

# 外来入侵植物大狼把草种群构件生物量结构研究

周兵<sup>1,2</sup>, 闫小红<sup>1,2</sup>, 肖宜安<sup>1,2\*</sup>, 余亚辰<sup>1</sup>, 曾建军<sup>1</sup>, 胡雪华<sup>1</sup>

(1. 井冈山大学 生命科学学院, 江西 吉安 343009; 2. 井冈山生态环境研究中心, 江西 吉安 343009)

**摘要:** 大狼把草是广泛分布于我国的外来入侵植物之一, 通过样方调查, 从构件水平定量分析了大狼把草种群各构件的结构特征及其生物量间的关系模型, 并探讨了其与入侵性的关系。结果表明: 大狼把草种群各构件生物量之间的关系为茎>花序>根>叶。各构件生物量所占比率表现为茎>花序>叶>根。大狼把草种群各构件生物量之间及各构件生物量与植株高度之间都呈显著正相关关系, 均可用幂函数模型较好地表达。大狼把草种群各构件较强的表型可塑性及其在生殖器官中较高的生物量投资分配特性, 极大地提高了其入侵能力。

**关键词:** 外来入侵植物; 生物量结构; 入侵性; 大狼把草

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)05-0650-06

## Module biomass structure traits of the alien invasive *Bidens frondosa* population

ZHOU Bing<sup>1,2</sup>, YAN Xiao-Hong<sup>1,2</sup>, XIAO Yi-An<sup>1,2\*</sup>,  
YU Ya-Chen<sup>1</sup>, ZENG Jian-Jun<sup>1</sup>, HU Xue-Hua<sup>1</sup>

(1. School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China; 2. Research Center for Jinggangshan Eco-Environmental Sciences, Ji'an 343009, China)

**Abstract:** *Bidens frondosa* is one of the most widely distributed alien invasive plants in China. Biomass structure characteristic and correlation models among different modules of *B. frondosa* population were studied at module level by sampling surveys. The quantitative analysis and the relation between the characteristics and its invasiveness were also done in this paper. The results showed that the module biomass of *B. frondosa* decreased in the sequence of stem, capitulum, root, leaf, and the biomass proportion of each module to the whole plant biomass decreased in the sequence of stem, capitulum, leaf, and root. The biomass of each module had significant positive correlations with plant height, it also had significant positive correlation with that of the others, and all the correlations could be well expressed by exponential model. Stronger phenotypic plasticity of each *B. frondosa* module and higher biomass allocation greatly enhanced its invasive ability.

**Key words:** alien invasive plant; biomass structure; invasiveness; *Bidens frondosa*

生物入侵因导致原有生物地理分布和生态系统结构与功能的改变、生物多样性丧失、农业生产和人类健康受到影响、造成巨大经济损失而备受世界关注(Didham 等, 2005; Gurevitch 等, 2004)。一般认为, 成功的入侵植物具有较强的适应性、繁殖力和散

布力(Prentis 等, 2008)。表型可塑性是入侵植物适应性的主要表现形式之一, 其不仅使物种具有更宽的生态幅和更好的耐受性占据更广阔的地理范围和多样化的生境(Sultan, 1995), 还可缓冲甚至在一定程度上屏蔽新生境造成的选择压力, 使入侵种群不

\* 收稿日期: 2012-02-26 修回日期: 2012-06-19

基金项目: 国家林业科技支撑计划专项(2008BADB0B0504); 江西省教育厅科技计划项目(GJJ08504, GJJ10689); 井冈山大学博士科研启动项目(JZB11028) [Supported by National Forestry Science and Technology Support Program (2008BADB0B0504); Science and Technology Program of Jiangxi Provincial Education Department (GJJ08504, GJJ10689); Doctoral Scientific Research Program of Jinggangshan University (JZB11028)]

作者简介: 周兵(1977-), 男, 湖北黄梅人, 博士, 副教授, 主要从事外来入侵植物入侵生态学研究, (E-mail) zhoubing113@126.com。

