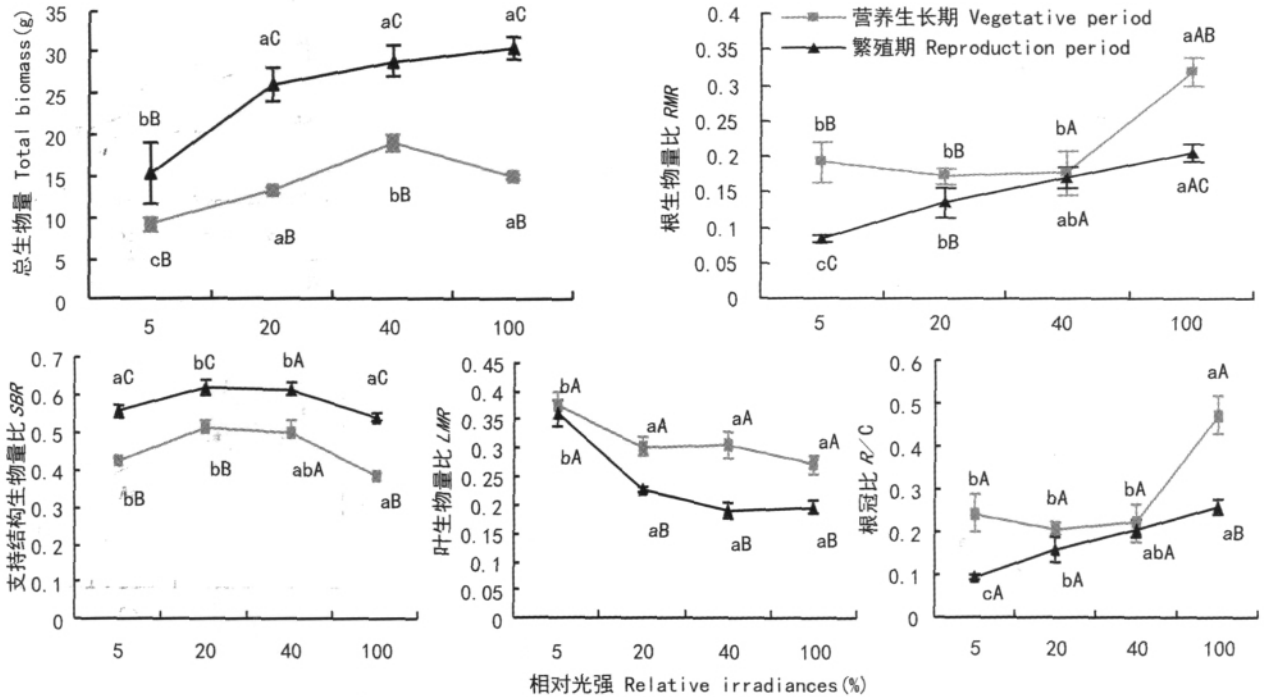


图2 不同光强下三叶鬼针草营养生长期和繁殖期的总生物量及生物量分配
Fig. 2 Total biomass and biomass allocation of *Bidens pilosa* in vegetative and reproduction periods under different light intensities

且5%光强处理的叶生物量比与其它处理均差异显著($P < 0.05$),但其它处理间差异不明显($P > 0.05$)。根冠比随光强增加而增加,5%光强与其它各处理间均差异明显($P < 0.05$),20%光强与100%光强及5%光强处理均差异显著($P < 0.05$),与40%光强处理差异不明显($P > 0.05$),40%光强处理与100%光强处理无明显差异($P > 0.05$)。

繁殖期各光照处理的总生物量均比营养生长期高,除5%光照处理变化的不明显外,其余各处理均差异显著($P < 0.05$),但生物量分配变化不同。根生物量比和叶生物量比均比营养生长期低,其中根生物量比在5%和100%光强时差异明显($P < 0.05$),20%和40%光强时差异不明显($P > 0.05$),而叶生物量比除在5%光强下差异不明显外,其余各处理均差异显著($P < 0.05$);支持结构生物量比高于营养生长期的,除40%光强处理差异不明显

