

卢志锋, 聂珍臻, 蓝学, 等. 不同干旱条件下焕镛木的生长及光合特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 236-239.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.078

不同干旱条件下焕镛木的生长及光合特性

卢志锋¹, 聂珍臻², 蓝学¹, 覃德文²

(1. 广西国有维都林场, 广西来宾 537000; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 530005)

摘要:本研究采用正常供水 CK(土壤水分含量为最大田间持水量的 80%, 下同)、轻度干旱胁迫 P₁(65%)、中度干旱胁迫 P₂(35%)、重度干旱胁迫 P₃(15%) 4 种处理方式对焕镛木抗旱能力展开研究, 对焕镛木叶片光合指标和叶绿素荧光值进行分析。结果表明: 随着干旱强度的增强, 焕镛木的光合作用能力不断降低, P_{max}、T_r、C_s 等光合指标不断下降。但 C_i 值在 P₂ 处理条件下达到最低, 植物细胞获取 CO₂ 能力逐渐稳定, 表现出焕镛木较弱的抗旱能力; 在对叶绿素荧光日变化值进行研究时发现, F_v/F_m、Φ_{PSII} 值随着照度日变化会自我恢复到一个稳定值, 表明焕镛木在逆境条件下能够维持植物体内一定的光合作用, 保证植物体自身的能量获取。

关键词: 干旱胁迫; 焕镛木; 光合能力; 叶绿素荧光值

中图分类号: Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0236-03

焕镛木 (*Woonyoungia septentrionalis*) 为木兰科 (Magnoliaceae) 的常绿阔叶乔木, 别称单性木兰、细蕊木兰, 生长于海拔 300~500 m 的石灰岩山地林中和密林中, 为国家一级保护植物。该类群植物主要分布于广西南部、云南西双版纳等地区, 其中广西北部(罗城、环江)、贵州东南部(荔波)零星分布^[1]。该树树干通直, 材质轻软, 气干密度为 0.783 g/m³, 其树叶浓绿、秀气、革质, 雌雄异株, 雄花被片白色带淡黄色。倒卵形, 内轮 8~10 张叶片, 线状披针形, 在森林中宛如婷婷玉立少女, 为名贵稀有观赏树种。谭金桂等对焕镛木进行花粉石蜡切片和细胞学压片, 得出小孢子形成时胞质分裂方式为修饰性同时型; 四分体排列方式以四面体型为主, 雄配子体发育中的败育不是影响焕镛木濒危的主要因素^[2]。该树树干通直, 材质轻软, 气干密度为 0.783 g/m³, 其树叶浓绿、秀气、革质, 雌雄异株, 雄花被片白色带淡黄色。倒卵形, 内轮 8~10, 线状披针形, 在森林中宛如婷婷玉立少女, 为名贵稀有观赏树种。该树种适生在肥沃酸性土壤中, 在干旱瘠薄地生长碧聊, 抗风力较差, 探讨其在不同生境下的生长状况具有科学价值。国内外对焕镛木研究较少, 多集中于物种的鉴定、病害研究以及植被多样性调查^[3-5], 李宗艳等研究发现, 大多数木兰科植物在繁殖过程中能力较差, 对环境的适应能力较弱^[6]。Vaidyanathan 等在对 100 种木兰科植物物种调查时发现, 绝大多数木兰属植物药用价值高, 广泛运用于当地居民生活当中^[7]。在广西木兰科植物研究中, 袁铁象等通过在采集广西区内苗木种植数据总结出焕镛木种植密度在 2 m×2 m 的距离为适宜密度^[8]。目前, 对焕镛木的研究多局限于 21 世纪初, 而对焕镛木苗木的研究至今尚未有报道。因此, 本试验

基于焕镛木苗木生长的研究, 对其进行不同强度的干旱胁迫处理, 测定其苗木光合特性指标和叶绿素荧光参数指标, 探讨其对于干旱生长环境的适应能力, 该树种在逆境环境下植物光合能力的响应状况, 为今后发展焕镛木的引种栽培和推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用广西维都林场一年生优质焕镛木实生苗作为参试材料, 在广西大学林学院苗圃试验大棚内进行, 采用盆栽对苗木进行干旱胁迫试验。用黄心土: 细沙为 3:1 的混合土作为育苗基质, 基质土在装盆前用 0.5% 高锰酸钾溶液消毒。