\* 通讯作者: 肖宜安, 博士, 教授, 主要从事保护生物学和植物生态学研究, (E-mail) iyanxiao@yahoo.com.cn。

至于因大量个体被淘汰而导致种群数量急剧下降。近年来,利用种群构件理论研究外来入侵植物各构件的数量特征及其相互关系,尤其是营养器官与生殖器官的生物量分配关系,探讨入侵植物的表型可塑性及其繁殖输出能力,在此基础上探索外来入侵植物的入侵能力及入侵机理,取得了一定的成果(刘龙昌等,2012;潘玉梅等,2009;蒲高忠等,2010;Feng等,2007)。可见,植物种群构件理论可以作为研究外来入侵植物入侵特性的有效方法之一。

大狼把草(*Bidens frondosa*)别名接力草、外国脱力草、鬼叉等,为菊科(Compositae)鬼针属(*Bidens* sp.)一年生草本植物,原产北美洲,最初为无意引入种,主要分布于我国安徽、江苏、浙江、江西、辽宁等省区。在荒地、路边、沟边,低洼的水湿处都有分布,在稻田缺水条件下,常侵入田中,大量发生,造成危害,有扩散到全国水稻产区的趋势(徐海根等,2004)。国内外对大狼把草的研究主要集中在其化学成分(Pagani & Romussi, 1971; Brandao 等, 2010)、药理活性(赵健等,1999;Brandao 等,2010)、对污染物的净化作用(张彩莹等,2011;Stevens 等,2009)及生物学特性(Brandel,2004;Sumberová 等,2004)等方面,而关于其入侵机理及防治方面的研究少见报道(Brandel,2004)。目前关于外来入侵植物入侵机理的研究多集中于紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)、飞机草(*Chromolaena odorata*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)等产生巨大可见生态和经济影响的成功入侵者(何锦峰,2008),而忽视已定居但还未完全爆发的外来种。实际上研究潜在爆发型外来入侵植物的入侵机理同样具有重要理论和实际意义,尤其在其潜在扩散区域预测、风险评估及防治等方面。为此,本文通过研究大狼把草种群个体构件间的关系,从表型可塑性及繁殖输出的角度探讨其入侵机理,为更好地预防大狼把草等潜在爆发型外来入侵植物的继续扩散及其防治提供理论依据。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 样地概况

研究区设在江西省吉安市青原区,该地处吉安市东南部,属赣江中游,罗霄山脉中段,113°46′~115°56′ E,25°58′32″~27°57′50″ N,海拔113~138 m。属亚热带季风湿润性气候,气候温和、光照充

足、雨量充沛,年均气温为17.1~18.6℃,年均降水量为1487 mm。具有四季分明、雨热同季、无霜期长等气候特点。研究样地大狼把草占绝对优势,覆盖度在90%以上,伴生植物主要包括窄叶紫菀(*Aster subulatus*)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)、鸡眼草(*Kummerowia striata*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、截叶铁扫帚(*Lespedeza cuneata*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 取样 2009年9~11月,在全面踏查的基础上,选择人为干扰较小具有代表性的大狼把草种群分布地段,随机设立12个样方,样方面积为1 m×1 m。调查每个样方内大狼把草种群个体数量,并在每个样方内随机选取10株大小不等的个体,12个样方共120株。测量每株个体的高度,将植株根系全部挖出,一起带回实验室,用水浸泡去掉根部泥土,冲洗干净后将植株的根、茎、叶、花、果等器官分离,分别装袋,在70℃下烘干至恒重后,用精确度1/10000电子天平逐株逐项称重。

1.2.2 数据处理 将全部测定的数据进行统计分析。对各构件生物量之间的关系建立定量化描述模型,将所有定量关系均进行直线函数 $y = a + bx$ ,幂函数 $y = ax^b$ ,指数函数 $y = ae^{bx}$ 模型的回归分析,相关性最高者为其最佳描述模型。采用SPSS 13.0进行显著性检验及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大狼把草种群各构件生物量特征