外,其余各处理均差异显著($P < 0.05$);根冠比变化与根生物量比变化相似,但根冠比仅在100%光强时变化显著,而其它各处理变化不明显。

2.3 光照对三叶鬼针草生长特性的影响

三叶鬼针草从开始处理到营养生长旺盛期,相对生长速率(RGR)在5%~40%光强范围内随着光强增加而增加,超过40%光强时又开始减小,且40%光强时显著大于100%和5%光强处理的($P < 0.05$);净同化速率(NAR)随光强增加而增加,100%光强处理的明显大于其它光照处理的($P < 0.05$),40%光强处理的显著大于5%光照处理的($P < 0.05$),但与20%处理的差异不明显($P > 0.05$);平均叶面积比(LAR_m)随着光强增加而减小,100%光强处理显著小于其它光照处理的($P < 0.05$)。

从营养旺盛期到繁殖期,RGR在100%光照处理时最大,其次是20%光照处理,40%处理的显著

小于 100% 处理的 ($P < 0.05$), 但与 5% 和 20% 处理的差异不明显 ($P > 0.05$); NAR 随着光强增加变化趋势与 RGR 相似, 但 100% 处理显著大于其它各处理 ($P < 0.05$), 而其它各处理间差异不明显 ($P > 0.05$); 就营养期和繁殖期两个生长阶段而言, 每种光处理下, 植株的相对生长速率 RGR 、净同化速率 NAR 以及平均叶面积比 LAR_m 均表现为营养期大于繁殖期。说明营养期是三叶鬼针草吸收、生长较

快的时期。

3 结论与讨论

形态特征和生长特性的改变是植物适应不同环境和资源水平的重要策略 (Maherali & Delucia, 2001; Farmr, 1999; Müllert 等, 2000), 外来植物对生态环境中可利用营养资源、光照等变化常表现出

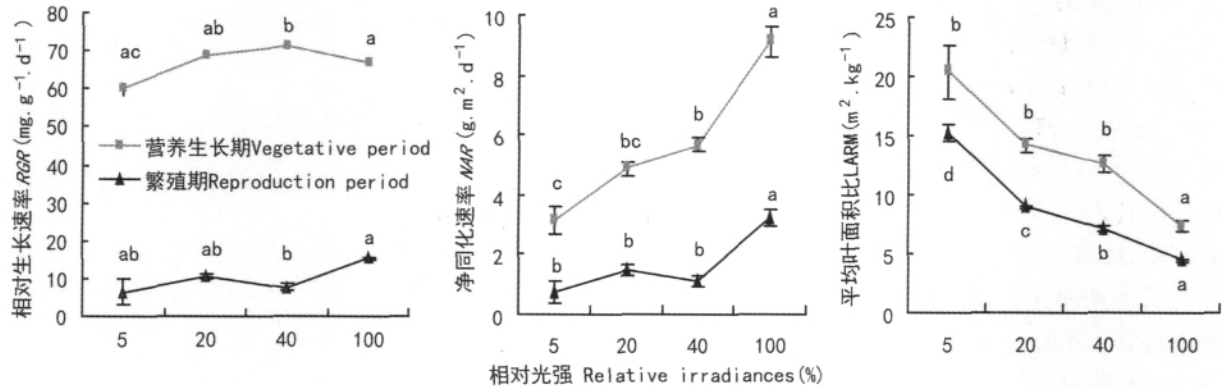


图 3 不同光强下三叶鬼针草营养期和繁殖期的生长特性

Fig. 3 The growth characteristic of *Bidens pilosa* in vegetative and reproduction periods under different light intensities

