

# 金钟藤和葛藤在干旱与复水条件下的生理比较

李玲<sup>1,3</sup>, 徐志防<sup>1\*</sup>, 韦霄<sup>2</sup>, 曹洪麟<sup>1</sup>, 栗娟<sup>4</sup>, 叶万辉<sup>1</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 广州市林业局, 广州 510030)

**摘要:** 对外来入侵种金钟藤和本地种葛藤进行干旱胁迫和水分恢复处理, 比较了两种植物抗氧化酶(SOD、CAT)活性、丙二醛(MDA)含量及叶绿素荧光参数的变化。研究表明, 干旱胁迫下两种植物 SOD、CAT 活性均高于复水后, 金钟藤高于相同处理下的葛藤; 金钟藤在干旱与复水条件下的 MDA 含量无差异, 而葛藤干旱下高于复水后, 不同处理下葛藤均高于金钟藤; 干旱条件下金钟藤比葛藤有更强的抗氧化能力, 膜脂过氧化水平明显较低, MDA 与 SOD、CAT 呈明显的负相关。两种植物在复水后 Fv/Fm、ETR 与 ΦPSII 均显著高于干旱时, 葛藤变化程度略大于金钟藤。复水后金钟藤的 NPQ 值增加而葛藤降低, 且干旱时葛藤大于金钟藤, 复水后金钟藤大于葛藤。综合比较, 金钟藤比葛藤对干旱的生理适应能力强, 这可能是其入侵性的重要特征。

**关键词:** 金钟藤; 葛藤; 入侵; 干旱; 复水

中图分类号: Q945.79, Q948.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2008)06-0806-05

## Physiological compare *Merremia boissiana* with *Pueraria lobata* under drought stress and rewatering conditions

LI Ling<sup>1,3</sup>, XU Zhi-Fang<sup>1\*</sup>, WEI Xiao<sup>2</sup>, CAO Hong-Lin<sup>1</sup>,  
SU Juan<sup>4</sup>, YE Wan-Hui<sup>1</sup>

(1. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Guangxi Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 3. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Forestry Administration of Guangzhou Municipality, Guangzhou 510030, China)

**Abstract:** The activities of antioxidant enzymes, such as superoxide dismutase(SOD), catalase(CAT), malondialdehyde(MDA) content and chlorophyll fluorescence parameters were compared between invasive exotic plant *Merremia boissiana* and native plant *Pueraria lobata* under drought stress and rewatering conditions. The results showed that SOD and CAT activities of these plants under drought stress were higher than that after rewatering, and *M. boissiana* had stronger enzymes activities than *P. lobata* under same treatments. The difference of MDA content was not evident after drought and rewatering treatments in *M. boissiana*, while MDA content in *P. lobata* under drought stress was higher than that of rewatering treatments. Moreover, MDA content in *P. lobata* was higher than that of *M. boissiana* under different treatments. These results indicated that *M. boissiana* had stronger antioxidant activities under drought stress, and its membrane lipid peroxidation level was obviously low. As a result, MDA content was evidently negative relative to the activities of SOD and CAT. Chlorophyll fluorescence parameters Fv/Fm, ETR and ΦPSII after rewatering were significantly higher than

收稿日期: 2007-07-07 修回日期: 2008-01-10

基金项目: 广州市林业局林业科技计划项目(LYJ0506); 广东省自然科学基金重点项目(05200701); 国家自然科学基金重点项目(30530160) [Supported by the Forestry Science and Technology Program of Forestry Administration of Guangzhou Municipality(LYJ0506), the Natural Science Key Foundation of Guangdong Province(05200701) and the Natural Science Key Foundation of China(30530160)]

作者简介: 李玲(1982-), 女(土家族), 贵州印江人, 硕士生, 主要从事入侵植物生理生态学研究。

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: xuzf@scib.ac.cn)

that of drought treatments, and the changes of the parameters in *P. lobata* were a little evident than that in *M. boissiana*. The value NPQ of *M. boissiana* rose while that of *P. lobata* reduced after rewatering, and the latter was higher than the former under drought stress. In contrast, *M. boissiana* was higher than *P. lobata* after rewatering. Summarily, it was analyzed that *M. boissiana* possessed stronger physiological adaptability to drought than *P. lobata*, which was possibly an important invasive characteristic.

