

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.01.015

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

刘龙昌¹, 范伟杰¹, 董雷鸣², 玉山江·艾尼³

(1. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003; 2. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 3. 新疆林业学校, 乌鲁木齐 830001)

摘要: 通过野外设置样方调查和室内萌发试验, 研究小花山桃草种群各构件生物量的结构特征和它们之间的关系模型、繁殖分配以及种子萌发特点。结果表明: (1) 小花山桃草根、茎、叶、花(果)序生物量与植株高度之间以及各构件生物量之间均呈正相关关系, 可用幂函数模型或线性函数模型较好地表达; (2) 各构件生物量在个体生物量中所占的比率表现为茎>花序>叶>根; (3) 小花山桃草的繁殖投入和繁殖分配都随植株个体的增大而增加; (4) 小花山桃草个体大小和繁殖投入之间为线性关系, 而个体大小和繁殖分配之间为幂函数关系; (5) 小花山桃草存在一个较小的繁殖阈值(0.6043 g); (6) 小花山桃草种子在有光照(12 h)和黑暗条件下发芽率均可达到85%以上; 未经贮藏的种子不萌发, 低温沙藏(1~2 °C)和室温干藏(14~32 °C)一个月种子萌发率分别可达92.5%和79%; 低温沙藏时种子即可发芽, 且发芽率可达61%。在研究地区, 小花山桃草几乎整个生长季都可萌发, 甚至初冬还有幼苗产生。小花山桃草构件生物量结构和繁殖分配特征、种子萌发特点等都有助于其入侵能力的提高, 是其成功入侵我国的重要原因。

关键词: 小花山桃草; 外来入侵物种; 构件生物量; 繁殖分配; 种子萌发

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2012)01-0069-08

Module biomass structure and seed germination traits of the exotic invasive plant *Gaura parviflora*

LIU Long-Chang¹, FAN Wei-Jie¹,
DONG Lei-Ming¹, Yushanjiang · AINI³

(1. Forestry College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, China; 3. Xinjiang Forestry School, Urumqi 830011, China)

Abstract: *Gaura parviflora* is native to the North America, but it has now become one of the main exotic invasive plants in China. Through field investigations and the seed germination experiments in the laboratory, the biomass structure traits, the correlation models among different modules, the reproductive allocation and the seed germination traits of *G. parviflora* population were studied. The results showed that: (1) The biomass of root, stem, leaf and capitulum (and fruit) of *G. parviflora* had remarkable positive correlations with plant height, and the biomass of each module also had remarkable positive correlation, which could be described respectively by power function or linear function; (2) The biomass proportion of each module to the whole plant decreased in the sequence of stem, capitulum (and fruit), leaf, root; (3) The reproductive investment and reproductive allocation increased as the individual size in-

收稿日期: 2011-05-28 修回日期: 2011-08-05

基金项目: 河南省教育厅科学研究基金(2010B210004); 河南科技大学科学研究基金(2007ZY025)[Supported by Science Foundation of Henan Educational Committee(2010B210004); Science Foundation of Henan University of Science and Technology(2007ZY025)]

作者简介: 刘龙昌(1968-), 男, 山东菏泽人, 博士, 副教授, 主要从事植物学研究, (E-mail) liulch91@yahoo.com.cn; snowliu@126.com。

creased; (4) A linear function relationship was found between the individual size and reproductive investment whereas a power function relationship between the individual size and reproductive allocation was detected; (5) Reproductive threshold in this plant was comparably small (0.6043 g); (6) The seed of *G. parviflora* was non-photoblastic. Its seed germination percentage was more than 85% both under 12 h light or continuous dark condition. The seed germination rate reached 79% and 92.5% respectively in seeds stored for 45 d at ambient temperature (14–32 °C) and seeds stored for 45 d at cold stratification (1–2 °C) while the seed germination did not occur without being stored. In the natural habitat in Luoyang, seedling of *G. parviflora* emerge almost during the growing season, even in the early winter. It was concluded that the traits of module biomass structure and reproductive allocation, seed germination all facilitated its invasions.

Key words: *Gaura parviflora*; exotic invasive plant; module biomass; reproductive allocation; seed germination

小花山桃草 (*Gaura parviflora*) 是柳叶菜科山桃草属的一年生或越年生草本植物, 原产北美。作为牧草于解放初期引入我国, 现分布于河南、河北、山东、安徽、江苏、湖北、福建、浙江等省 (裴鉴等, 1959; Chen 等, 2007), 已逸为杂草。该植物生长快, 植株高大, 结实量大, 繁殖和扩散能力强, 适应性广泛, 可生活在路边、山坡、田埂, 甚至在碱涝薄地上也能生长, 繁殖迅速, 是危害性较大的外来入侵植物之一 (杜卫兵等, 2003)。作为全球变化的一个重要组成部分, 生物入侵被认为是当前最棘手的三大环境问题之一 (Vitousek 等, 1996; Sala 等, 2000)。外来物种的成功入侵, 常常直接或间接地降低被入侵地的生物多样性, 改变当地生态系统的结构与功能, 并最终导致生态系统的退化与生态系统功能和服务的丧失 (Mckinney & Lockwood, 1999; 郭连金等, 2009), 严重威胁区域生态安全, 也给全球的环境、经济甚至人类健康造成巨大的损失 (Pimentel 等, 2000; Curnutt, 2000)。关于外来入侵种成功定居的机制还不清楚, 最适防御假说认为, 植物有限资源的生物量分配在维持、存活、生长、贮存、繁殖和防御之间存在着权衡关系, 外来种的侵入扩张是生物量分配方式转变的结果 (Blossey & Nötzold, 1995)。天敌释放假说也认为, 外来入侵植物在入侵地由于天敌逃避效应, 将会在生长、维持和繁殖之间的资源分配上产生适应性调整 (Thébaud & Simberloff, 2001), 这种适应性调整为其成功入侵提供了可能。近年来一些学者将植物种群构件理论和繁殖分配策略理论引用到植物入侵生态学的研究中, 作为研究外来入侵植物入侵特性的有效方法之一 (齐淑艳等, 2006; 潘玉梅等, 2009)。但有关小花山桃草种群构件生物量和种子萌发特征等方面的研究尚未见报道。本文研究了小花山桃草在生殖生长高峰期种群构件生物量间的关系及其种子萌发特征, 为深入了