极高的可塑性 (Leicht 等, 2006; Maurer 等, 2002)。光是植物生境异质性的环境因子之一, 不同的入侵植物在形态方面对不断变化的光环境表现出不同的可塑性, 如紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*) 和兰花菊三七 (*Gynura* sp.) 的株高、总叶面积随着光照强度升高而降低 (王俊峰等, 2004), 而加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 的株高和叶面积则表现出相反的趋势 (孙晓方等, 2008)。本研究中三叶鬼针草在营养生长期株高、总叶面积 (TLA) 均在 40% 光强时最大, 而在 100% 光强时最小, 3% 光强时总叶面积与 40% 光强的差异不明显, 表现出其对光适应的独特性, 说明不同外来物种对光强变化的响应具有物种差异性。在 5% 光强时, 尽管三叶鬼针草的总生物量、相对生长速率 (RGR) 及净同化速率 (NAR) 最小, 但株高、总叶面积及叶面积比均比 100% 光强大, 这是该植物应对光强变化的一种适应策略。在光强受限时, 植物通过增加株高向高空伸展, 增加叶片光合面积, 以截获更多光能。这种策略增加了三叶鬼针草对弱光的适应力, 使其在光胁迫环境下仍能维持正常生长, 这与我们在野外看到该植物能够在密林下生长良好的现象相符。高光强下, 植物叶面积减小, 叶片厚度增加, 厚的叶片

光合能力增强 (Poorter 等, 1995; 冯玉龙等, 2002), 可以避免强光抑制的发生。

外来植物对光因子的响应不但表现在表型可塑性的方向和程度方面, 也表现在生物量分配对策方面 (Claridge 等, 2002; Sultan, 2001; 姜立志等, 2010)。植物可以通过改变地上部分 (茎或叶) 和地下部分 (根) 光合产物的分配, 来提高自身的竞争能力 (Sultan, 2001)。三叶鬼针草在能量积累及资源分配上对不同光强也做出适应其生长的可塑性调节; 在营养生长期, 总生物量在 40% 光强时最大, 100% 光强下反而减小, 这与入侵植物紫茎泽兰和兰花菊三七总生物量对光的响应关系相似 (王俊峰等, 2004); 而在繁殖期, 则是光强越大, 总生物量越大。说明适当的遮荫有利于三叶鬼针草营养期的物质积累, 同时也说明充足的光源下该植物在繁殖期能积累更多的物质, 为繁殖后代做准备。

在两个生长时期, 支持结构生物量比均表现为 40% 和 20% 光强处理大于 5% 和 100% 光强处理, 且营养期, 相对生长速率 (RGR) 也在 40% 光强下最大, 说明适度遮荫能促进资源向支持结构分配, 以支撑不断积累的物质, 有利于三叶鬼针草植株的生长。根生物量比和根冠比在营养生长期表现为 5% 光强

和 100% 光强处理大于 40% 和 20% 光强处理, 在繁殖期随光强增加而增加。营养生长期, 5% 光强下根生物量比和根冠比较大, 可能因为此时植物地上部分光合作用受限, 向地下部分分配较多的资源, 利于植株从地下吸收水分、养分等。100% 光强下根生物量比和根冠比较大, 可能与此时植株为避免强光抑制, 减小了对地上部分尤其是对叶的资源投入有关(图 2)。也有研究表明随着光强的增大植物倾向于提高 RMR 和 R/C 以汲取更多的水分(何维明等, 2000)。这种能量分配对光的响应策略与入侵植物喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.) (许凯扬等, 2005) 及兰花菊三七的相似(王俊峰等, 2004), 能够使三叶鬼针草在极弱光或强光下维持生长, 增加对光的适应范围, 有利于入侵不同的光环境, 增强入侵力。

与营养期相比, 三叶鬼针草在繁殖期的总生物量和支持结构生物量比在各光照下均增加, 100% 光强下增加较明显, 而叶生物量比和根生物量比及根冠比均减少, 尤其在 100% 光强下减少较明显。说明三叶鬼针草从营养期到繁殖期需要更多的光能, 一方面用于不断的积累物质, 繁殖后代。另一方面用于供给支持结构的生长, 以增强对不断增加的繁殖结构的支撑作用。体现了光对三叶鬼针草繁殖期的重要性。

