

# 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树 幼苗水分及光合特性的影响

蔡喜悦<sup>1</sup>, 陈晓德<sup>1</sup>, 刘 成<sup>1</sup>, 张淑琴<sup>2</sup>, 范庭兴<sup>1</sup>

(1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 西南大学 生命科学学院, 重庆 400715;

2. 广安职业技术学院, 四川 广安 638000)

**摘 要:**以 1 a 生复羽叶栎树幼苗为试材, 采用称重控水法模拟干旱, 研究了外源钙处理对不同于干旱胁迫条件下植物幼苗相对含水量、光合特性的影响。结果表明: 经外源钙处理, 有利于从整体上缓解干旱环境对幼苗的影响, 保证植物在逆境中正常生长。对于相对含水量而言, 胁迫越严重, 下降的幅度越大; 经外源钙处理, 同一胁迫水平下幼苗相对含水量下降的幅度、速度均减小并且与无钙组同水平处理组均表现出显著性的差异, 但不能使相对含水量恢复到对照水平。植物一般采取低光合、低蒸腾、高水分利用效率的策略来适应干旱环境; 通过外源钙处理, 光合速率降低的速度及幅度减小, 蒸腾作用进一步减小, 同时减小了气孔导度的降低, 并且提高了干旱条件下的水分利用效率。

**关键词:**复羽叶栎树; 干旱胁迫; 外源钙; 相对含水量; 光合作用

**中图分类号:**S 687.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)10-0058-05

中国是世界岩溶地貌最发育的国家之一, 生态环境脆弱。中国岩溶区面积 344.3 万 km<sup>2</sup>, 占国土面积的 35.93%。其中裸露岩溶石山区约 90.7 万 km<sup>2</sup>, 浅覆盖岩溶区约 115.3 万 km<sup>2</sup>, 埋藏岩溶面积 138.3 万 km<sup>2</sup>。根据自然条件和地理特征, 我国岩溶区可分为南部、北部、西部和东南部几大区域。其中以西南岩溶面积最大, 主要分布在以贵州为中心的滇黔桂湘鄂川渝地区, 面积约 55 万 km<sup>2</sup>, 占全国岩溶面积的 15.97%, 是全球岩溶连片面积最大、岩溶发育最强烈的地区。该地区总人口达 3.9 亿以上, 全国近 1/2 的贫困人口集中于此, 是我国的主要贫困地区。当前由于种种原因, 人类活动使原本就脆弱的喀斯特环境正在向着更加恶性循环的方向发展<sup>[1-2]</sup>。

岩溶地区土壤保水能力差, 由于土层浅薄, 并且广泛发育着地表和地下的双重空间结构, 地下洞隙纵横交织, 地表水漏失严重<sup>[3]</sup>。形成“地表水贵如油, 地下水滚

滚流”的特殊景观。加之岩溶区降水量相对较大、人类为经济发展大量砍伐树木, 加速了该区域的水土流失, 严重破坏了该区域的生态环境, 使该区域自然灾害频发<sup>[4-9]</sup>。广阔的岩溶地区逐渐形成了一种由地质条件(碳酸盐岩的岩溶水文系统和富钙、镁的地球化学环境)所决定、以石生、旱生及喜钙性植物为主, 发达的地下空间为特征的脆弱环境——岩溶生态系统<sup>[10-14]</sup>。

长期以来, 人们主要注重喀斯特植被在形态结构方面对岩溶干旱环境的适应, 特别是针对岩溶地区生态恢复的最大限制性因子—水的研究越来越多, 并取得了一定的成果。例如金静等<sup>[15]</sup>以石灰岩地区适生树种木豆的形态适应特征为研究对象, 发现随土壤含水量的增加, 分配到木豆根和枝的生物量随之增大。刘锦春等<sup>[16-17]</sup>通过对十大功劳(*Mahonia fortunei*)在石灰岩地区的光合响应进行研究, 表明十大功劳的光合响应特性能够较好地适应石灰岩地区的强光环境, 采用低光合、低蒸腾、高水分利用效率的对策来适应石灰岩地区的干旱环境, 而忽视了岩溶地质本身与植被生长之间的关系, 植物矿质元素的含量多少与植物形态适应、解剖构造、生理生化机制方面的适应性以及岩溶适生植物与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等矿质元素的相关性缺乏足够的了解和认识, 有必要对其进行深入研究。而针对石灰岩地区土壤的交换性钙含量较高(石灰岩地区土壤 Ca<sup>2+</sup> 含量丰富, 土壤中交换性钙离子含量为(6.23±0.46)g/kg<sup>[18]</sup>)的特