表1表明,大狼把草种群总生物量平均值为20.18 g(变异系数为118.42%),其中茎(11.48 g) > 花序(4.41 g) > 根(2.20 g) > 叶(2.09 g),其变异系数分别为125.38%、123.61%、174.35%和87.98%。植株高度平均值为110.73 cm,平均花序数为112.65个,相对应的变异系数分别为30.42%和86.73%。大狼把草种群构件生物量的最大值和最小值反映了观察样本的实际大小范围,根、茎、叶、花序生物量及总生物量最大值和最小值之间的比值分别为428.88、476.45、267.75、330.91和314.68。表明大狼把草种群各功能构件具有较大表型可塑性。大狼把草的根、茎、叶和花序生物量分配比例大小关系表现为茎(55.22%) > 花序(22.68%) > 叶(11.51%) > 根(10.58%),其变异系数均相对较小,

说明各构件生物量分配比例具有相对稳定性;而各构件生物量分配比率的变异系数大小表现为根>叶>花序>茎,说明茎的生物量分配比例比其它构件分配比例更稳定,其次是花序。

### 2.2 大狼把草根、茎、叶和花序生物量与植株高度的关系

经回归分析和相关性检验,在大狼把草种群繁殖生长时期,营养器官根、茎、叶生物量,繁殖器官花

表 1 大狼把草种群各构件生物量特征

Table 1 Biomass characteristics of different modules in *Bidens frondosa* population

项目 Item	最大值 Max	最小值 Min	平均 Mean±SD	变异系数 CV(%)
根生物量 Biomass of roots (g)	34.31	0.08	2.21±3.85	174.35
茎生物量 Biomass of stems (g)	95.29	0.20	11.48±14.39	125.38
叶生物量 Biomass of leaves (g)	10.71	0.04	2.09±1.84	87.98
花序生物量 Biomass of capitula (g)	36.40	0.11	4.41±5.45	123.61
总生物量 Total Biomass (g)	147.90	0.47	20.18±23.90	118.42
植株高度 Plant height (cm)	215	39	110.73±33.68	30.42
花序数 Number of capitulum	542	6	112.65±97.70	86.73
根生物量分配 Allocation of root biomass (g)	46.80	2.94	10.58±4.87	46.03
茎生物量分配 Allocation of stem biomass (g)	67.18	35.63	55.22±6.36	11.51
叶生物量分配 Allocation of leaf biomass (g)	24.04	3.47	11.51±3.83	33.27
花序生物量分配 Allocation of capitulum biomass (g)	39.69	8.77	22.68±6.18	27.26
生殖器官/营养器官 Reproductive organ/nutritional organ	0.66	0.10	0.30±0.11	36.58

序生物量与植株高度之间存在极显著的正相关关系 ( $P<0.01$ ),不同函数的拟合方程见表 2。其中,幂函数模型能较好地表达各构件生物量与株高之间的关系,相对应的幂函数方程分别为:  $y = 100.78x^{0.2532}$ 、 $y = 64.664x^{0.2584}$ 、 $y = 99.28x^{0.2241}$  和  $y = 83.461x^{0.2409}$ , 相关系数分别为 0.868、0.898、0.797 和 0.801。植株高度随根、茎、叶和花序生物量呈现幂函数增加,反映制约作用规律性的  $b$  值分别为 0.251、0.258、0.221 和 0.240,且根、茎、叶和花序生物量对植株高度的影响制约程度表现为茎>根>花序>叶(图 1)。

### 2.3 大狼把草种群各构件生物量间的关系

经回归分析和相关性检验,大狼把草种群根、茎、叶和花序各构件生物量间存在着极显著的正相关关系 ( $P<0.01$ )。不同函数的拟合方程(表 3)中,幂函数模型最能表现它们之间的关系。大狼把草种群营养器官之间存在着极显著正相关关系 ( $P<0.01$ )。根生物量随茎生物量和叶生物量呈幂函数形式增加,茎生物量也随叶生物量呈幂函数形式增加,拟合曲线见图 2,相对应的拟合方程分别为  $y = 0.208x^{0.9247}$ 、 $y = 0.9599x^{0.8204}$  和  $y = 5.2013x^{0.905}$ , 相关系数分别为 0.935、0.850 和 0.926。各方程的  $b$  值分别为 0.929、0.820 和 0.895,且茎、叶生物量对根生物量的影响制约程度表现为茎>叶。