值得注意的一个特点, 三叶鬼针草的叶片数并没有像其他植物那样, 随着繁殖期到来而减少, 而是繁殖期比营养期有所增加, 尤其在 5% 光强和 100% 光强下增加较明显(图 1)。这可能与三叶鬼针草一年四季不断开花结实的生活史特征有关。为了保证植株能连续的开花结实, 植株不断地从底部生长出小叶片以吸收光能, 维持能量的供给。100% 光强下植株积累了更多的生物量, 为繁殖做准备, 需要较多的光能补给。而 5% 光强下, 光能受限, 必须通过增加叶片数获取尽可能多的光源。三叶鬼针草这一生活史特征在其它入侵物种中还未见报道, 可能是其在入侵地成功定居、暴发的主要因素之一, 因此伴随这一生活史特征发生的可塑性可能是其适应异质环境、促进其成功入侵的重要特性之一。

多数学者通过成对物种对比实验证明, 与土著种相比, 外来入侵种对营养、水分以及光照等条件的反应表现出较强的可塑性(耿宇鹏等, 2004)。本研究中虽然仅研究了三叶鬼针草的生长特征在入侵地对不同光照条件的响应, 没有与本地近缘物种或原

产地种群作比较, 但三叶鬼针草在形态、生物量分配及生长特性上对不同光条件做出的调节策略, 说明该植物对光资源具有较大的可塑性, 其在 5% 光环境下仍能生长良好, 表明三叶鬼针草对弱光环境有较好的耐受能力, 增加了其生态幅的宽度, 也是其能在不同环境中广泛分布的原因之一。

参考文献:

- 万方浩, 郑小波, 郭建英. 2005. 重大农林外来入侵物种的生物学与控制[M]. 北京: 科学出版社: 774
- 王硕丰, 杨本明, 李立标, 等. 2005. 三叶鬼针草活性成分研究[J]. 中草药, 36(1): 20-21
- 李振宇, 解炎. 2002. 中国外来入侵种[M]. 北京: 中国林业出版社: 158
- 徐海根, 强胜. 2004. 中国外来入侵物种编目[M]. 北京: 中国环境科学出版社: 407-409
- Cao CQ(曹春泉), Sun LR(孙隆儒). 2006. Research Advance in *Bidens pilosa* (三叶鬼针草的研究进展)[J]. *Food and Drug (食品与药品)*, 8(12A): 14-16
- Chen ZY(陈中义), Gao H(高慧), Wu H(吴涵), et al. 2005. Effects of simulated canopy shade on seed germination and seedlings growth of *Spatina alterniflora* and *Scirpus mariqueter* (模拟遮荫对互花米草和海三棱藨草种子萌发及幼苗生长的影响)[J]. *Hubei Agric Sci (湖北农业科学)*, 2: 82-84
- Claridge K, Franklin SB. 2002. Compensation and plasticity in an invasive plant species[J]. *Biol Inv*, 4: 339-347
- Du FY(杜凤移), Zhang MM(张苗苗), Ma DW(马丹炜), et al. 2007. Preliminary study on the allelopathic effects of *Bidens pilosa* (三叶鬼针草化感作用的初步研究)[J]. *China Plant Prot (中国植保导刊)*, 27(9): 8-11
- Farrar JF. 1999. Acquisition, partitioning and loss of carbon [M]//Press MC, Scholes JD, Barker MG (eds). *Blackwell: Physiological Plant Ecology*: 25-43
- Feng YL(冯玉龙), Cao KF(曹坤芳), Feng zL(冯志立), et al. 2002. Acclimation of lamina mass per unit area, photosynthetic characteristics and dark respiration to growth light regimes in four tropical rainforest species (四种热带雨林树种幼苗比叶重, 光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应)[J]. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 22: 901-910
- Geng YP(耿宇鹏), Zhang WJ(张文驹), Li B(李博), et al. 2004. Phenotypic plasticity and invasiveness of alien plants (表型可塑性与外来植物的入侵能力)[J]. *Biodiv Sci (生物多样性)*, 12(4): 447-455
- Grombone-Guaratini MT, Solferini VN, Semir J. 2004. Reproductive biology in species of *Bidens* (Asteraceae)[J]. *Sci Agric (Piracicaba, Brazil)*, 61: 185-189
- Hao JH(郝建华), Liu QQ(刘倩倩), Qiang S(强胜). 2009. Reproductive Traits Associated with Invasiveness in *Bidens pilosa* (Asteraceae) (菊科入侵植物三叶鬼针草的繁殖特征及其与入侵性的关系)[J]. *Chin Bull Bot (植物学报)* 44(6): 656-665
- Jiang LZ(姜立志), Wang D(王东), Liu SN(刘树楠), et al. 2010. Effect of light and nitrogen on morphological traits and (下转第 106 页 Continue on page 106)

