

# 土壤水分变化对外来入侵植物飞机草生长的影响

吴锦容<sup>1, 2</sup>, 赵厚本<sup>1, 2</sup>, 潘浣钰<sup>1, 2</sup>, 彭少麟<sup>1, 3\*</sup>

1. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650;

3. 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东 广州 510275

**摘要:** 以外来入侵植物飞机草为研究对象, 设计3个水分梯度(15 mm, 10 mm, 5.83 mm), 研究飞机草的叶绿素含量、生物量、光合生理特征等指标对土壤含水量变化的响应。结果表明, 随着土壤水分含量的降低, 飞机草的单位叶面积干质量、叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间CO<sub>2</sub>摩尔分数、光饱和点等都呈下降趋势。同时, 根冠比和水分利用率随着水分胁迫的加重而有所提高, 表明飞机草对土壤水分胁迫有一定的适应能力, 但总体而言, 土壤水分胁迫不利于飞机草的生长, 限制了其向降雨量较少的地区入侵。

**关键词:** 飞机草; 土壤水分变化; 生物量; 光合特征

**中图分类号:** Q948.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-2175 (2007) 03-0935-04

全球变化和生物多样性问题是世界关注的热点环境问题<sup>[1]</sup>。全球气候变化及温室效应使气候变暖, 干旱化加剧。由此引起的土壤水分变化将如何影响植物的生长, 引起了众多生态学家的兴趣<sup>[2,3]</sup>。王森等<sup>[2]</sup>根据气候变化趋势, 模拟降雨量减少的条件下, 长白山主要树种蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 对不同土壤水分处理的响应, 得出蒙古栎是干旱可变的植物, 长期水分胁迫可提高其耐旱能力。然而, 以往研究的对象主要集中在乡土植物, 较少涉及到土壤水分变化对外来入侵植物的影响。外来入侵物种往往具有较强的适应性, 破坏本地群落的结构和功能, 导致生物多样性的降低<sup>[4]</sup>。因此研究入侵植物对全球变化的响应, 对预测其分布, 控制其入侵有重要意义。

飞机草 (*Chromolaena odorata*) 是菊科泽兰属植物, 也是我国公布的第一批外来入侵物种之一<sup>[5]</sup>, 广泛分布于广东、广西、云南、贵州等地, 并有向四川等长江流域扩散的趋势。本文研究了不同土壤水分条件下飞机草的生物量和光合作用的变化, 以期在全球变化的环境背景下为飞机草的扩散和防治提供实验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料和水分处理

实验在中国科学院华南植物园的生态试验场进行。飞机草种子于2005年3月采自华南植物园, 6月播种于沙床中, 8月待幼苗植株高达10 cm左右时, 选择大小一致的幼苗移栽到直径30 cm, 高23 cm的花盆中, 每盆两株, 共15盆, 栽培基质为

野外飞机草群落的表层沙土。实验从9月25日开始到11月25日结束, 历时两个月。实验依据广东地区(亚热带季风常绿阔叶林), 四川长江流域(季雨林分布的北缘, 亚热带常绿阔叶林)和黄河流域华北平原(暖温带落叶阔叶林)的年均降雨量1800 mm, 1200 mm和700 mm, 设计了高, 中, 低三个水分梯度, 每隔两天浇一次水, 浇水量分别为15 mm (HW), 10 mm (MW), 5.83 mm (LW), 每个梯度有5个重复。每种浇水处理的总浇水次数相同, 均为20次。实验期间的平均气温为25.4 °C, 花盆上方两米处设透明塑料布以消除自然降雨的影响。