大狼把草种群营养器官与生殖器官花间也存在极显著的正相关关系 ( $P<0.01$ )。表现为花序生物

表 2 大狼把草植株高度与各构件生物量间关系模型

Table 2 Correlation models between plant height and different modules of *Bidens frondosa*

项目 Item	生物量 Biomass (g)	拟合方程 Stimulation equation	$R^2$
植株高度(cm) Plant height	根生物量	$y = 5.461x + 98.70$	0.388
		$y = 96.03e^{0.043x}$	0.293
		$y = 100.78x^{0.2532}$	0.7557
	茎生物量	$y = 1.800x + 90.07$	0.591
		$y = 89.37e^{0.014x}$	0.461
		$y = 64.664x^{0.2584}$	0.8066
	叶生物量	$y = 12.93x + 83.76$	0.498
		$y = 83.48e^{0.113x}$	0.450
		$y = 99.28x^{0.2241}$	0.636
	花序生物量	$y = 4.241x + 92.04$	0.471
		$y = 90.85e^{0.034x}$	0.365
		$y = 83.461x^{0.2409}$	0.6428

量随根、茎和叶生物量均呈幂函数模型形式增加,具有较好的拟合效果(图 2),相对应的拟合方程分别为:  $y = 2.276x^{0.8416}$ 、 $y = 0.4819x^{0.8995}$  和  $y = 2.1013x^{0.8298}$ , 相关系数分别为 0.867、0.939 和 0.910。各方程的  $b$  值分别为 0.837、0.901 和 0.844,且根、茎、叶生物量对花序生物量影响制约程度表现为茎>叶>根。

大狼把草种群不同构件生物量与同一构件生物量间的关系中,根和花序生物量随茎生物量增加而呈幂函数模式增加( $b$  值分别为 0.929、0.901),表明根比花序生物量更易受茎生物量影响制约;根和花序生物量随叶生物量增加而呈幂函数模式增加 ( $b$