**第一作者简介:**蔡喜悦(1986-), 男, 硕士研究生, 现主要从事应用生态学与植物生理生态学方面的研究工作。E-mail: caim-ingjun905@126.com.

**责任作者:**陈晓德(1955-), 男, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事应用生态学与植物生理生态学及生态修复与环境影响评价等方面的研究工作。E-mail: cxde@swu.edu.cn.

**基金项目:**国家星火计划资助项目(2006EA105025)。

**收稿日期:**2013-01-16

点,以及土壤钙离子对石灰岩地区适生树种在适应岩溶生态系统的特殊生态环境中所起的作用所进行的研究并不多,现以重庆石灰岩地区适生树种 1 a 生复羽叶栎树幼苗为试验对象,研究了钙离子在干旱胁迫时对复羽叶栎树幼苗水分及光合特征的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试 1 a 生复羽叶栎树幼苗 120 株,平均株高约 35 cm,取自重庆市中梁山海石公园<sup>[19]</sup> (E 106°18'14"~106°56'53"),为重度石漠化地区<sup>[20]</sup>。供试土壤为中梁山海石公园山地黄壤,其基本理化性状为:pH 7.3,有机质含量 12.804 g/kg,碱解氮含量 67.9 mg/kg,速效磷 5.0 mg/kg,测得田间持水量为 33.6%。

### 1.2 试验方法

2011 年 10 月至 2012 年 9 月在重庆市西南大学生命科学学院生态学实验基地进行。2012 年 2 月将苗木移入雨棚下(四周通风)。试验分无钙对照组和钙(G)处理组 2 组。无钙对照组按不同干旱条件分为对照组 CK(田间持水量的 75%~80%)、轻度干旱 LS(田间持水量的 50%~55%)、中度干旱 MS(田间持水量的 35%~40%)、重度干旱 SS(田间持水量的 25%~30%);钙处理组对应无钙组分别为 G+CK、G+LS、G+MS、G+SS 组,每组 15 次重复。土壤含水量采用称重控水法进行控制,即在对苗木停止供水的第 2 天起,每天 16:00 时用管状取样器取苗木盆中的土壤测定含水量的变化情况,以确定停止浇水后各处理达到试验设计要求的土壤含水量。取样时尽量靠近盆的中央区,每盆取样 3 个,测定含水量并求其平均值,当土壤含水量达到预定值时,用天平称重量(Wtc),之后每天 16:00 称盆重、苗木及土壤总重量(Wtt),由于蒸腾、蒸发作用,使土壤含水量降低,因此每天需对供试苗木盆中补水,补充水分(Wtm)=Wtc-Wtt。

2012 年 3 月开始对钙处理组进行外源钙处理,即钙溶液浇灌,每天用 35 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 浇灌,持续 110 d(试验期间在花盆底部放置托盘,将渗出溶液回倒入土壤中,以防止水分和盐分的丧失)。2012 年 7 月进行干旱处理,分别于第 2、4、6 周时取样测定。

### 1.3 项目测定

叶片相对含水量(RWC)的测定采用饱和含水量法<sup>[21]</sup>;净光合速率(Pn)、蒸腾速率(E)、气孔导度(Gs)等利用 Li-6400 便携式光合分析系统进行测定。

### 1.4 数据分析

所有数据均采用 SPSS 16.0 进行处理,采用 ANOVA 进行方差分析,采用 Duncan 进行多重比较;利用 Origin 8.0 进行作图处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗叶片相对含水量的影响