### 1.2 光合生理指标及生物量的测定

2005年11月26—29日选取晴朗天气, 采用LI-6400便携式光合仪(美国Li-Cor公司)测定植物叶片的净光合速率( $P_n$ )、呼吸速率( $R$ )、蒸腾速率( $E$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间CO<sub>2</sub>摩尔分数( $C_i$ )等指标。水分利用率( $WUE=P_n/E$ ), 表观CO<sub>2</sub>利用率( $f_{CO_2,UE}=P_n/C_i$ )由测得的光合参数计算得到。采用标准二次曲线方程( $Y=aX^2+bX+C$ ,  $X$ : 光合有效辐射强度,  $Y$ : 净光合速率 $P_n$ )拟合光合有效辐射与净光合速率间的关系, 获得光合-光响应曲线, 根据方程中的系数计算净光合速率的最大值 $P_{n-max}$  ( $P_{n-max}=c-b^2/4a$ )、光饱和点LSP ( $LSP=-b/2a$ )。每个处理选5株植物, 每株植物选取一个成熟叶片进行测定。

叶片剪成规则小片用80%丙酮提取叶绿素, 分光光度计测定其吸收率, 参照张志良<sup>[6]</sup>计算叶绿素含量。用LI-3000叶面积仪(美国Li-Cor公司)测

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(30670385); 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室开放课题(2005-05)

**作者简介:** 吴锦容(1981-), 女, 博士研究生, 主要从事恢复生态学、外来入侵植物的化感作用等研究。E-mail: wujinrong@scbg.ac.cn

\*通讯作者, E-mail: lsspsl@mail.sysu.edu.cn

**收稿日期:** 2007-03-16

得叶面积。叶片,地上部分,地下部分样品在 80 °C 烘箱内烘至恒质量,分别称取干质量。所得数据用 SPSS 11.5 for Windows 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分变化对飞机草叶片单位叶面积干重和叶绿素含量的影响

叶片是植物进行光合作用的重要场所。叶片的生长和叶绿素含量的变化对植物的光合作用有着直接的影响。从表 1 可以看出, MW 处理和 LW 处理的植株,单位叶面积干重比 HW 处理显著降低 ( $P < 0.05$ ),而 MW 处理和 LW 处理之间没有显著差异。叶绿素含量也以 HW 处理的植株最高,分别高出 MW 处理和 LW 处理 13.3% 和 37.8%。说明土壤水分的减少显著影响了飞机草叶片干物质的积累和叶绿素含量。其他研究表明,随着土壤水分的减少,单性木兰幼苗<sup>[3]</sup>,圆叶决明<sup>[7]</sup>,冬小麦<sup>[8]</sup>等植物的叶绿素含量也表现出下降趋势。

表 1 不同水分处理对飞机草单位叶面积干质量和叶绿素含量的影响  
Table 1 The effects of different soil water content on the leaf dry weight per unit area and chlorophyll content of *Chromolaena odorata*

处理	单位叶面积干质量/(g·cm <sup>-2</sup> )	叶绿素含量/(mg·g <sup>-1</sup> ) <sup>2)</sup>
HW	0.006 <sup>a1)</sup>	0.51±0.04 <sup>a</sup>
MW	0.005 <sup>b</sup>	0.45±0.03 <sup>ab</sup>
LW	0.005 <sup>b</sup>	0.37±0.05 <sup>b</sup>

1) 表中同列数据后的相同字母表示在 0.05 水平上经 Duncan 检验差异不显著; 2) 以鲜叶质量计算

### 2.2 土壤水分变化对飞机草生物量分配的影响

从表 2 可以看出,三种水分处理下,飞机草的总生物量以 HW 处理最高,高于 LW 处理 18.2%。其中,地上部分生物量 HW 处理显著高于 LW 处理 28.0%。随着土壤水分的减少,地下生物量与地上

表 2 不同水分处理对飞机草生物量和生物量分配的影响

Table 2 The effects of different soil water content on biomass and distribution of biomass of *Chromolaena odorata*

处理	总生物量/g	地上生物量/g	地下生物量/g	地下/地上
HW	21.33±1.43 <sup>a</sup>	13.70±0.89 <sup>a</sup>	7.63±0.61 <sup>a</sup>	0.56±0.03 <sup>a</sup>
MW	20.04±1.29 <sup>a</sup>	12.33±0.69 <sup>ab</sup>	7.72±0.82 <sup>a</sup>	0.63±0.06 <sup>a</sup>
LW	18.05±0.64 <sup>a</sup>	10.70±0.60 <sup>b</sup>	7.36±0.59 <sup>a</sup>	0.70±0.08 <sup>a</sup>