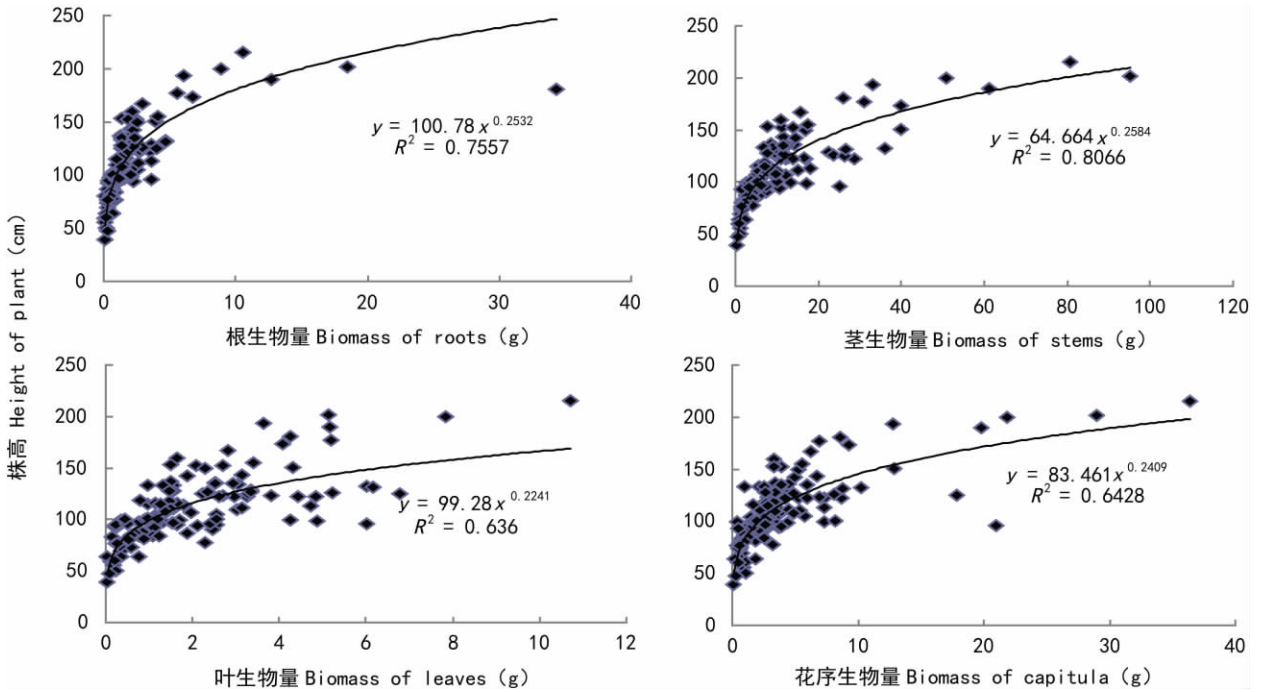


图 1 大狼把草植株高度与各构件生物量间的关系

Fig. 1 Relationships between height and biomass of different structures of *Bidens frondosa* population

值分别为 0.820、0.844), 表明花序较根生物量更易受叶生物量的制约。

### 3 结论与讨论

表型可塑性是生物界中普遍存在的现象之一, 入侵植物的生物量分配和繁殖即具有表型可塑性, 且表型可塑性与其入侵能力呈正相关关系 (Feng 等, 2007)。在生物量分配方面, 外来入侵植物如小飞蓬 (*Conyza canadensis*) (潘玉梅等, 2009)、牛膝菊 (*Galinsoga parviflora*) (齐淑艳等, 2006) 和钻形紫菀 (*Aster subulatus*) (潘玉梅等, 2010) 等表现出这一现象。本研究结果显示, 大狼把草种群根、茎、叶、花序各构件生物量变异系数较大, 其最大值和最小值之间的比值分别为 428.88、476.45、267.75 和 330.91, 根、茎、叶和花序生物量分配比例最大值和最小值之间的比值分别为 15.92、1.89、6.93 和 4.53。表明大狼把草种群个体具有较大的表型可塑性, 增加了该种群的生态幅和耐受性, 有利于其适应新的生境, 增强了其入侵能力。

本文统计分析结果表明, 大狼把草种群根、茎、叶和花序生物量分配比例表现为根 > 叶 > 花序 > 茎, 变异系数相对较小, 表明在各构件生物量分配比

表 3 大狼把草各构件生物量间关系模型

Table 3 Correlation models between different modules of *Bidens frondosa*

项目 Item	生物量 Biomass (g)	拟合方程 Stimulation equation	$R^2$
根生物量 Biomass of roots	茎生物量	$y = 0.183x + 0.092$	0.473
		$y = 0.631e^{0.056x}$	0.566
		$y = 0.208x^{0.9247}$	0.877
茎生物量 Biomass of stems	叶生物量	$y = 1.158x - 0.214$	0.306
		$y = 0.456e^{0.463x}$	0.632
		$y = 0.9599x^{0.8204}$	0.7234
花序生物量 Biomass of capitula	根生物量	$y = 6.452x - 1.976$	0.678
		$y = 2.384e^{0.495x}$	0.712
		$y = 5.2013x^{0.905}$	0.8584
茎生物量	根生物量	$y = 0.869x + 2.491$	0.376
		$y = 1.952e^{0.140x}$	0.273
		$y = 2.276x^{0.8416}$	0.7533
	叶生物量	$y = 0.351x + 0.368$	0.862
		$y = 1.441e^{0.053x}$	0.553
		$y = 0.4819x^{0.8995}$	0.8825
叶生物量	$y = 2.549x - 0.909$	0.738	
	$y = 0.993e^{0.472x}$	0.704	
	$y = 2.1013x^{0.8298}$	0.829	