**Key words:** *Merremia boissiana*; *Pueraria lobata*; invasion; drought; rewatering

外来入侵种是指从原本的分布区扩散到新的区域,其后代可以繁殖、扩散并维持下去,并在新扩散地大爆发的物种(Elton, 1958)。金钟藤(*Merremia boissiana*),为旋花科(Convulvaceae)鱼黄草属多年生常绿藤本植物,原产东南亚及中国海南地区,广东是其新分布区域(中国科学院华南植物研究所, 2000; 陈炳辉等, 2005; 王伯荪等, 2005; 沈浩等, 2006)。近年来发现,金钟藤正在广州附近森林地区大面积生长,主要覆盖于树林顶部和沟谷地带,扩散态势极为壮观,表现出极强的竞争优势,在扩散地已形成单优势种,是一种典型的外来入侵种。

葛藤(*Pueraria lobata*),为豆科(Leguminosae)葛属常绿藤本植物,原产中国。最早于19世纪后期作为观赏植物而引种到美国,后来为保持水土而大力种植,由于适宜的气候、土壤和缺少天敌以及遗传变化等原因,葛藤已在美国大肆入侵,造成了重大损失(Pappert等, 2000; Sun等, 2005; Ding等, 2006)。本文在此称葛藤为本地外入侵种,即入侵种在原产地的称呼,以区别于外来入侵种,目前葛藤在广州附近林场也有分布,与金钟藤生长于同一环境下,但还没有形成危害性生长。关于入侵种的生理研究集中在外来入侵种与本地非入侵种的比较,而对于同一环境下与本地外入侵种的生理比较,相关研究则不多见。

华南地区干旱和暴雨时常交替发生,不同植物响应这种水分环境的变化,其体内生理反应可能存在不同程度的差异,而入侵种和本地种在这两种水分条件下的生理变化应该有更明显的差异。因此,本文通过外来入侵种金钟藤和本地外入侵种葛藤在干旱(处理)及复水(对照)条件下的比较实验,观测这两种植物在不同水分条件下的抗氧化与荧光反应特征,旨在对比分析外来植物在入侵生长中对水分变化的生理适应特性。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料的干旱处理与水分恢复

实验于华南植物园科研区试验场地进行,金钟

藤和葛藤植株栽种于同一圆形水泥池中,圆形水泥池直径3 m、高0.3 m,隔断为6个大小相同的区块,金钟藤和葛藤分别种植于3个区块中,每个区块种植8个植株苗,由于繁殖成活率不同,葛藤植株密度高于金钟藤,但金钟藤茎叶生长快速且生物量大,因此两种植物在每个区块的覆盖度差别不大。

池中土壤采用塘泥与沙质土混合,通过连续3周不浇水,对植物进行干旱胁迫处理,此时土壤相对体积含水量为4.7%左右,水分条件为重度干旱,然后选取这两种植物的成熟叶片用于各项测定。当干旱条件下的观测取样完成后,再给土壤浇水,给植株以水分恢复(以此为对照),期间土壤相对体积含水量保持在25%以上,当植物恢复生长3周后,再次选取成熟叶片进行各项测定。

### 1.2 抗氧化酶活性、丙二醛含量测定

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)的测定方法参照《现代植物生理学实验指南》(中国科学院上海植物生理研究所, 1999),以抑制氮蓝四唑(NBT)光还原50%作为一个SOD酶活力单位,以吸光度 $A_{240}$ 每1 min减少0.01作为一个CAT酶活力单位,酶活性以 $U \cdot mg^{-1} \text{protein}$ 表示;MDA含量以 $\mu\text{mol} \cdot g^{-1} \text{FW}$ 表示。蛋白质含量用考马斯亮兰G-250染色法测定。

### 1.3 叶绿素荧光测定

叶绿素荧光参数的测定采用PAM2100便携式荧光仪(Heinz Walz GmbH, 德国)。测定光化学效率( $F_v/F_m$ )时,叶片至少先暗适应10 min,然后打开暗测量光测定 $F_o$ ,接着再给一个饱和光脉冲测定 $F_m$ 。暗测量光强设置为5档(大约 $0.04 \mu\text{mol} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),调制频率为600 Hz,饱和光脉冲设为9档(强度超过 $8000 \mu\text{mol} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),调制频率为20 kHz,脉冲时间0.8 s。测定电子传递速率与量子效率(ETR、 $\Phi\text{PS II}$ )时,作用光设为5档(大约 $560 \mu\text{mol} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 左右),被测叶片在此作用光下的荧光即为 $F_s$ ,然后再给一个同样的饱和光脉冲测定 $F_m'$ 。通过 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_s$ 、 $F_m'$ 及作用光强等基本参数,可计算出 $F_v/F_m$ 、ETR、 $\Phi\text{PS II}$ 和NPQ(非光化