- Castillo JM, Rubio-casal AE, Redondo S, *et al.* 2005. Short-term responses to salinity of an invasive cordgrass[J]. *Biol Invasions*, **7**(1):29-35
- Cottet M, Montaudouin X, Blanchet h, *et al.* 2007. *Spartina anglica* eradication and in situ monitoring assess structuring strength of habitat complexity on marine macrofauna at high tidal level[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, **71**:629-640
- Crooks J. 2002. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions; the role of ecosystem engineers[J]. *Oikos*, **97**:153-166
- Hedge P, Kriwoken LK. 2000. Evidence for effects of *Spartina anglica* invasion on benthic macrofauna in Little Swanport estuary Tasmania[J]. *Austral Ecol*, **25**:150-15
- Kitao M, Lei TT, Koike T, *et al.* 2000. Susceptibility to photo inhibition of three deciduous broad leaf tree species with different successional traits raised under various light regimes[J]. *Plant Cell Environ*, **23**:81-89
- Lan T(兰涛), Duan YL(段远霖), Wu WR(吴为人), *et al.* 2007. Cloning and sequence analysis of 3' cDNA end of Na⁺/H⁺ antiporter gene from *Spartina anglica* (大米草 Na⁺/H⁺ 泵基因 3' cDNA 末端的克隆和序列分析)[J]. *J Fujian Agric Fore Univ; Nat Sci Edi*(福建农林大学学报·自然科学版), **36**(2):143-146
- Levin LA, Neira C, Grosholz ED. 2006. Invasive cordgrass modifies wetland trophic function[J]. *Ecology*, **87**:419-432
- Lu PL(陆佩玲), Luo Y(罗毅), Liu JD(刘建栋). 2000. Characteristic parameters of light response curves of photosynthesis of winter wheat in north China(华北地区冬小麦光合作用的光响应曲线的特征参数)[J]. *J Appl Meteorol Sci*(应用气象学报), **11**(2):236-241
- Martina L, Justus EE, Van Beusekom, *et al.* 2006. Is spread of the neophyte *Spartina anglica* recently enhanced by increasing temperatures[J]. *Aquat Ecol*, **40**:315-324
- Ranwell DS. 1964. *Spartina* salt marshes in southern England. II. Rate and seasonal pattern of sediment accretion[J]. *J Ecol*, **52**(1):79-94
- Reeder TG, Hacker SD. 2004. Factors Contributing to the Removal of a marine grass invader (*Spartina anglica*) and subsequent potential for habitat restoration[J]. *Estuaries Coasts*, **27**(2):244-252
- Sai HY(赛洪英), Zou ShQ(邹寿青). 2003. The photosynthetic characteristics in leaves of carpet grass-*Axonopus compressus* (地毯草的光合特性研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **23**(2):181-184
- Tang J(唐军), Xu NJ(徐年军), He YL(何艳丽), *et al.* 2008. Study on extraction of *Spartina flavonoids* and the activity of scavenging hydroxyl free radical(大米草黄酮的提取工艺及清除羟自由基作用的研究)[J]. *Food Sci Tech*(食品科技), **2**:140-143
- Thompson JD. 1991. The biology of an invasive plant; What makes *Spartina anglica* so successful[J]. *Bio Sci*, **41**:393-401
- Wang Q, An SQ, MA ZJ, *et al.* 2006. Invasive *Spartina alterniflora*: biology, ecology and management[J]. *Acta Phytot Sin*, **44**:559-588
- Zhu XJ(朱晓佳), Qin P(钦佩). 2003. The alien species *Spartina alterniflora* AND *S. ecoengi-neering* (外来种互花米草及米草生态工程)[J]. *Mar Sci*(海洋科学), **27**(12):14-19