例上具有相对的稳定性。同时, 生殖器官与营养器官生物量的比值为 0.30, 表明该种群在生物资源分配上、在营养器官方面投入了更高的比例, 有利于有

机物质的增加和积累,保证了种群营养生长和生殖生长的物质需求。大狼把草以种子繁殖为主,其花序生物量分配的比例为 22.68%,远远高于外来入侵植物小飞蓬(9.85%)(潘玉梅等,2009)和牛膝菊(9.27%)(齐淑艳等,2006)花序生物量分配的比例,却与钻形紫菀(潘玉梅等,2010)的相近。这一差异可能与 4 个物种的自身生物学特性有关,大狼把草的花序比牛膝菊和小飞蓬的花序大,同时大狼把草所产生的瘦果也远远大于后两者的。同时,在生殖器官生物量方面的大量投入使得入侵植物能够获得

大量的种子,更快更多地繁殖后代,占据多样生境,排挤其它植物,大大提高了其入侵能力(Daws 等,2007)。在后续的观察中发现,大狼把草每株平均可产生 112.65 个果序,而每个果序平均可产生 35.45 个瘦果,可产生近 4 000 粒种子。且大狼把草果序中心部位和外围部分的瘦果形态存在差异,两种形态的瘦果在休眠和萌发特性方面也存在差异,中心部位瘦果的形态更有利于动物的携带传播,较深的休眠和缓慢的萌发特性有利于其避开在新的不利环境条件下的萌发危险,而外围瘦果较浅的休眠和快