解小花山桃草入侵机理及其有效防治提供基础。

1 研究地点与研究方法

1.1 自然概况

研究地点位于河南省洛阳市伊川县彭婆镇 (112°29'30" E, 34°28'54" N), 研究区属暖温带大陆性季风气候, 气候温和, 四季分明。年均气温 14.5 °C, 1 月平均温度 -2.51 °C。7 月平均温度 25.8 °C; 年平均日照 2 327 h, 无霜期 210 d, ≥ 5 °C 积温平均为 5 352 °C; 平均降雨量 659 mm, 且分布不均, 夏季 (7、8 月份降水最多) 降雨量占全年降雨量的 46.9%; 土壤为潮褐土。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 2009 年 7 月上中旬, 于小花山桃草开花结果盛期, 在全面踏查基础上, 选取有代表性的小花山桃草优势群落, 设立 3 个样地。小花山桃草群落的伴生种有野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*)、荠菜 (*Capsella bursa-pastoris*)、小苦苣 (*Ixeridium dentatum*)、苍耳 (*Xanthium sibiricum*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、早熟禾 (*Poa annua*)、野燕麦 (*Avena fatua*) 和马唐 (*Digitaria sanguinalis*)。各样地分别随机选取 102、102 和 114 个样株, 将其根系全部挖出连其土坨带回实验室, 用水浸泡去掉根部泥土, 冲洗干净后, 仔细将其他伴生植物的根系清除, 然后测量每个样株的株高, 将每样株的根、茎、叶、花 (果) 序分开, 分别装袋, 在 80 °C 恒温下烘至恒质量 (蒲高忠等, 2010), 用 1/10000 电子天平逐株逐项称量。

1.2.2 室内外种子萌发 选取河南科技大学周山校区操场边荒地小花山桃草种群为研究样地 (自然条件同伊川县彭婆镇), 观测其种子在室外的萌发情况, 观测时间为 2008~2009 年 (两个自然年度)。用

于室内萌发实验的种子于 2009 年 7~8 月采自河南科技大学周山校区操场边种群, 实验于同年 8~12 月进行, 挑选饱满种子, 用 0.5% H_2O_2 消毒后用无菌水冲洗 5 次, 用蒸馏水浸泡 24 h 后放在直径 10 cm、垫有两层滤纸的培养皿中进行实验, 每个处理 50 粒种子(除不同储藏方法实验外, 均采用低温沙藏的种子)。每天补充 1~3 mL 蒸馏水, 以维持适宜的湿度。实验在人工智能培养箱进行, 培养条件为有光照时间(12 h)或无光照(黑暗), 光照强度 $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。每个处理水平均设 4 个重复。除了检测温度对种子萌发的影响外, 其余实验都在 25°C 下进行; 除了检测光照对种子萌发的影响实验外, 其余实验均在黑暗条件下进行。光照分为持续黑暗处理(在培养皿外层包裹 2 层锡箔纸)和正常光照($250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)12 h 处理; 种子贮藏分为未经储藏(采后直接萌发实验)、室温干藏(8~12 月份的温度为 $14\sim 32^\circ\text{C}$)和冰箱冷藏室沙藏($1\sim 2^\circ\text{C}$)三种情况, 贮藏时间为 45 d。

1.2.3 数据处理 本研究的个体大小用全株生物量表示, 繁殖投入用花(果)序生物量表示; 繁殖分配用花(果)序生物量/全株生物量计算。发芽试验以胚根露出种皮 5 mm 作为萌发的标志, 实验末期连续 15 d 无种子发芽, 发芽试验即结束。萌发率% = 发芽试验终期全部发芽种子数/试验种子数 $\times 100$, 用平均值 \pm 标准差表示。将全部测定的数据进行统计分析, 对各构件生物量之间关系建立定量化描述模型(郭水良和盛海燕, 2002; 杨允菲和李建东, 2003), 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, 其相关性最高者为其描述模型。采用 SPSS13.0 数据统计软件包进行显著性检验和回归分析, 用 Excel2003 作图。种子发芽试验, 采用 SPSS13.0 软件包进行单因素方差(One Way ANOVA)分析和多重比较(LSD)。

2 结果与分析

2.1 小花山桃草种群各构件数量特征

从表 1 可知, 小花山桃草植株最高的为 182.3 cm, 最低的为 35.5 cm, 株高的变异系数为 151.227%; 茎、花(果)序、叶、根生物量的变异系数分别为 142.001%、153.618%、142.953% 和 144.023%; 根、茎、叶、花(果)序、营养器官和单株平