(上接第 82 页 Continue from page 82)

- biomass allocation of an invasive weed *Alternanthera philoxeroides*(光照和氮素对喜旱莲子草形态特征和生物量分配的影响)[J]. *Acta Hydrob Sin*(水生生物学报), **34**(1):101-106
- Leicht SA, Silander JA. 2006. Differential responses of invasive *Celastrus orbiculatus* (Celastraceae) and native *C. scandens* to changes in light quality[J]. *Amer J Bot*, **93**:972-977
- Maherali H, DeLucia EH. 2001. Influence of climate-driven shifts in biomass allocation on water transport and storage in ponderosa pine[J]. *Oecologia*, **129**:481-489
- Maurer DA, Zedler JB. 2002. Differential invasion of a wetland grass explained by tests of nutrients and light availability on establishment and clonal growth[J]. *Oecologia*, **131**:279-288
- Müller I, Schmid B, Weiner J. 2000. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants[J]. *Persp Plant Ecol, Evol Syst*, **3**:115-117
- Pattison RR, Goldstein G, Ares A. 1998. Growth, biomass allocation and photosynthesis of invasive and native Hawaiian rain forest species[J]. *Oecologia*, **117**:449-459
- Poorter H, Oberbauer SF, Clark DB. 1995. Leaf optical properties along a vertical gradient in a tropical rain forest canopy in Costa Rica[J]. *Am J Bot*, **82**:1257-1263
- Poorter L. 1999. Growth response of 15 rain-forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits[J]. *Funct Ecol*, **13**:396-410
- Sultan SE. 2001. Phenotypic plasticity for fitness components in *Polygonum* species of contrasting ecological breadth[J]. *Ecology*, **82**:328-343
- Sun M, Ganders FR. 1990. Out crossing rates and allozyme variation in rayed and rayless morphs of *Bidens pilosa*[J]. *Heredity*, **64**:139-143
- Wang Q(王琼), Liu X(刘霞), Wang AL(王爱丽), *et al.* 2003. Clonal growth of *Lysimachia christinae* in response to light intensity(过路黄克隆生长对光照强度的反应)[J]. *J China West Normal Univ; Nat Sci Edi*(西华师范大学学报·自然科学版), **24**(4):390-395
- Wu SH, Wang HH. 2005. Potential Asteraceae invaders in Taiwan; insights from the flora and herbarium records of casual and naturalized alien species[J]. *Taiwania*, **50**:62-70
- Zeng RS(曾任森), Luo SM(骆世明). 2004. Allelopathic effects of root exudates of *Cymbopogon citratus*, *Ageratum conyzoides* and *Bidens pilosa* (香茅、胜红蓟和三叶鬼针草根分泌物的化感作用研究)[J]. *J South Chin Agric Univ*(华南农业大学学报), **22**(5):433-437
- Zhang WY(张炜银), Wang BS(王伯荪), Li MG(李鸣光), *et al.* 2002. The effects of light intensity on growth and morphology in *Mikania micrantha* Seedlings(不同光照强度对薇甘菊幼苗生长和形态的影响)[J]. *Sun Yatsen Univ Forum*(中山大学学报论丛), **22**(1):223-227
- Zhou GQ(周国庆), Guan X(官旋), Peng YL(彭友林), *et al.* 2010. Research on the Morphogenesis and Hazard of Alien Species *Bidens pilosa* in Changde City(常德市外来物种三叶鬼针草的形态建成与危害研究)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **38**(2):880-882
- Zhu SX(朱世新), Qin HN(覃海宁), Chen YL(陈艺林). 2005. Alien species of Compositae in China(中国菊科植物外来种概述)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(1):69-76