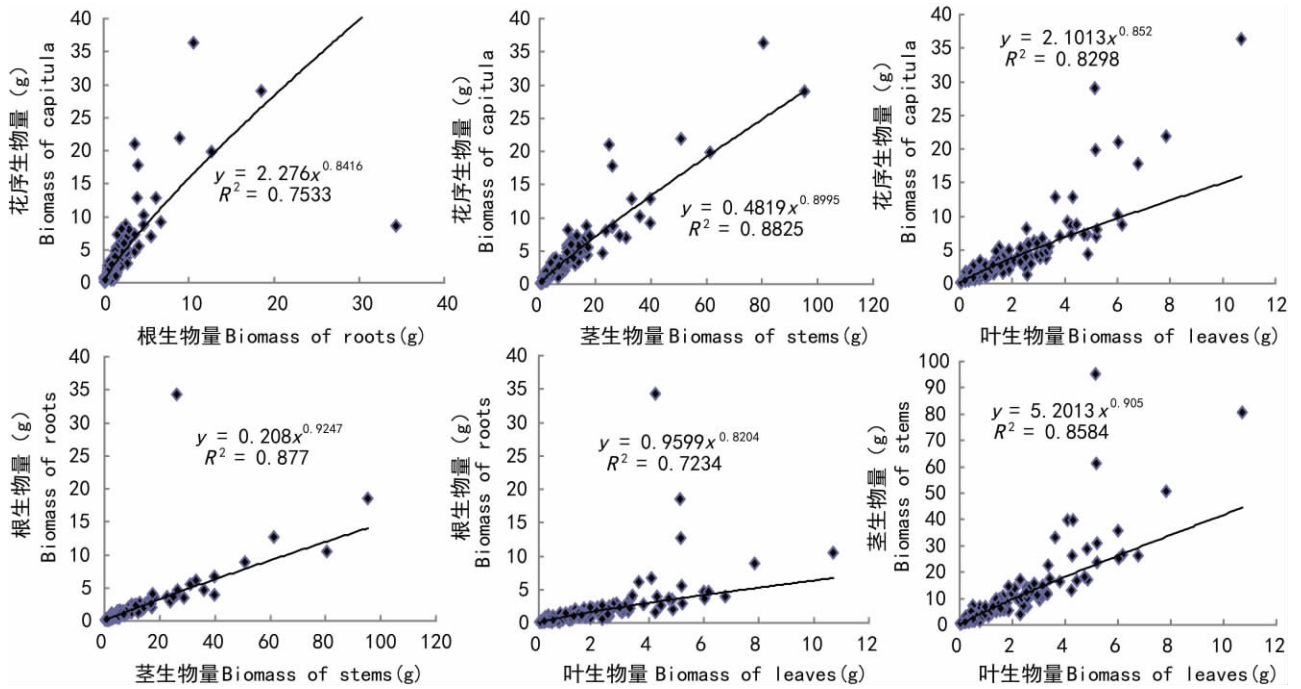


图 2 大狼把草种群各构件生物量间的关系

Fig.2 Relationships between biomass of different structures of *Bidens frondosa* population

速萌发特性有利于其在母株附近区域的繁殖,这种特性增强了其对环境的适应性和种子的散布力(Brandel,2004)。

植株高度是植物体生长状况的重要量度,其与植物的寿命、种子产量和成熟时间、获得光照等密切相关(Moles 等,2009)。相关性检验和回归分析显示,大狼把草植株高度随着根、茎、叶及花序生物量的增加呈幂函数形式增加,这种现象表明其存在异速生长。各构件生物量对植株高度的制约作用规律表现为茎>根>花序>叶,说明茎和根的生物量对植株高度起决定作用。植株通过高度优势优先获得生长所需光能,通过根的优势获得生长所需的营养物质。在资源受限的生境中,株高和各构件生物量

间的关系对植物生长调节尤为重要(Hermans 等,2006)。在本研究样地中,大狼把草株高显著高于本地草本的高度,这极大地增强了其获取光能的优势,提高了其竞争力。大狼把草种群根生物量随茎生物量和叶生物量呈幂函数形式增加,茎生物量也随叶生物量呈幂函数形式增加,且茎、叶生物量对根生物量的影响制约程度表现为茎>叶。其营养器官与生殖器官花间也存在极显著的正相关,根、茎、叶生物量对花序生物量影响制约程度表现为茎>叶>根。这些特性表明该种群各构件生物量之间在结构和功能上呈相互依存和制约的关系,存在着内部协调作用,提高了其对环境的适应能力。因此增强了其入侵性。

实际上,植物种群构件生物量结构特征除受其自身的生物学特性影响外,还受外界环境因素比如光照(姜立志等,2010; Toledo-Aceves 等,2008)、营养(Feng 等,2007; Gurevitch 等,2008)和水分(Richards 等,2011)等的影响。大狼把草已成功入侵到不同生境,对不同环境条件具极强的适应性。进一步深入探讨环境因素对其生物量结构特征的影响,深入揭示其入侵机制,将是下一步研究的重点。