均干物质量的观测值分别是最大观测值的最小观测值的 408、508、628、2517、445 和 443 倍; 根、茎、叶和花(果)序干物质量占个体总生物量百分比的最大观测值分别是最大观测值的最小观测值的 40、15、17 和 41 倍。表明在同一种群中小花山桃草生长的不整齐性, 可同时出现处在营养生长期、花果期等不同发育阶段的植株。与其它外来入侵植物如牛膝菊、小飞蓬(齐淑艳等, 2006; 潘玉梅等, 2009)相似, 小花山桃草可在一个生长期内完成开花结实、传播种子以及萌发幼苗。通过这种生长繁殖方式, 小花山桃草在短时间内大量繁殖后代、扩大种群, 逐渐在入侵地占有绝对优势。

根、茎、叶、花(果)序生物量占个体总生物量的比率大小为茎 > 花(果)序 > 叶 > 根, 其变异系数均较小, 说明各构件干物质分配比例具有稳定性, 也说明小花山桃草在生长中具有自我调节的资源分配策略, 这与其它外来入侵植物的分株生物量分配特征相似(齐淑艳等, 2006; 潘玉梅等, 2009)。而各构件分配比率的变异系数大小表现为花(果) > 根 > 叶 > 茎, 茎和叶的干物质分配比例比其它构件分配比例更稳定, 说明支持构件茎和光合构件叶在植株生长过程中的重要性。

2.2 小花山桃草种群植株高度与根、茎、叶和花(果)序生物量的关系

经相关性检验和回归分析表明, 小花山桃草株高与根、茎、叶和花(果)序均呈极显著的正相关关系($P < 0.01$)。由 R^2 可知, 在直线函数、幂函数和指数函数中, 最佳模型是幂函数模型, 小花山桃草种群植株高度与根、茎、叶和花(果)序生物量的关系均可用此模型较好的表达(图 1)。b 值可以反映出根、茎、叶、花(果)序生物量对株高的制约程度, 小花山桃草植株高度与根、茎、叶、花(果)序生物量之间关系模型的 b 值分别为 0.177、0.191、0.173、0.138, 由此可见, 小花山桃草种群各构件生物量对植株高度的制约规律表现为茎 > 根 > 叶 > 花序(图 1)。茎对植株高度的制约程度最大, 也体现了在植株生长过程中, 茎所起的重要作用。

2.3 小花山桃草种群各构件生物量之间的关系

小花山桃草各营养器官之间存在着极显著的正相关关系($P < 0.01$)(图 2)。根生物量随茎、叶生物量呈幂函数增加, b 值分别为 0.9566 和 0.9209, 茎、叶生物量对根生物量的制约程度为: 茎 > 叶; 根生物量随地上部分营养器官(茎和叶)生物量呈现幂函数模型增加的形式, 其 b 值为 0.9774; 叶生物量随着

茎生物量呈线性函数形式增加,其最佳拟合曲线见图2。根、茎、叶间的定量关系模型反映出了植物个

体营养器官之间在结构与功能上的相互依存、相互协调、相互影响的密切关系。

表1 小花山桃草种群各构件数量特征

Table 1 Quantitative characteristics of different modules in *Gaura parviflora* population ($n=318$)

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)	15.490	0.038	1.581±2.277	144.023
茎生物量 Biomass of stems (g)	68.016	0.134	7.576±10.758	142.001
叶生物量 Biomass of leaves (g)	15.080	0.024	1.646±2.353	142.953
营养器官生物量 Biomass of vegetative organs (g)	90.239	0.203	10.802±15.189	140.613
花(果)序生物量 Biomass of capitulum and fruits (g)	22.651	0.009	2.128±3.269	153.618
总生物量 Biomass of plant (g)	112.890	0.255	12.930±18.332	141.773
植株高 Height of plant (cm)	182.3	35.5	106.217±26.968	151.227
根生物量分配 Allocation of roots biomass (%)	74.03	1.86	12.62±5.16	40.69
茎生物量分配 Allocation of stems biomass (%)	81.20	5.44	59.38±8.34	14.05
叶生物量分配 Allocation of leaves biomass (%)	30.10	1.78	12.76±3.27	25.63
营养器官生物量分配 Allocation of vegetative organs biomass (%)	98.89	61.19	84.74±6.22	7.34
花(果)序生物量分配 Allocation of capitulum and fruits biomass (%)	38.98	0.95	15.24±6.23	40.88