学猝灭)等主要荧光参数。

干旱与复水后荧光参数的测定均在标记植株上进行,测定酶活性和丙二醛含量变化时,叶片取材于各植株相近部位且成熟度一致,上述每项测定重复4~6次,所得数据采用 SPSS 软件进行统计并分析其差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱、复水条件下 SOD、CAT 和 MDA 的比较

植物在遭受逆境胁迫时体内会大量产生活性氧,活性氧会对细胞器造成伤害,影响植物的正常生理功能(王爱国,1998)。针对活性氧伤害,植物体内有相应的抗氧化酶如 SOD、CAT 等,以及抗坏血酸、谷胱甘肽等抗氧化剂,可清除由胁迫产生和积累的活性氧,使其维持在较低水平(Reddy 等,2004;Sofa 等,2005;Ge 等,2006)。活性氧还可引起脂质过氧化反应,对细胞膜系统造成伤害。MDA 是膜脂过氧化的标志性产物,其含量可大致表示膜脂过氧化反应的程度,因此它可作为观测膜脂过氧化导致细胞伤害程度的一个主要指标。

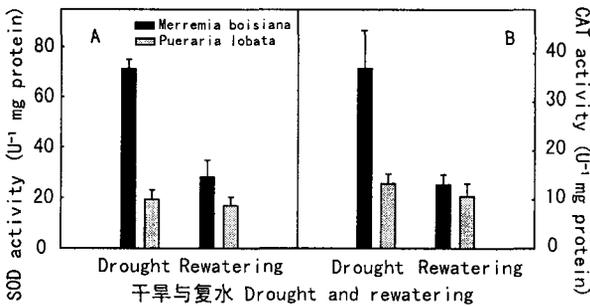


图 1 金钟藤和葛藤在干旱与复水条件下 SOD、CAT 活性的变化

Fig. 1 Changes of SOD, CAT activities in leaves of *Merremia boissiana* and *Pueraria lobata* under drought stress and rewatering conditions

图 1 中,金钟藤在复水后的 SOD 和 CAT 活性均比干旱时显著降低(下降程度均超过 60%, $P < 0.01$ ),葛藤干旱胁迫时 SOD 和 CAT 活性只比复水后略高,且无明显差异( $P > 0.05$ )。两种植物相比,除在复水后 CAT 活性两者比较接近外( $P > 0.05$ ),其它对比中金钟藤的酶活性高于葛藤的程度为 67%、17%和 2.7 倍( $P < 0.01$ ),说明两种处理下金钟藤体内抗氧化能力都明显强于葛藤。

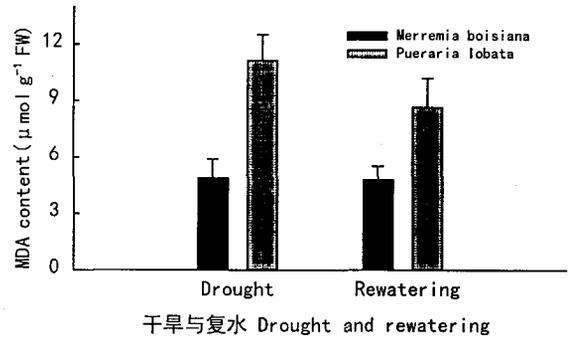


图 2 金钟藤和葛藤在干旱与复水条件下 MDA 含量的变化

Fig. 2 Changes of MDA content in leaves of *Merremia boissiana* and *Pueraria lobata* under drought stress and rewatering conditions

图 2 中,金钟藤在干旱和复水条件下 MDA 含量几乎没有变化,说明金钟藤在两种处理下膜脂过氧化水平较低;而葛藤 MDA 含量在复水后降低了 23%左右( $P < 0.05$ ),说明在复水后仍有一定程度的膜脂过氧化存在。干旱处理下,葛藤的 MDA 含量高于金钟藤 1.27 倍,复水后高 67%,表明两种水分条件下葛藤膜脂过氧化程度都明显高于金钟藤( $P < 0.01$ )。

表 1 干旱与复水条件下 SOD、CAT 与 MDA 的相关系数  
Table 1 Correlation coefficient between SOD, CAT and MDA under drought stress and rewatering conditions

	干旱 Drought		复水 Rewatering	
	SOD	CAT	SOD	CAT
MDA	-0.967 **	-0.979 **	-0.704	-0.629

注: \*\* 表示差异显著( $P < 0.01$ )。

Note: The double asterisks indicated significant difference at  $P < 0.01$ .