由图 1 可以看出,随着水分胁迫的加剧,各处理组相对含水量均下降,且表现出显著性的差异,CK 与 G-CK 在水分胁迫的各个时期均未表现出差异性。但无钙组与钙处理组下降比例有所不同。无钙组:胁迫初期下降幅度分别为对照(CK)的 11.8%、21.2%、28.4%;而胁迫中期下降幅度分别为 6.8%、10.6%、16.4%;胁迫末期为 5.9%、10.3%、14.5%。对于钙处理组:胁迫初期下降幅度分别为对照(G-CK)的 7.9%、18.1%、25.3%;而胁迫中期下降幅度分别为 3.8%、8.1%、13.5%;胁迫末期为 3.2%、8.1%、12.9%。由此可以看出,胁迫越严重,复羽叶栎树幼苗的相对含水量下降的幅度越大。而在外源钙的作用下,同一胁迫水平下幼苗相对含水量下降的幅度、速度均减小并且与无钙组同水平的处理条件均表现出显著性的差异,但并不能使相对含水量恢复到对照水平。

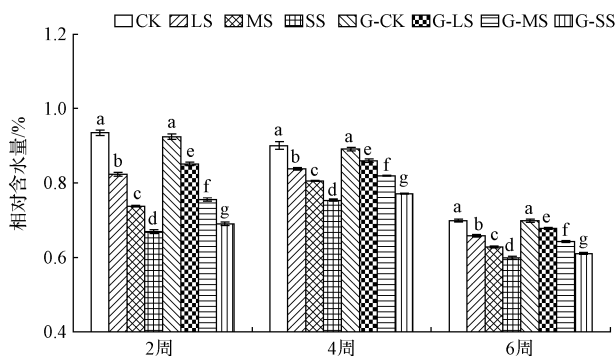


图 1 外源钙对干旱条件下复羽叶栎树幼苗相对含水量的影响(平均值±标准误)

Fig. 1 Effects of drought stress with exogenous Ca<sup>2+</sup> on RWC of *Koelreuteria paniculata* (M±MS)

注:不同字母表示差异显著性。下同。

Note: Different letters mean significant difference. The same below.

### 2.2 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗光合作用的影响

2.2.1 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗净光合速率(Pn)的影响 由图 2-A 可知,幼苗的净光合速率均随着干旱胁迫的加剧而降低。胁迫初期,无论是无钙组,或者是钙处理组,各干旱胁迫间均表现出显著性差异,其中无钙组轻度、中度和重度干旱处理后其净光合速率分别下降为 CK 的 19.2%、41.2%、55.8%;而对于钙处理组而言,分别下降为 G-CK 的 10.4%、36.5%、53.4%。胁迫中期,无钙组、钙处理组在轻度干旱和中度干旱下,其净光合速率未表现出差异;无钙组随着干旱胁迫的加剧,Pn 分别下降为 CK 的 36.7%、38.1%、47.3%,而钙

处理组分别下降 36.2%、37.5%、45.4%。胁迫末期,各处理组间差异显著;无钙组分别下降 33.9%、44.7%、49.5%,钙处理组为 35.3%、45.9%、49.8%。从总体上看,干旱胁迫越严重下降幅度越大。而在外源钙的作用下 Pn 的下降幅度减小。

2.2.2 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗蒸腾速率(E)的影响 由图 2-B 可知,无论是无钙组,还是钙处理组其蒸腾速率都随干旱胁迫的加剧而降低。胁迫初期,无钙组轻度、中度、重度胁迫时蒸腾速率(E)分别降低 6.5%、38.1%、61.8%,轻度干旱时与对照 CK 无显著性

差异;钙处理组中度、重度胁迫时分别降低 34.7%、91.6%,轻度胁迫时 E 表现为增加,且与对照(G-CK)无显著性差异。胁迫中期,无钙组在不同干旱程度胁迫下分别降低 30.6%、32.8%、35.0%;钙处理组分别降低 39.2%、27.6%、49.8%。胁迫末期,无钙组分别降低 43.5%、64.2%、66%;钙处理组为 44.7%、60.2%、61.9%。总体上看,干旱胁迫程度越严重,幼苗所表现的蒸腾速率就越低,外源钙处理,在轻度干旱和重度干旱胁迫时,E 的下降幅度增大,而在中度干旱胁迫下降幅度较无钙组有所减小。