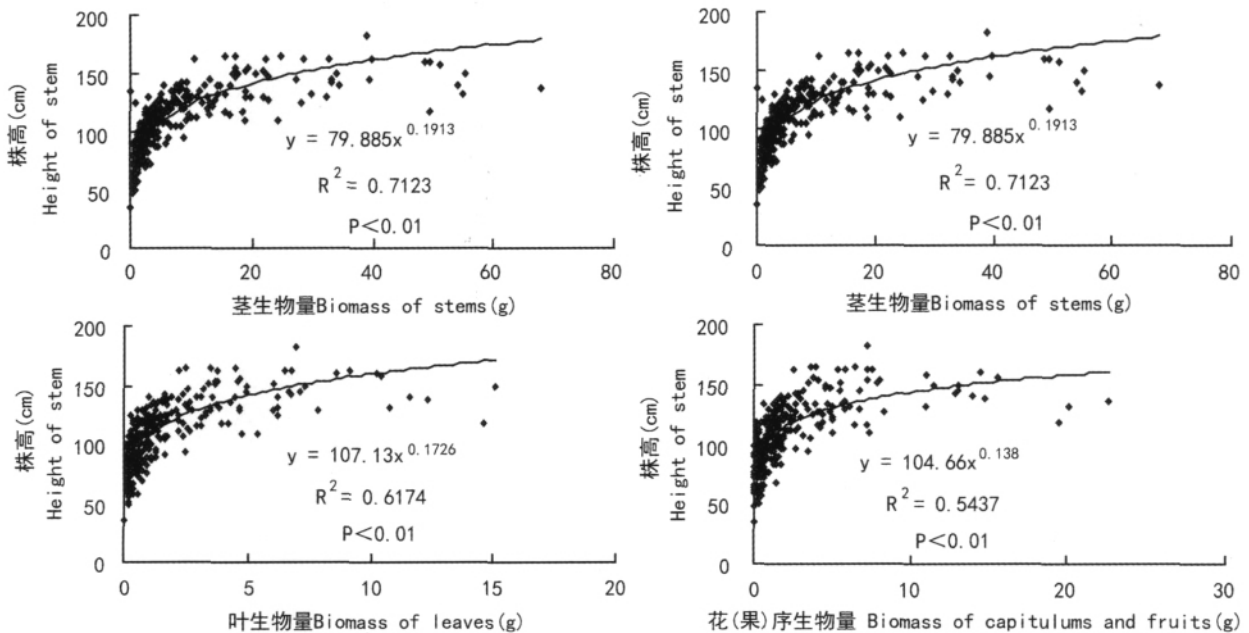


图1 小花山桃草植株高度与根、茎、叶、花(果)序生物量的关系

Fig. 1 Relationships between height and biomasses of roots, stems, leaves, capitulum and fruits of *Gaura parviflora*

小花山桃草营养器官与生殖器官之间也存在极显著的正相关关系($P < 0.01$),表现为花(果)序生物量随着根、茎、和叶的增加而增加,可用幂函数模型或线性函数模型表达(图3)。对花(果)序生物量和根系生物量间的幂函数关系进行线性转换后的线性函数模型为 $y = -0.682 + 1.0902x$ 。此时,花(果)序生物量与茎、叶和根之间线性关系模型的 b 值分别为 0.2897、1.2924 和 1.0902,据此可知茎、个体大小与繁殖投入呈极显著的正相关关系($P <$

叶、根构件生物量对花(果)序的制约程度为:叶 $>$ 根 $>$ 茎。

2.4 小花山桃草个体大小与繁殖的关系

通过回归分析可知,线性函数模型($y = 0.1726x - 0.1043, R^2 = 0.9373, P < 0.01$)是小花山桃草个体大小和繁殖投入之间的最适关系模型。繁殖投入与个体大小的线性回归分析表明(图4:A),小花山桃草的繁殖投入随着个体大小的增加而增加, $P < 0.01$,即植物个体越大,对繁殖的绝对投入越高。