表 1 中,将两种植物 SOD、CAT 的活性与 MDA 含量作了相关性分析。显而易见,在干旱条件下 MDA 与 SOD、CAT 呈极显著的负相关,说明如果植物抗氧化能力相对降低,那么脂质过氧化反应就相应加剧,MDA 含量也就会显著增加;如果抗氧化能力相对较高,那么 MDA 含量就会明显减少,图 1、图 2 中金钟藤与葛藤在干旱条件下正是这样两种表现。复水后植物所处环境得到改善,MDA 与 SOD、CAT 的相关性降低,且差异性不明显( $P > 0.05$ )。由此表明,植物抗氧化酶活性与脂质过氧化程度密切相关,特别是环境胁迫下更明显(郭水良等,2003a, b; Yordanov 等,2003; Ge 等,2006)。

### 2.2 干旱、复水条件下叶绿素荧光参数的比较

Fv/Fm 表示 PS II 反应中心完全开放后的最大

光化学效率, 正常环境下植物的  $F_v/F_m$  一般在 0.80~0.85 之间, 当植物受到胁迫时,  $F_v/F_m$  会显著下降。ETR 表示光照下光化学反应过程中的电子传递速率, 而  $\Phi PS II$  表示单位光量子所产生的线

性电子传递效率, 两种参数反映了光能转化的效率, 用于表示植物实际光合能力的大小(张守仁, 1999; Maxwell & Johnson, 2000)。

两种植物在干旱时  $F_v/F_m$  比复水后的略低, 但

表 2 干旱与复水条件下金钟藤、葛藤叶绿素荧光参数的变化

Table 2 Changes of chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Merremia boissiana* and *Pueraria lobata* under drought stress and rewatering conditions

荧光参数 Fluorescence parameters	葛藤 <i>Pueraria lobata</i>		金钟藤 <i>Merremia boissiana</i>	
	干旱 Drought	复水 Rewatering	干旱 Drought	复水 Rewatering
$F_v/F_m$	0.78±0.03 *	0.81±0.01	0.77±0.05	0.79±0.02
$F_o$	0.21±0.02 * *	0.16±0.01	0.26±0.04 * * ab	0.20±0.01a
ETR	50.9±7.74 * *	86.9±10.6	61.3±4.84 * *	81.6±5.86
$\Phi PS II$	0.21±0.03 * *	0.43±0.05	0.25±0.02 * *	0.35±0.03a
NPQ	6.55±0.77 *	5.32±0.83	4.37±0.15 * ab	5.91±0.41

注: 同行数据后星号表示同种植物不同条件下的差异比较(\*,  $P<0.05$ , \*\* ,  $P<0.01$ ); 同行数据后字母表示相同条件下不同植物间的差异比较(a,  $P<0.05$ , ab,  $P<0.01$ )。

Note: Numbers followed by asterisks within each line indicated the significant difference between two conditions in same species(\*,  $P<0.05$ , \*\* ,  $P<0.01$ ); Numbers followed by letters within each line indicated the significant difference between two species under same condition(a,  $P<0.05$ , ab,  $P<0.01$ ).

复水前后无明显差异。 $F_o$  是叶片暗适应后 PS II 反应中心完全开放时的荧光产量, 主要与类囊体膜的结构状态有关,  $F_o$  上升说明叶片受到一定的损伤。复水后两种植物  $F_o$  值均明显下降, 表明干旱对两种植物的膜造成了影响, 复水后可以明显缓解此影响。两种植物在复水后 ETR 与  $\Phi PS II$  值显著上升, 说明在干旱条件下植物的光能转化效率受到了较大影响, 但两种植物的光能转化效率比较接近(表 2)。NPQ 为由热耗散引起的荧光猝灭, 反映了植物耗散过剩光能的能力, 在强光或其他胁迫存在下, NPQ 升高可保护光合机构避免过量光的破坏。金钟藤 NPQ 值复水后增加而葛藤降低, 同种植物处理前后 NPQ 值差异显著, 且干旱时葛藤显著大于金钟藤, 复水后则相反, 金钟藤略高于葛藤(表 2)。