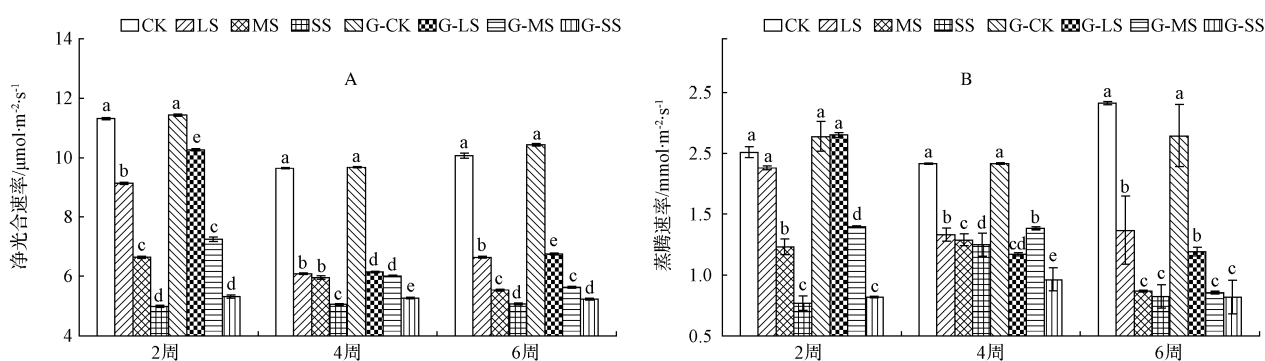


图 2 外源钙对干旱条件下复羽叶栎树幼苗净光合速率、蒸腾速率的影响(平均值±标准误)

Fig. 2 Effects of drought stress with exogenous  $\text{Ca}^{2+}$  on Pn and E of *Koelreuteria paniculata* ( $M \pm MS$ )

2.2.3 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗气孔导度的影响 植物叶片对干旱胁迫的初始响应是通过气孔导度来实现的。由图 3 可知,胁迫初期,无论是无钙组还是钙处理组幼苗叶片的气孔导度都随干旱胁迫程度的加剧而减小,在中度干旱和重度干旱胁迫下,气孔导度与对照存在显著性差异。而在胁迫中期和胁迫末期,不同干旱程度均与对照存在差异,但轻度、中度、重度干旱处理间并未表现出差异性。可见,在胁迫中期、胁迫末期植物气孔导度并不会随干旱程度的加剧而发生明显变化。

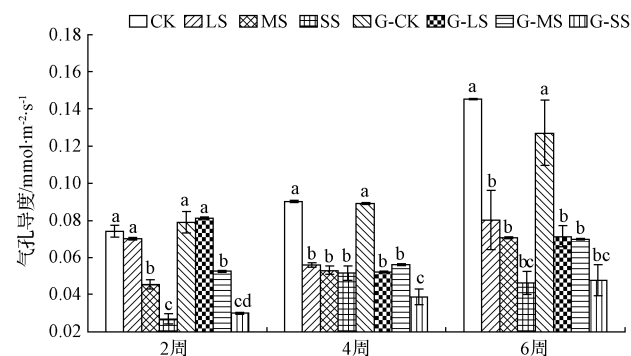


图 3 外源钙对干旱条件下复羽叶栎树幼苗气孔导度的影响(平均值±标准误)

Fig. 3 Effects of drought stress with exogenous  $\text{Ca}^{2+}$  on Gs of *Koelreuteria paniculata* ( $M \pm MS$ )

2.2.4 外源钙对干旱胁迫下复羽叶栎树幼苗水分利用效率的影响 从图 4 可以看出,胁迫初期,无论是无钙组还是钙处理组,幼苗水分利用效率均呈现先下降后上升的趋势,并且在中度、重度干旱胁迫时 WUE 达到甚至超过对照水平,且干旱胁迫组间存在显著性差异。胁迫中期,无钙处理组各干旱胁迫水分利用效率均低于对照(CK),并与 CK 存在差异,其中,轻度干旱组与中度干旱组间无差异;钙处理组轻度干旱情况下幼苗水分利用效率与对照(G-CK)无差异,但其水分利用效率高于对照,中度干旱显著低于对照,而在重度干旱胁迫时,幼苗水