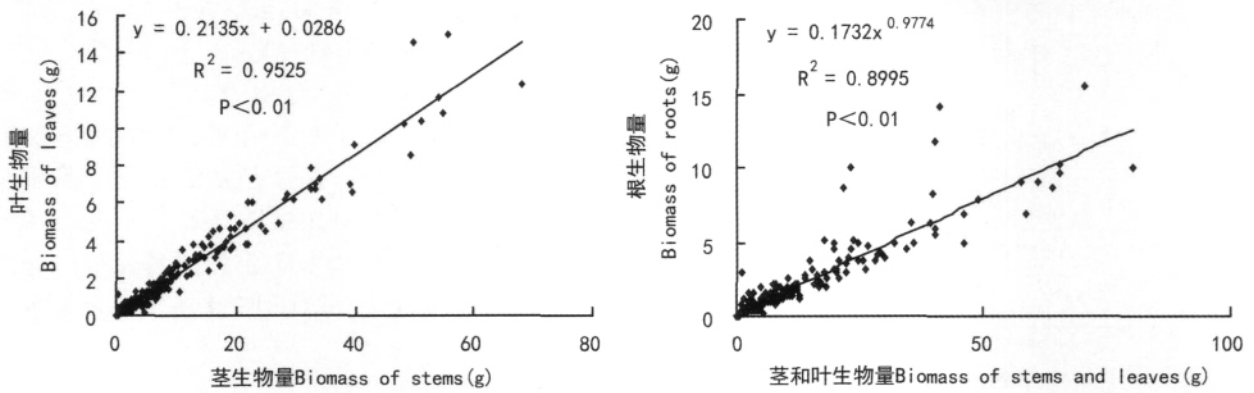


图 2 小花山桃草不同营养器官生物量的关系

Fig. 2 Relationships between different vegetative organs of *Gaura parviflora*

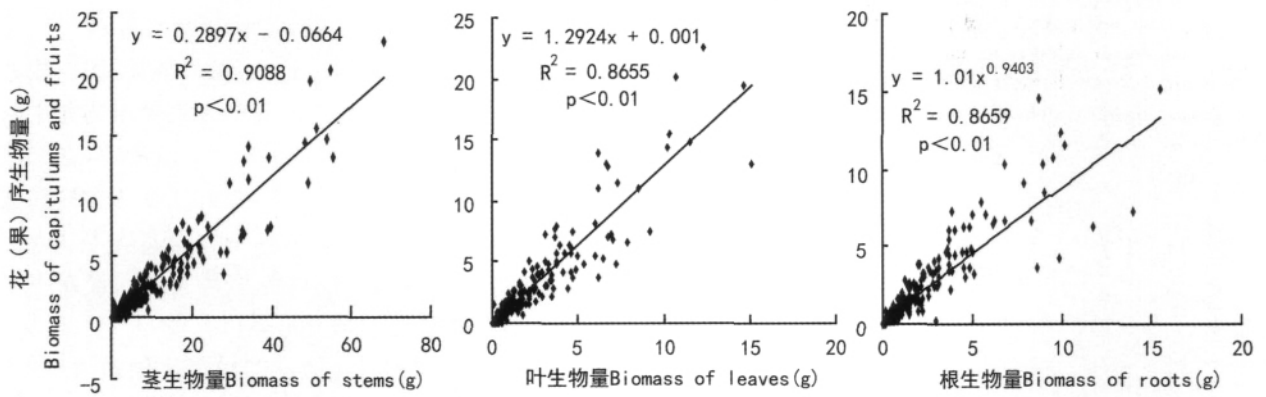


图 3 小花山桃草花(果)序生物量与茎、叶和根生物量的关系

Fig. 3 Relationships between capitulum(s and fruits) and biomasses of stems, leaves and roots of *Gaura parviflora*

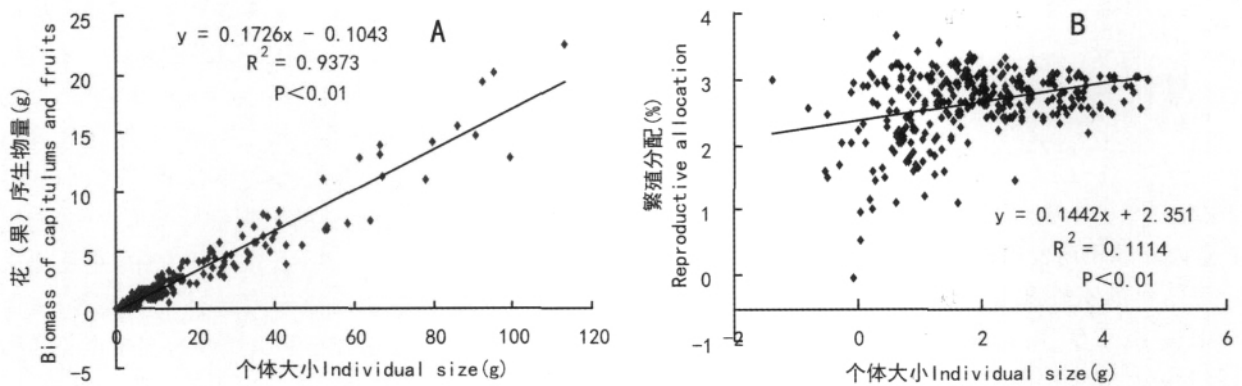


图 4 小花山桃草个体大小与繁殖投入、繁殖分配的回归关系

Fig. 4 Results of regression between reproductive investment, reproductive allocation and plant size of *Gaura parviflora*

B. 个体大小 X 和繁殖分配 Y 均进行了自然对数转化。

B. Both X and Y were ln-transformed.

较大个体具有较强的光合能力、较强的水分和养分获取能力,相应地,大个体可将更多的资源投入到繁殖器官中,具有更强的繁殖能力。

同理,幂函数模型 ($y = 10.496x^{0.1442}$, $R^2 =$

0.1114 , $P < 0.01$) 是小花山桃草个体大小和繁殖分配之间的最适关系模型。对其幂函数关系进行线性转换后可知,小花山桃草繁殖分配随个体大小的增大而增加,个体大小与繁殖分配也呈正相关关系,但

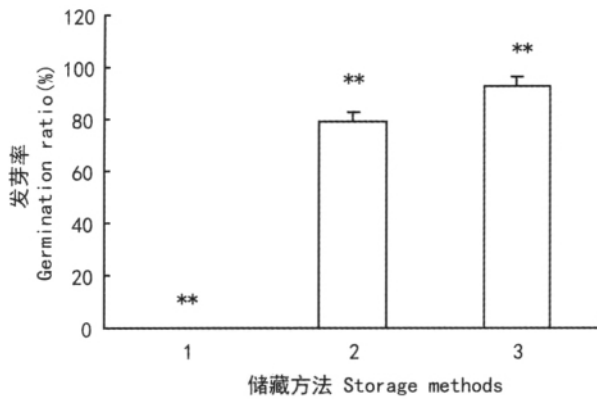


图5 贮藏方法对小花山桃草种子萌发的影响

Fig. 5 Effect of storage methods on the seed germination of *Gaura parviflora*

1. 未经贮藏; 2. 室温干藏; 3. 低温沙藏。

1. Not stored; 2. Stored at ambient temperature; 3. Cold stratification; ** showed significant difference at $P < 0.01$; * showed significant difference at $P < 0.05$; the same below.