### 3 讨论

关于入侵植物生理适应机制的研究多采用对比法, 用亲缘关系较近的本地非入侵植物作比较, 其研究结果可能更有说服力, 但有时在特定环境下不容易找到这样的对照植物。金钟藤和葛藤虽然分属不同科, 但都是入侵藤本植物, 只是在不同的分布地区中才表现出其入侵性。本文比较它们在不同水分条件下的生理生态特性, 可以从其中获知两种植物在相同地区适应性的差异, 有助于了解外来植物入侵性形成的生理基础。

植物抗氧化系统有两种反应: 一种是在低胁迫环境下, 活性氧诱导抗氧化酶活性升高, 表现为保护效应; 另一种是在高胁迫环境下, 积累的活性氧攻击各种酶, 使保护酶活性降低, 表现为伤害效应(郭水良等, 2003a, b)。本文控制实验中, 金钟藤的表现属前一种, 葛藤的表现类似后一种。金钟藤在干旱时其抗氧化能力增强, 表现出较强的耐旱性(图 1)。而葛藤干旱时抗氧化酶活性只略高于复水后, 由于不能及时清除活性氧, 导致重度胁迫, 造成其抗氧化能力下降。

金钟藤在两种水分条件下 MDA 含量无明显变化, 而葛藤干旱时 MDA 含量明显高于复水后, 且在干旱和复水后葛藤 MDA 含量均显著高于金钟藤(图 2), 说明干旱时葛藤膜脂过氧化程度更高, 受到的胁迫更明显, 这主要与抗氧化酶活性相关(表 1)。干旱时金钟藤 CAT、SOD 活性上升, 能有效清除活性氧, MDA 含量因此不会升高, 葛藤则相反。从脂质过氧化程度的变化可看出, 在同一环境下, 金钟藤比葛藤具有更强的耐胁迫能力, 这是其入侵生理适应机制的一个重要表现, 说明金钟藤的入侵性已经具备, 而葛藤尚未产生。

从两种植物的荧光反应来看(表 2), 在干旱时金钟藤、葛藤的初始荧光( $F_o$ )、最大光化学效率( $F_v/F_m$ )与实际的光合能力(ETR 与  $\Phi PS II$ )无明显差异, 复水后两种植物均升高。可以看出, 金钟藤在干旱和复水条件下各荧光参数前后变化幅度比葛藤小, 说明葛藤对水分变化更敏感, 而金钟藤对干旱

的适应性比较强。两种植物 NPQ 的前后变化有所不同,葛藤在重度干旱时的光耗散能力较强,而在非胁迫环境中金钟藤光耗散能力略高。因为植物转化与耗散光能的机制较复杂且影响因素较多,此处还不能完全清楚地说明两者的差异。

金钟藤和葛藤在两种水分条件下的光能利用率没有特别明显的差异,说明两种植物向外入侵扩散的光合潜力比较接近,但金钟藤在耐干旱与抗氧化胁迫方面均明显强于葛藤。由此推测,外来入侵种金钟藤在入侵地对不同水分环境的生理适应较本地外侵种葛藤占优势。