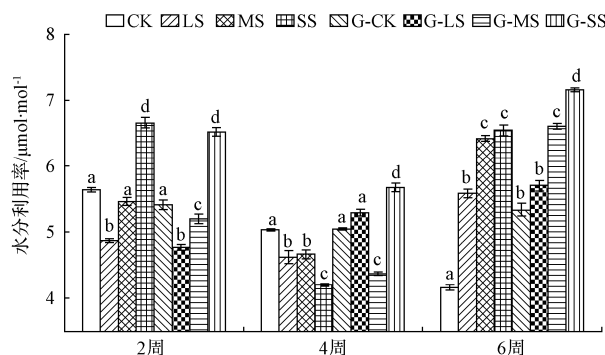


图 4 外源钙对干旱条件下复羽叶栎树幼苗水分利用效率(WUE)的影响(平均值±标准误)

Fig. 4 Effects of drought stress with exogenous  $\text{Ca}^{2+}$  on WUE of *Koelreuteria paniculata* ( $M \pm MS$ )



分利用效率明显高于对照。胁迫末期,无钙组轻度、中度、重度干旱胁迫时,幼苗水分利用效率分别增加了34.3%、54.2%、57.3%。钙处理组分别为6.9%、23.8%、34.2%。并且相同干旱胁迫处理下钙处理组所表现出来的WUE高于无钙组。

### 3 讨论

#### 3.1 干旱环境下植物相对含水量及光合作用的影响

相对含水量反映植物组织水分含量多少,随环境水分减少而减少。相对含水量和饱和水分亏缺比单纯的含水量更能较为敏感的反应植物水分的变化情况,在一定程度上反映了植物水分亏缺的程度<sup>[22]</sup>。在干旱胁迫条件下,土壤中的可利用水分减少,导致根系吸水困难,相对含水量降低<sup>[23]</sup>。孔艳菊等<sup>[24]</sup>黄栌幼苗的研究表明,随着干旱胁迫的加剧,黄栌幼苗相对含水量有不同程度的下降,但在整个过程中都维持在较高水平,下降幅度不大。该试验中,复羽叶栎树幼苗在不同干旱条件下,所表现出的相对含水量的变化与上述研究不尽相同。随着干旱胁迫的加剧,复羽叶栎树幼苗相对含水量随干旱程度的加剧逐渐降低,并且表现出下降的幅度也随干旱程度的加剧而明显减小,下降幅度最大的是胁迫初期,其次分别为中期和末期。在干旱末期,即使是对照组所表现出的相对含水量也与初期、中期存在较大的差异,这可能与干旱胁迫末期较高的环境因素(如温度)有关。

许多研究发现,随土壤水势的降低,植物的光合速率会显著下降。据李保国等<sup>[25]</sup>报道,在高温干旱条件下,板栗叶片温度升高、气孔阻力加大,光合速率大大降低。刘锦春<sup>[26]</sup>在对柏木幼苗的研究中发现,随着干旱条件的加剧,柏木幼苗的光合速率、蒸腾速率、气孔导度均呈下降趋势,并表现为干旱程度越严重,下降幅度越大;而幼苗的水分利用效率在重度胁迫之前随胁迫程度的加剧而增加。该研究结论与上述研究相符,复羽叶栎树幼苗在干旱条件下,以低光合、低蒸腾、高水分利用效率的对策来适应干旱环境。

气孔运动是植物调整光合器官对环境变化最迅速的方式<sup>[27]</sup>。植物在遭受干旱胁迫时,通过气孔的关闭来控制水分的丧失被认为是一种早期的抗旱策略,但气孔的关闭必然会限制碳的获取,因此会降低净光合速率<sup>[28-29]</sup>。在许多研究中,干旱植物的气孔导度和净光合速率表现出很强的相关性,均表明气孔行为和光和活性存在协同性<sup>[30]</sup>。

在该研究中,复羽叶栎树幼苗在干旱胁迫下净光合速率、蒸腾速率均下降,气孔导度也随土壤干旱的加剧而呈整体下降趋势。在胁迫初期Pn、E及Gs均随干旱的加剧而显著降低;中期虽然Pn、E仍表现出干旱越严重,值越低,但气孔导度并未明显变化,而是维持在一个

相对胁迫初期时较高的水平上;胁迫末期,在Pn、E均下降的情况下,轻度干旱组与中度干旱组间气孔导度未表现出显著性差异。并且胁迫中期、末期气孔导度下降的幅度均小于胁迫初期。因此该研究中Pn的降低不能简单的归结为气孔导度调节的结果。