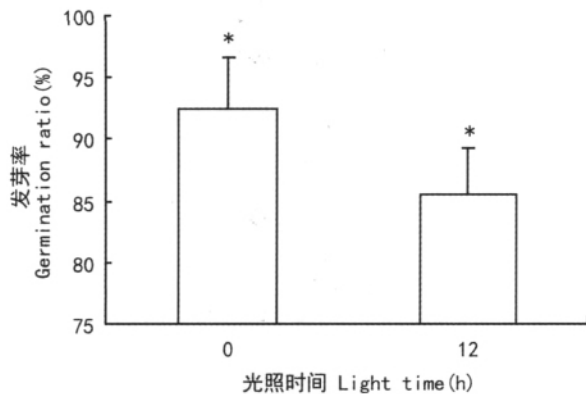


图6 光照对小花山桃草种子萌发的影响

Fig. 6 Effect of light on the seed germination of *Gaura parviflora*

相关性不强($R^2 = 0.1114$)(图4:B)。

2.5 室内外种子萌发情况

经两年的室外观测发现,小花山桃草种子几乎整个生长季(干旱、高温的6月份除外)都能不断萌发,其种子主要集中在秋季萌发,甚至到初冬(12月中下旬)还有幼苗产生。秋冬萌发的种子以莲座状幼苗越冬,翌年春季气温回升时迅速进入旺盛生长期,这些幼苗在4月下旬即可开花结果。春季和雨季(7月份)萌发的种子到9月份还能开花结实。这些特性极大地提高了其繁殖效率,有利于其种群的快速扩大。

小花山桃草种子需经过一段时间的贮藏才能萌发,室温干藏后发芽率为 79 ± 4.16 ,低温沙藏后发

芽率为 92.50 ± 4.12 (图1),说明其种子具有“后熟”特性。小花山桃草种子在有光照(12 h)和黑暗条件下均有很高的发芽率(分别为 92.50 ± 4.12 和 85.50 ± 3.79)(图2)。另外,小花山桃草种子在低温沙藏时(一个半月后)即可直接发芽,发芽率可达 $61 \pm 2.15\%$ 。结合室外观察结果可知,小花山桃草种子萌发需要的条件较为宽泛,这种特性是小花山桃草成功入侵新生境并能够快速扩张的重要原因。

3 结论与讨论

3.1 小花山桃草构件数量特征及其分配规律

小花山桃草种群各构件数量较大的变异性表明了其生长发育的不整齐性,这种特性与其种子萌发条件宽泛、萌发时期长,生长快,花果期长,发育成熟期短的特性紧密相关。与其它外来入侵植物如牛膝菊(*Galinsoga parviflora* plant)(齐淑艳等,2006)、小飞蓬(*Conyza canadensis*)(潘玉梅等,2009)和银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)(唐赛春等,2008)相似,这种生长繁殖特性可能是其成功入侵新生境和进一步扩大种群的适应策略。

小花山桃草在茎生物量的投资比例最大(平均为59.38%),且在茎投入资源的分配比例也最为稳定,这是植物种群生存竞争的需要。茎在植物个体的生长发育中起支撑和储存养分的作用,高大的植株有利于植物尽可能多地掠夺空间和光资源,从而在生存竞争中占据优势,增强入侵的能力。在植物生长发育过程中,茎和叶是个体所有结构中最重要两个营养器官,植物生长所需要的大部分营养物质都要靠这两个器官合成、储存和运输。所以,从种群角度来讲,这两个构件的生物量投入最大(齐淑艳等,2006;潘玉梅等,2009)。在本研究中,小花山桃草对花(果)序生物量的投入大于对叶的投入,主要是因为采样的时间正处小花山桃草的生殖生长高峰期,此时正处于小花山桃草叶生物量下降,花(果)序生物量快速增长的时期(杜卫兵等,2003)。同时,花(果)序生物量的投资比例大,也反映了其种子量大,繁殖能力强的特点,这为其大量、快速传播种子并成功入侵新生境提供了条件。

3.2 小花山桃草各构件生物量的关系

植物的生长和物质分配总是遵循着某种规律,常可用线性函数、幂函数和指数函数表达。当大样本取样时,往往以上几种规律同时有效(杨允菲等,

2006), 本研究也证实了这一点, 小花山桃草各功能构件间可以同时用线性函数和幂函数模型表达 ($n = 318, P < 0.01$)。选择其中相关系数最大的作为最优模型表达式, 研究表明, 小花山桃草各构件生物量之间可用线性函数或幂函数模型表达。如果把线性关系称为同速生长, 非线性关系称为异速生长(杨允菲等, 2006), 那么, 与入侵植物小飞蓬相似(潘玉梅等, 2009), 小花山桃草各构件生物量间既存在同速生长, 也存在异速生长, 表明在其生长过程中同时具有同速和异速生长的表型可塑性调节。外来入侵植物通过这种可塑性调节对各功能构件的生长和分配策略做出适应性调整以最大限度地保障其繁殖成效。

根、茎、叶、花(果)序生物量对株高的制约程度为茎 > 叶 > 根 > 花(果)序, 表明植株高度与茎质量的积累有着密切关系。对一年生植物来说, 在高度上占据优势, 对其成功入侵十分必要(潘玉梅等, 2009)。高大的茎有利于植株更多地接收光照, 促进光合作用, 储存干物质, 为大量产生种子奠定物质基础。其它各功能器官之间的制约程度关系, 如茎、叶生物量对根生物量的制约程度, 茎、叶、根构件生物量对花(果)序的影响制约程度等, 在已研究的几个外来入侵物种中未表现出一定的规律性(齐淑艳等, 2006; 潘玉梅等, 2009)。这可能是不同植物对新生境的适应策略不同造成的, 也可能与其生长环境有关, 如在干旱生境下, 为了获取更多水分以保证自身正常的生长繁育, 植物必然会加大对根系的投入, 这时根系就会相应成为其它功能构件的主要制约因子。