表中同列数据后的相同字母表示在 0.05 水平上经 Duncan 检验差异不显著

生物量的比值逐渐增大,表明受到水分胁迫时,飞机草为了从土壤中获得更多的水分和营养物质,减少了地上部分干物质的积累,而把更多的资源分配到了根的生长上。许凯扬等<sup>[9]</sup>发现在土壤水分减少时,另一种外来入侵植物喜旱莲子草的根冠比也显著增加,表明生物量分配的改变,是植物对水分限制的适应性措施。

### 2.3 土壤水分变化对飞机草光合特征的影响

在不同水分处理下,飞机草的光合特征也存在着差异。总体上看,随着水分胁迫的加重,三种处理间植物的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率都呈下降趋势,即 HW 处理 > MW 处理 > LW 处理 (表 3)。水分胁迫对光合作用的抑制主要包括气孔抑制和非气孔抑制<sup>[10]</sup>。气孔抑制是指水分胁迫使气孔导度下降,CO<sub>2</sub> 进入叶片受阻而使光合能力下降;非气孔抑制是指光合器官的光合活性下降,使叶肉细胞利用 CO<sub>2</sub> 的能力降低,从而使胞间 CO<sub>2</sub> 含量升高<sup>[11]</sup>。本实验中,随着叶片气孔导度的降低,胞间 CO<sub>2</sub> 摩尔分数也降低,说明水分胁迫对飞机草光合作用的抑制主要是由气孔因素引起的。

植物叶片的水分利用率是植物生理过程中消耗水形成有机物质的基本效率之一,表示为光合速率与蒸腾速率的比值<sup>[12]</sup>。实验结果表明,随着土壤水分的减少,飞机草叶片的水分利用率显著提高。LW 处理分别比 MW 处理和 HW 处理提高了 26.8% 和 71.6%。这主要是由于气孔导度下降导致蒸腾速率的显著降低,从而提高了水分利用率。这也是植物对缺水环境的一种适应,许多其他研究也有过相似报道<sup>[2,3]</sup>。表观 CO<sub>2</sub> 利用率是叶片净光合速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的比值,三种水分处理对飞机草的表观 CO<sub>2</sub> 利用率没有显著影响。

光是调控植物生长的重要环境因子。从图 1 可以看出,光合有效辐射在 0-400 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 时,飞机草的净光合速率增幅最大,之后提高较缓慢。光合有效辐射在 800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 左右时,净光合速率实测值达到最大。根据方程得出的最大净光合速率  $Pn_{max}$  从高水分到低水分依次是: 9.61, 9.28, 6.14 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 光饱和点分别为 930, 960, 831

表 3 不同水分处理对飞机草部分光合特征的影响

Table 3 The effects of different soil water content on some photosynthetic characteristics of *Chromolaena odorata*

处理	净光合速率 (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	气孔导度 (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	胞间 CO <sub>2</sub> 摩尔分数 (μmol·mol <sup>-1</sup> )	蒸腾速率 (m mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	水分利用率 (mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	表观 CO <sub>2</sub> 利用率 (mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
HW	7.36±0.30 <sup>a</sup>	0.26±0.02 <sup>a</sup>	318.31±2.93 <sup>a</sup>	3.44±0.15 <sup>a</sup>	2.15±0.08 <sup>a</sup>	0.023±0.001 <sup>a</sup>
MW	6.60±0.76 <sup>a</sup>	0.15±0.03 <sup>b</sup>	288.45±7.04 <sup>b</sup>	2.34±0.37 <sup>b</sup>	2.91±0.16 <sup>b</sup>	0.023±0.002 <sup>a</sup>
LW	5.75±0.88 <sup>a</sup>	0.09±0.02 <sup>b</sup>	257.8±5.69 <sup>c</sup>	1.57±0.27 <sup>b</sup>	3.69±0.12 <sup>c</sup>	0.022±0.003 <sup>a</sup>