#### 3.2 外源钙对于干旱环境下复羽叶栎树幼苗相对含水量及光合作用的补偿效应

在植物必需元素中,Ca<sup>2+</sup>具有极其特殊的作用,它不仅作为细胞的结构物质,而且作为第二信使,与钙调素结合调节细胞内多种具有重要功能的酶活性和细胞功能<sup>[31-32]</sup>。调节植物对环境变化的响应过程,在环境胁迫下,钙和钙调素参与胁迫信号的感受、传递、响应与表达,提高植物的抗逆性<sup>[33]</sup>。干旱胁迫下,植物对Ca<sup>2+</sup>的吸收显著降低,由此造成植物体内Ca<sup>2+</sup>的缺乏,引起一系列的不良反应,外源钙能够缓解干旱胁迫的伤害,在提高植物抗旱性方面发挥重要作用。

干旱对光合作用和呼吸作用均有不利影响,首先是抑制植物的光合作用,使植物净光合速率降低。杨根平等<sup>[34]</sup>研究表明钙处理可以增强气孔对水分胁迫的敏感性,提高防御系统对于干旱危害的抵抗力,维持系统的稳定性,提高受旱大豆叶片光合作用效率。

该研究中,经外源钙处理的复羽叶栎树幼苗,其叶片相对含水量、净光合速率均高于相同水分处理条件下的无钙组,并且随着干旱胁迫强度的加强,钙处理组的RWC、Pn降低的速度与幅度均明显小于无钙处理组。从试验的整体趋势可得出,外源钙处理对于干旱条件下复羽叶栎树幼苗的光合及水分特性表现出一定的补偿效应。

综上所述,气孔运动是植物调节光合作用最直接的方式,而对于干旱胁迫下的植物进行钙处理,引起植物光合作用和特性发生变化。此种条件下,钙离子对植物叶片气孔运动的影响究竟是如何实现的,或者说经Ca<sup>2+</sup>处理的植物其气孔运动的方式是否发生了变化,从而直接增大了气孔阻力,减小了蒸腾作用,保障了光合活性等问题,都有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 国家计委国土开发与地区经济研究所,国家计委国土地区司. 中国人口资源环境报告[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.
- [2] 国家计划委员会,国家科学技术委员会. 中国21世纪议程-中国21世纪人口、环境与发展白皮书[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994.
- [3] Yuan D X. On the environmental and geologic problems of karst mountains and rocks in the South west China[M]. World Sci-tech Research and Development,1997.
- [4] Wang K L. Natural resource deterioration,environmental degradation and sustainable resettlement in Southwest China[J]. The Journal of Chinese Geography,1998,8(2):39-48.
- [5] 李阳兵,邵景安,王世杰,等. 岩溶生态系统脆弱性研究[J]. 地理科学进展,2002,25(5):1.
- [6] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆:重庆出版社,1988.