3.3 个体大小与花(果)期繁殖分配

个体大小与繁殖分配存在异速关系, 即植物个体越大, 繁殖投入越高, 而繁殖分配却越小(Zhang & Jiang, 2002; 赵方等, 2008; 苏梅等, 2009)。但也有些研究表明植物也存在不同于上述模式的繁殖分配特征, 即繁殖投入和繁殖分配都随植株个体的增大而增加(陈学林等, 2009; Weiner 等, 2009), 本研究进一步证明实了这一点。这种繁殖分配特征有利于外来入侵植物在新入侵地迅速扩大种群。

植物开花在营养器官生物量上存在一个最小值, 超出该临界值的生物量才用于繁殖(Weiner, 1988)。小花山桃草有性繁殖时也必须达到一定的个体大小(临界值为 0.6043 g)。但与其它非入侵植物如红花琉璃草(*Cynoglossum officinale*)(Renate 等, 1997)等相比, 小花山桃草的繁殖阈值要小的多,

它只需很少的营养物质积累就能够开花结实, 这可能是其成功入侵的另一个重要原因。植物个体大小和繁殖分配之间为线性关系, 植物个体大小和繁殖投入之间为幂函数关系(Sugiyama & Bazzaz, 1998)。而小花山桃草个体大小和繁殖分配之间为幂函数关系, 个体大小和繁殖投入之间为线性关系。这是否是外来入侵植物的一个重要生物学特征, 不仅需对更多入侵植物的繁殖分配特征进行比较研究, 更需要与原产地种群或本地近缘种的比较研究。

3.4 小花山桃草种子萌发特性

小花山桃草种子不仅在春季萌发, 在几乎整个生长季均可萌发, 且主要集中在秋季萌发。其中, 秋冬萌发的种子以莲座状幼苗越冬, 翌年春季迅速进入生长发育期(杜卫兵等, 2003)。与外来入侵植物黄顶菊(*Flaveria bidentis*)(张风娟等, 2009)和裂叶月见草(*Oenothera laciniata*)一样, 这种先于其它植物萌发生长的特点, 保证了其种群的优先建立, 可能是这些植物成功入侵的一种机制。小花山桃草种子具有休眠特性, 其种子在多种条件下均可萌发生长, 这些特点有助于其成功减少外界不良环境的干扰, 是很多外来植物成功入侵的原因之一(Baker, 1974)。

参考文献:

- 裴鉴, 单人骅, 周太炎, 等. 1959. 江苏南部种子植物手册[M]. 北京: 科学出版社: 295
- Baker HG. 1974. The evolution of weeds[J]. *Annu Rev Ecol Evol S*, 7: 1-24
- Blossey B, Nötzold R. 1995. Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis[J]. *J Ecol*, 83: 887-889
- Chen JR, Peter CH, Peter HR, et al. 2007. Onagraceae[M]//Wu ZY, Raven PH, Hong DY(eds). Flora of China. Beijing: Science Press, 13: 427
- Chen L(陈学林), Liang Y(梁艳), Qi W(齐威), et al. 2009. Studies on reproductive allocation, floral size and its trade-off with floral number of annual *Gentiana*(一年生龙胆属植物的繁殖分配及其花大小、数量的权衡关系研究)[J]. *Acta Pratacult Sin*(草业学报), 18(5): 58-66
- Curnutt JL. 2000. Host-area specific climatic-match-ing; similarity breeds exotics[J]. *Biol Conserv*, 94: 341-351
- Du WB(杜卫兵), Ye YZ(叶永忠), Peng SL(彭少麟). 2003. Study on the seasonal growing dynamics and invasive characteristics of *Gaura parviflora*(小花山桃草季节生长动态及入侵特性)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 23(8): 1679-1684
- Guo LJ(郭连金), Xu WH(徐卫红), Sun HL(孙海玲), et al. 2009. Impacts of the invasion of *Alternanthera philoxeroides* on the species composition and diversity of native vegetation community(空心莲子草入侵对乡土植物群落组成及植物多样性的影响)[J]. *Acta Pratacult Sci*(草业科学), 26(7): 137-142
- Liu JP(刘金平), Wang Y(王艳). 2009. Asexual reproduction