表中同列数据后的相同字母表示在 0.05 水平上经 Duncan 检验差异不显著

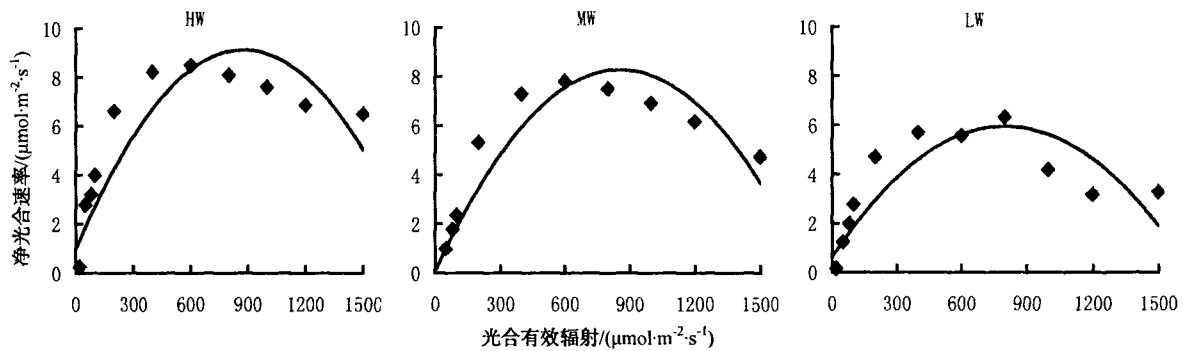


图1 不同水分处理下飞机草叶片光合-光响应曲线

Fig. 1 The Photosynthesis-light response curves of *Chromolaena odorata* under different soil water content

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。HW 处理和 MW 处理的最大净光合速率和光饱和点差异不大,但随着土壤水分的进一步减少, LW 处理的光合-光响应过程受到了明显影响,其最大净光合速率和光饱和点都显著下降。

### 3 结论

根据不同地区降雨量模拟土壤水分变化对飞机草生长的影响,结果发现随着土壤水分的减少,飞机草的叶绿素含量、生物量、净光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  摩尔分数、光饱和点等指标都呈现出下降趋势。同时,地下生物量与地上生物量的比值,叶片的水分利用率有所提高,表明飞机草对土壤水分胁迫有一定的适应能力。但总体来看飞机草的生长情况以高水分处理最好,中、低水分虽然不至于对飞机草的生长起到完全抑制的作用,但也会显著影响飞机草的生长,降低其竞争能力,限制飞机草向降雨量较少的地区入侵。

另外,目前飞机草的防除主要采取刈割和除草剂方法,其中刈割虽然对环境没有危害,但如果没有考虑到飞机草的生长规律和季节因素,就会费时费力。由于水分胁迫对飞机草的生长有明显抑制作用,因此,在广东,云南等地利用季节性干旱时期,对飞机草进行人工拔出可防止飞机草群落的恢复,防治效果更好。

### 参考文献:

[1] ROOT T L, PRICE J T, HALL K R, et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants[J]. *Nature*, 2003, 421: 57-60.  
 [2] 王淼,李秋荣,郝占庆,等. 土壤水分变化对长白山主要树种蒙古栎幼树生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1765-1770.  
 WANG MIAO, LI QIU-RONG, HAO ZHAN-QING, et al. Effects of soil water regimes on the growth of *Quercus mongolica* seedlings in Changbai Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1765-1770.  
 [3] 蔡锡安,孙谷畴,赵平,等. 土壤水分对单性木兰幼苗光合特性的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12(3): 207-212.