- [7] Kstes, Robert W, Chen R S. Poverty and global environmental change, bulletin of international geographical union[J]. Bonn, 1993, 43(1): 5-14.
- [8] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [9] 李阳兵. 重庆市典型岩溶山地生态系统退化机理研究[D]. 重庆:西南农业大学, 2002.
- [10] 袁道先. IGC379“岩溶作用与碳循环”在中国的研究进展[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(1): 49-51.
- [11] Downing T E, Patwardhan A. Vulnerability assessment for climate adaptation[EB/OL]. [http://start.org/Downing\\_PatwardhanTP3.pdf](http://start.org/Downing_PatwardhanTP3.pdf), 2003.
- [12] World Conservation Union, World Wide Fund for Nature, and United Nations. Environmental programme, caring for the earth [M]. London: Earthscan, 1991.
- [13] Grant J P. The state of the world children[M]. New York: UNICEF/Oxford University press, 1994.
- [14] World Commission on Environmental and Development. Our common future[M]. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [15] 金静, 钟章成, 刘锦春, 等. 石灰岩地区土壤水分对木豆表型可塑性的影响[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(1): 89-92.
- [16] 刘锦春, 钟章成, 何跃军, 等. 重庆石灰岩地区十大功劳的光合响应研究[J]. 西南师范大学学报, 2005, 30(2): 316-320.
- [17] 刘锦春, 钟章成, 何跃军, 等. 重庆石灰岩地区十大功劳光合特性动态变化和对 CO<sub>2</sub> 的响应研究[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(2): 140-143.
- [18] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 石灰岩退化生态系统不同恢复阶段土壤酶活性研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 94-98.
- [19] 范文武, 陈晓德, 李加海, 等. 重庆中梁山海石公园石灰岩山地植物多样性研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009(5): 112-116.
- [20] Ford D C, Williams P W. Karst Geomorphology and hydrology[M]. Lond: Unwin Hyman Ltd, 1989.
- [21] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 上海: 高等教育出版社, 1994: 1-4.
- [22] Kramer P J, Kozlowski T T. Physiology of woody plants[M]. New York: Academic Press, 1979.
- [23] 曹兵, 苏润海, 王标, 等. 水分胁迫下臭椿幼苗几个生理指标的变化[J]. 林业科技, 2003, 28(3): 1-3.
- [24] 孔艳菊, 孙高明, 胡学俭, 等. 干旱胁迫对黄栌幼苗几个生理指标的影响[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(4): 42-46.
- [25] 李保国, 王永惠. 果树光合作用研究进展[J]. 河北林学院学报, 1990, 5(3): 254-261.
- [26] 刘锦春. 重庆石灰岩地区柏木幼苗对水分胁迫的生理生态适应性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [27] 赵平, 曾小平, 彭少麟. 植被恢复树种在不同实验光环境下叶片气体交换的生态适应性特点[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 1-8.
- [28] Bennett J M, Boote K J, Hammond L C. Relationship among water potential components, relative water content, and stomatal resistance of field-grown peanut leaves[J]. Peanut Sci, 1984, 11: 31-35.
- [29] Midgley G F, Moll E J. Gas exchange in arid-adapted shrubs: when is efficient water use a disadvantage[J]. South African J of Botany, 1993, 59(5): 491-495.
- [30] Arndt S K, Clifford S C, Wanek W, et al. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree Ziziphus rotundifolia in response to progressive drought stress[J]. Tree Physiology, 2011, 21: 1-11.
- [31] McAinsh M R, Brownlee C, Hetherington A M. Calcium ions as second messenger in guard cell signal transduction[J]. Plant Physiol, 1997, 100: 16-19.
- [32] 龚明, 杜朝昆, 许文忠. 钙和钙调素对玉米幼苗抗旱性的调控[J]. 西北植物学报, 1996, 16(3): 214-220.
- [33] 杨廷良, 崔国贤, 罗中钦, 等. 钙与植物抗逆性研究进展[J]. 作物研究, 2004(5): 380-384.
- [34] 杨根平, 高向阳, 荆家海. 水分胁迫下钙对大豆叶片光合作用的改善效应[J]. 作物学报, 1995, 2(6): 711-716.

## Effect of Drought Stress with Exogenous Ca<sup>2+</sup> on Relative Water Content and the Characteristics of Photosynthesis of *Koeleruteria paniculata*

CAI Xi-yue<sup>1</sup>, CHEN Xiao-de<sup>1</sup>, LIU Cheng<sup>1</sup>, ZHANG Shu-qin<sup>2</sup>, FAN Ting-xing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Eco-environments in the Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in the Three Gorges Reservoir Region, College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Guang'an Vocational College of Technology, Guang'an, Sichuan 638000)

**Abstract:** Taking the seedlings of *Koeleruteria bipinnata* as material, weighing control water to simulate drought, the influence of exogenous calcium on relative water content and the characteristics of photosynthesis at different drought stress were studied. The results showed that processing of exogenous calcium was conducive to overall ease influence of seedlings in the arid environment, and to ensure the normal growth of the plants in the face of adversity. For the relative water content, the more serious the stress, the greater the falling. But, the same stress level with non-calcium group, exogenous calcium treatment, the amplitude as well as speed of the drop of RWC reduced, and the RWC can not back to the control level in the calcium group. For the influence of the photosynthetic characteristics, seedlings took the strategy that lower photosynthetic, lower transpiration, higher water use efficiency to adapt to the drought environment. Through the exogenous calcium treatment, the speed and amplitude of photosynthetic rate reduction decreased, and further reduction of transpiration, at the same time the reduction of stomatal conductance was limited, and improved the water use efficiency at drought conditions.

**Key words:** *Koeleruteria bipinnata*; drought stress; exogenous calcium; relative water content; photosynthesis