- component and its diversity of wild *Humulus scandens* in Nan-chong(南充地区野生葎草构件性状多样性分析)[J]. *Acta Pratacultural Sci*(草业科学), **26**(8):68—71
- Mckinney ML, Lockwood JL. 1999. Biotic homogenization; a few winners replacing many losers in the next mass extinction[J]. *Trends Ecol Evol*, **14**:451—453
- 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
- Pimentel D, Lach L, Zuniga R, et al. 2000. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States[J]. *Bioscience*, **50**(1):53—65
- 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 SY(齐淑艳), Xu WD(徐文铎), Wen Y(文言). 2006. Biomass structure of exotic invasive plant *Galinsona 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):2 283—2 286
- Wesselingh RA, Peter GL, et al. 1997. Threshold size for flowering in different habitats: effects of size-dependent growth and survival [J]. *Ecology*, **78**(7):2 118—2 132
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100[J]. *Science*, **287**(5459):1 770—1 774
- Su M(苏梅), Qi W(齐威), Yang M(阳敏), et al. 2009. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation of *Delphinium pylzowii* (Ranunculaceae) at east Qinhai Tibetan Plateau(青藏高原东部大通翠雀花的花特征和繁殖分配的海拔差异)[J]. *J Lanzhou Univ*(兰州大学学报), **45**(2):61—65
- Sugiyama S, Bazzaz FA. 1998. Size dependence of reproductive allocation: the influence of resource availability, competition and genetic identity[J]. *Funct Ecol*, **12**(2):280—288
- Sultan, SE. 1995. Phenotypic plasticity and plant adaptation[J]. *Acta Bot Neerl*(Special Jubilee Symposium Volume), **44**:363—383
- Tang SC(唐赛春), Lü SH(吕仕洪), He CX(何成新), et al. 2008. Distribution and harmful effects of alien invasive plant *Parthenium hysterophorus* in Guangxi(外来入侵植物银胶菊在广西的分布与危害)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(2):197—200
- Thébaud C, Simberloff D. 2001. Are plants really larger in their introduced ranges?[J]. *Am Nat*, **157**:231—236
- Vitousek PM, D'Antonio CM, Loope LL, et al. 1996. Biological invasions as global environmental change[J]. *Am Sci*, **84**:218—228
- Weiner J, Lesley GC, Joan P, et al. 2009. The allometry of reproduction within plant populations[J]. *J Ecol*, **97**(6):1 220—1 233
- Weiner J. 1988. The influence of competition on plant reproduction[M]//Lovett Donst J, L Lovett Donst(eds). *Plant reproductive ecology: Patterns and Strategies*[M]. New York:Oxford University Press:228—245
- Yang YF(杨允菲), Zhang BT(张宝田). 2006. Phenotype Plasticity and Regulations of Reproductive Modules on *Glycyrrhiza uralensis* Population in Meadow Habitat in Songnen Plain, China (松嫩平原草甸生境甘草种群生殖构件表型可塑性及变化规律)[J]. *Acta Pratacult Sin*(草业学报), **15**(2):14—20
- Yang YF(杨允菲), Li JD(李建东). 2003. Growth strategies of different age classes of ramets in *Kalimeris integrifolia* population at the Songnen Plains of China(松嫩平原全叶马兰种群不同龄级分株的生长策略)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(12):2 171—2 175
- Zhang DY, Jiang XH. 2002. Size-dependent resource allocation and sex allocation in herbaceous perennial plants[J]. *J Evol Biol*, **15**(1):74—83
- Zhang FJ(张凤娟), Li JQ(李继泉), Xu XY(徐兴友), et al. 2009. Influence of environmental factors on seed germination of *Flaveria bidentis* (环境因子对黄顶菊种子萌发的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **29**(4):1 947—1 953
- Zhao F(赵方), Yang YP(杨永平). 2008. Reproductive allocation in a dioecious perennial *Oxyria sinensis* (Polygonaceae) along altitudinal gradients(中华山蓼不同海拔居群的繁殖分配研究)[J]. *J Syst Evol*(植物分类学报), **46**(6):830—835



(上接第 142 页 Continue from page 142)

- and bioactive functionality of the Garlic polysaccharide(大蒜多糖的提取纯化及生物功能活性研究)[D]. Nan Chang Univ(南昌大学)
- Liu LH(刘丽华), Ma XJ(马小军), Sun JJ(孙晶晶), et al. 2009. Establishment and optimization of SRAP reaction system in *Siraitia grosvenorii* (罗汉果 SRAP 反应体系的建立与优化)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(6):894—898
- Priyadharshini R, Marimuthu J, Moon HJ, et al. 2010. Antitumor activity of methyl polysaccharide derivatives[J]. *Bio Lett*, **32**:891—895
- Si JY(新建勇), Chen DH(陈迪华), Chen LG(沈连钢), et al. 1999. Chemical constituents of *Siraitia grosvenorii*——a special local product of Guangxi(广西特产植物罗汉果根的化学成分研究)[J]. *Acta Pharm Sin*(药学学报), **34**(12):918—920
- Wang J, Gong XG. 2001. Advances in the studies on the antitumor activity and immunomodulating action of polysaccharides [J]. *Chin J Bio Pharm*, **22**(1):52—54
- Wang YB(王永斌), Wang YX(王允祥). 2010. Antitumor effect and immune function of extracellular polysaccharide by *Pholiota squarrosa* AS 5. 245 in S180-bearing mice(翘鳞伞胞外多糖的抗肿瘤活性和对荷瘤小鼠免疫功能的影响)[J]. *Chin J Trop Crop*(热带作物学报), **31**(9):1 621—1 624
- Yang H(杨华), Li HM(李惠敏), Qin PS(覃屏生), et al. 2011. Transferring disease resistance gene *NPR1* into *Siraitia grosvenorii* (罗汉果转抗病基因 *NPR1* 的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **31**(2):250—254
- Zhang GQ(张更秋). 2004. The small files of *Momordica grosvenori* swingle(罗汉果小档案)[J]. *Food Sci*(饮食科学), **12**:29
- Zhang L(张玲), Huang YF(黄友防), Lu CN(陆春妮), et al. 2009(增刊). *Siraitia grosvenorii* polysaccharide separation extraction and immune pharmacological effects of preliminary studies(罗汉果多糖分离提取及免疫药理作用的初步研究)[J]. *Chin J Trad Veter Sci*(中兽医学杂志), 121—125