## 参考文献:

- 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
- Brandao MGL, Kretzli AU, Soares LSR, et al. 1997. Antimalarial activity of extracts and fractions from *Bidens pilosa* and other *Bidens* species(Asteraceae) correlated with the presence of acetylene and flavonoid compounds[J]. *J Ethnopharm*, **57**:131-138
- Brandel M. 2004. Dormancy and germination of heteromorphic achenes of *Bidens frondosa*[J]. *Flora*, **199**:228-233
- Daws MI, Hall J, Flynn S, et al. 2007. Do invasive species have bigger seeds? Evidence from intra- and inter-specific comparisons [J]. *S Afr J Bot*, **73**:138-143
- Didham RK, Tylianakis JM, Hutchison MA, et al. 2005. Are invasive species the drivers of ecological change[J]. *Trends Ecol Evol*, **20**(9):470-474
- Feng YL, Wang JF, Sang WG. 2007. Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels[J]. *Acta Oecol*, **31**:40-47
- Gurevitch J, Howard TG, Ashton IW, et al. 2008. Effects of experimental manipulation of light and nutrients on establishment of seedlings of native and invasive woody species in Long Island, NY forests[J]. *Biol Invas*, **10**:821-831
- Gurevitch J, Padilla DK. 2004. Are invasive species a major cause of extinctions[J]. *Trends Ecol Evol*, **19**(9):470-474
- He JF(何锦峰). 2008. Advance in studies on invasion mechanisms of exotic plants(外来植物入侵机制研究进展与展望)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), **14**(6):863-870
- Hermans C, Hammond JP, White PJ, et al. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation[J]. *Trends Plant Sci*, **11**(12):610-617
- 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 biomass allocation of an invasive weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb(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):101-107
- Liu LC(刘龙昌), Fan WJ(范伟杰), Dong LM(董雷鸣), et al. 2012. Module biomass structure and seed germination traits of the exotic invasive plant *Gaura parviflora*(入侵植物小花山桃草种群构件生物量结构及种子萌发特征)[J]. *Guihaia*(广西植物), **32**(1):69-76
- Moles AT, Warton DI, Warman L, et al. 2009. Global patterns in plant height[J]. *J Ecol*, **97**:923-932
- Pan YM(潘玉梅), Tang SC(唐赛春), Cen YX(岑艳喜), et al. 2010. Biomass allocation on the modules of *Aster subulatus* Michx. population at flowering stage(钻形紫菀开花期种群构件的生物量分配)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), **18**(2):176-181
- Pan YM(潘玉梅), Tang SC(唐赛春), Pu GZ(蒲高忠), et al. 2009. Module biomass structure of the alien invasive plant *Conyza canadensis*(外来入侵植物小飞蓬种群构件生物量结构特征)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(4):476-480
- Prentis PJ, Wilson JR, Dormontt EE, et al. 2008. Adaptive evolution in invasive species[J]. *Trends Plant Sci*, **13**(6):288-294
- Pu GZ(蒲高忠), Tang SC(唐赛春), Pan YM(潘玉梅), et al. 2010. Phenotypic plasticity and modular biomass of invasive *Parthenium hysterophorus* in different habitats in south China(入侵植物银胶菊在不同生境下表型可塑性和构件生物量)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(5):641-646
- Qi YS(齐淑艳), Xu WD(徐文铎), Wen Y(文言). 2006. Biomass structure of exotic invasive plant *Galinsoga parviflora*(外来入侵植物牛膝菊种群构件生物量结构)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **17**(12):2283-2286
- Richards JH, Troxler TG, Lee DW, et al. 2011. Experimental determination of effects of water depth on *Nymphaea odorata* growth, morphology and biomass allocation[J]. *Aquat Bot*, **95**:9-16
- Stevens KJ, Kim SY, Adhikari S, et al. 2009. Effects of triclosan on seed germination and seedling development of three wetland plants: *Sesbania herbacea*, *Eclipta prostrata*, and *Bidens frondosa*[J]. *Environ Toxicol Chem*, **28**(12):2598-2609
- Sultan SE. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation[J]. *Acta Bot Neerlandica*, **44**:363-383
- Sumberová K, Tzonev R, Vladimirov V. 2004. *Bidens frondosa* (Asteraceae)—a new alien species for the Bulgarian flora[J]. *Phytol Balcan*, **10**(2-3):179-181
- Toledo-Aceves T, Swaine MD. 2008. Biomass allocation and photosynthetic responses of lianas and pioneer tree seedlings to light [J]. *Acta Oecol*, **34**:38-49
- Zhang CY(张彩莹), Wang YY(王妍艳), Wang Y(王岩). 2011. Removal effects of *Bidens frondosa* on pollutants in swine wastewater(大狼把草对猪场废水中污染物的净化效果)[J]. *Trans CSAE*(农业工程学报), **27**(4):264-269
- Zhao J(赵健), Wang CG(王春根). 1999. Experimental study on Dalangbaocao in stopping diarrhea(大狼把草止泻作用的实验研究)[J]. *J Nanjing Univ TCM*(南京中医药大学学报), **15**(5):299-300