CAI XI-AN, SUI GU-CHOU, ZHAO PING, et al. The effects of soil water content on photosynthesis in leaves of *Kmeria septentrionalis* seedlings[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12(3): 207-212.  
 [4] 彭少麟,向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响[J]. *生态学报*, 1999, 19(4): 560-568.  
 PENG SHAO-LIN, XIANG YAN-CI. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 560-568.  
 [5] 国务院办公厅. 中国第一批外来入侵物种名单[J]. *国务院公报*, 2003, 41-46.  
 GENERAL OFFICE OF THE STATE COUNCIL. List of the first batch of alien invasive species in China[J]. *Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 2003, 41-46.  
 [6] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 第2版. 北京:高等教育出版社, 1990: 84-91.  
 ZHANG ZHI-LIANG. The experimental instruction of plant physiology[M]. 2nd edition. Beijing: High Education Press, 1990: 84-91.  
 [7] 任丽花,王义祥,翁伯琦,等. 土壤水分胁迫对圆叶决明叶片含水量何光合特性的影响[J]. *厦门大学学报:自然科学版*, 2005, 44: 28-31.  
 REN LI-HUA, WANG YI-XIANG, WENG BO-QI, et al. The effect of water stress on the water content and photosynthesis of leaves of *Chamaecrista rotundifolia*[J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science Edition*, 2005, 44: 28-31.  
 [8] 张秋英,李发东,刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 95-98.  
 ZHANG QIU-YING, LI FA-DONG, LIU MENG-YU. Changing laws of chlorophyll content and photosynthesis rate in winter wheat leaves[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(3): 95-98.  
 [9] 许凯扬,叶万辉,李静,等. 入侵种喜旱莲子草对土壤水分的表型可塑性反应[J]. *华中师范大学学报:自然科学版*, 2005, 39(1): 101-104.  
 XU KAI-YANG, YE WAN-HUI, LI JING, et al. Phenotypic plasticity in response to soil water content in the invasive species *Alternanthera philoxeroides*[J]. *Journal of Central China Normal University: Natural Science Edition*, 2005, 39(1): 101-104.  
 [10] 关义新,戴俊英,林艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气

- 孔限制[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(4): 293-297.
- GUAN YI-XIN, DAI JUN-YING, LIN YAN. The photosynthetic stomatal and nonstomatal limitation of plant leaves under water stress[J]. Plant Physiology Communications, 1995, 31(4): 293-297.
- [11] 景茂, 曹福亮, 汪贵斌, 等. 土壤水分含量对银杏光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(4): 83-86.
- JING MAO, CAO FU-LIANG, WANG GUI-BIN, et al. The effects of soil water contents on photosynthetic characteristics of Ginkgo[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2005, 29(4): 83-86.
- [12] 吕爱霞, 杨吉化, 夏江宝, 等. 3种阔叶树气体交换特性及水分利用效率影响因子的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 188-191.
- LV AI-XIA, YANG JI-HUA, XIA JIANG-BAO, et al. Study on characteristics of gas exchange and influencing factors of water use efficiency of three latifoliate trees[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(3): 188-191.

## Effects of soil water regimes on the growth of the exotic invasive plant: *Chromolaena odorata*

WU Jinrong<sup>1,2</sup>, ZHAO Houben<sup>1,2</sup>, LU Hongfang<sup>1</sup>, PENG Shaolin<sup>1,3</sup>

1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

2. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

3. State Key Laboratory of Biocontrol, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China

**Abstract:** This article studied how the growth of *Chromolaena odorata*, one of the exotic invasive weeds in China, response to the soil water regimes. Three soil water gradients (15 mm, 10 mm and 5.83 mm) were designed according to the annual precipitation in different areas. The results showed that with the decrease of soil water content, the leaf dry weight per unit area, chlorophyll content, net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, intercellular CO<sub>2</sub> concentration and light saturation point declined, while the water use efficiency and the ratio of belowground and aboveground biomass increased. It suggested that *Chromolaena odorata* could adapt to the soil water stress to some extent. As a whole, water stress could affect the growth of *Chromolaena odorata* and the spread of *Chromolaena odorata* to areas with less rainfall.

**Key words:** *Chromolaena odorata*; soil water regimes; biomass; photosynthetic characteristics