### 参考文献:

- 中国科学院华南植物研究所. 2000. 广东植物志(第4卷)[M]. 广州:广东科技出版社:347
- 中国科学院上海植物生理研究所. 1999. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社
- 王爱国. 1998. 植物的氧化代谢[C]//余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学. 第2版. 北京:科学出版社:366—389
- Chen BH(陈炳辉), Wang RJ(王瑞江), Huang XX(黄向旭), et al. 2005. *Merremia boissiana*—a newly recorded species from Guangdong, China(金钟藤—广东分布新记录)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 13(1):76—77
- Ding JQ, Reardon R, Wu Y, et al. 2006. Biological control of invasive plants through collaboration between China and the United States of America: a perspective[J]. *Biol Invasions*, 8(7):1 439—1 450
- Elton CS. 1958. The Ecology of Invasions by Animals and Plants [M]. London: Methuen
- Ge TD, Sui FG, Bai LP, et al. 2006. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize[J]. *Agric Sci China*, 5(4):291—298
- Guo SL(郭水良), Fang F(方芳). 2003a. Physiological adaptation of the invasive plant *Solidago canadensis* to environments(入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), 27(1):47—52
- Guo SL(郭水良), Fang F(方芳). 2003b. Influences of temperature on physiological indices of seven exotic weeds and their adaptive significance(不同温度对七种外来杂草生理指标的影响及其适应意义)[J]. *Guihaia*(广西植物), 23(1):73—76
- Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. *J Exp Bot*, 51(345):659—668
- Pappert RA, Hamrick JL, Donovan LA. 2000. Genetic variation in *Pueraria lobata* (Fabaceae), an introduced, clonal, invasive plant of the southeastern United States[J]. *Amer J Bot*, 87(9):1 240—1 245
- Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants[J]. *J Plant Physiol*, 161(11):1 189—1 202
- Shen H(沈浩), Hong L(洪岚), Ye WH(叶万辉), et al. 2006. Characteristics of gas exchange in leaves of *Merremia boissiana* (金钟藤叶片的气体交换特性)[J]. *Guihaia*(广西植物), 26(3):313—316
- Sofo A, Tuzio AC, Dichio B, et al. 2005. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids[J]. *Plant Sci*, 169(2):403—412
- Sun JH, Li ZC, Jewett DK, et al. 2005. Genetic diversity of *Pueraria lobata* (kudzu) and closely related taxa as revealed by inter-simple sequence repeat analysis[J]. *Weed Res*, 45(4):255—260
- Wang BS(王伯荪), Li MG(李鸣光), Liao WB(廖文波), et al. 2005. Geographical distribution of *Merremia boissiana* (金钟藤的地理分布)[J]. *Ecol Environ*(生态环境), 14(4):451—454
- Yordanov I, Vellkova V, Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance[M]. *Bulg J Plant Physiol*, special issue:187—206
- Zhang SR(张守仁). 1999. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance(叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论)[J]. *Chin Bull Bot*(植物学通报), 16(4):444—448
- Ramoliya PJ, Pandey AN. 2003. Effect of salinization of soil on emergence, growth and survival of seedlings of *Cordia rothii*[J]. *Fore Ecol Management*, 176:185—194
- Shangguan TL(上官铁梁), Zheng FY(郑凤英), Zhang JT(张金屯), et al. 1998. Biomass of *Paeonia suffruticosa* var. *spontanea* China(濒危植物矮牡丹种群生物量的研究)[J]. *J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 4(2):120—125
- Song YH(宋有洪), Guo Y(郭焱), Li BG(李保国), et al. 2003. Virtual maize model II. plant morphological constructing based on organ biomass accumulation(基于器官生物量构建植株形态的玉米虚拟模型)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 23(12):2 579—2 586
- Su ZM(苏宗明), Li XK(李先琨). 2003. The types of natural vegetation in karst region of Guangxi and its classified system(广西岩溶植被类型及其分类系统)[J]. *Guihaia*(广西植物), 23(4):289—293
- Sun SC(孙书存), Qian NB(钱能斌). 1999. Path analysis of morphological parameters of *Convolvulus tragacuthoides* population and individual biomass modelin of subshrubs(刺旋花种群形态参数的通径分析与亚灌木个体生物量建模)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 10(2):155—158
- Tao JP(陶建平), Zhong ZC(钟章成), Yang WQ(杨万勤). 2001. Study on the dynamics of seedling growth of *Gordonia acuminata* in different communities(不同群落中四川大头茶幼苗的生长动态研究)[J]. *J Southwest Agric Univ*(西南农业大学学报)[J]. 23(2):167—170
- Welander NT, Ottosson B. 1998. The influence of shading on growth and morphological in seedling of *Quercus robur* and *Fagus sylvatica*[J]. *Fore Ecol Management*, 107:117—126
- Zhou XY(周先叶), Li MG(李鸣光), Wang BS(王伯荪). 2001. Analysis of the correlation between the growth of *Cryptocarya concinna* seedling and effective factors in Heishiding forest, Guangdong Province(广东黑石顶森林群落黄果厚壳桂幼苗生长与环境因子的相关分析)[J]. *J South China Normal Univ* (Nat Sci Edi)(华南师范大学学报(自然科学版)), 4:50—54

(上接第 789 页 Continue from page 789)