1.2 试验处理

试验设置 4 个水分梯度, 分别为正常供水(土壤水分含量为最大田间持水量的 80%, 下同)、轻度干旱胁迫(65%)、中度干旱胁迫(35%)、重度干旱胁迫(15%), 用 CK、P₁、P₂、P₃ 表示, 焕镛木在广西大学苗圃内进行培育。2013 年 4 月 30 日, 将温室中培育的生长状况良好的具有 12~20 张叶片、地下根系长度为 5 cm、株高为 30~35 cm 的焕镛木幼苗移植入苗木盆内, 每个处理 6 盆, 3 个重复, 在此期间进行日常养护管理。待移植苗木适应了苗木盆生长环境后, 于 2013 年 5 月 10 日开始控水, 用称质量法控制土壤含水量, 在各处理期间于每日 17:00 时用电子天平称质量补水, 保证土壤内的含水量。

1.3 试验方法

1.3.1 光合生理指标的测定 当各处理的土壤含水量(RWC)达到标准后 20 d 时, 开始叶片气体交换参数的测定。各处理取叶片 3~6 张, 用精度为 0.001 g 的电子天平称其鲜质量(m); 称质量后, 置于 85℃ 烘箱内 48 h, 测定叶片干质量, 计算叶片的相对含水率。运用 TYS-A SPAD-502 叶绿素测定仪测定不同处理下叶片叶绿素含量。

1.3.2 叶片气体交换参数的测定 待干旱处理 20 d 后, 于测定日 09:00—18:00 进行气体交换测定, 分别选取各处理下

收稿日期: 2014-09-28

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(编号: XDA5050205)。

作者简介: 卢志锋(1973—), 男, 广西来宾人, 工程师, 从事森林培育和林业经营管理方面研究。E-mail: 704232274@qq.com。

通信作者: 覃德文, 博士研究生, 从事森林经营、森林生态和生态经济的研究工作。E-mail: qin_dw@mail.gxu.cn。

的植株顶端完全展开的功能叶,采用LI-6400XT光合测定系统(IRGA,LI-COR, Lincoln, USA)测定焕镡木的叶片气体交换参数。对苗木进行30 min的暗适应,运用FMS-1叶绿素荧光仪测定叶片叶绿素荧光数据。

2 结果与分析

2.1 叶片相对含水量和叶绿素的影响

试验结果(图1)表明,随着干旱胁迫程度的加强,焕镡木叶片的相对含水量均呈下降趋势,各处理间差异显著($P < 0.05$)。与空白对照(CK)相比,焕镡木叶片相对含水量在 P_1 、 P_2 、 P_3 条件下分别下降11.91%、56.32%、63.59%,在干旱胁迫 P_3 下,焕镡木叶片相对含水量只有26.21%,均低于植物荻和芒^[9],表现出较低水平的抗旱能力;而焕镡木的叶片相对含水量在3种干旱胁迫下分别下降6.3%、12.7%、23.1%。除正常供水外,相同土壤干旱胁迫下,焕镡木下降幅度较大,叶片保水能力差,从而直接影响其光合作用。

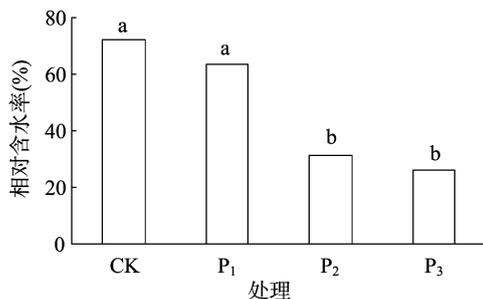


图1 干旱胁迫对叶片相对含水率的影响

图2表明,在土壤干旱胁迫下,焕镡木叶绿素含量随着土壤含水量的下降而降低,各组处理间差异显著($P < 0.05$)。与空白对照(CK)相比,焕镡木在 P_1 、 P_2 、 P_3 干旱胁迫下叶绿素含量分别下降0.049、0.125、0.156 mg/g。干旱胁迫导致焕镡木叶片失水,植物体内光合作用不能正常进行,植物体对能量的获取能力减弱,从而抑制焕镡木叶绿素的生物合成,加速已合成的叶绿素分解,而在 P_3 处理中叶绿素含量仅为0.103 mg/g,相比干旱20 d后紫花苜蓿和早熟禾^[10](重度干旱条件)叶绿素含量均少了0.01 mg/g,表明在干旱条件下焕镡木光合能力较弱,直接说明焕镡木叶绿素含量的下降会造成其光合能力下降^[11]。

2.2 光响应曲线

通过比较不同土壤干旱胁迫下焕镡木光响应曲线的变化(图3)可知,焕镡木的光响应曲线均在 $431 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 趋

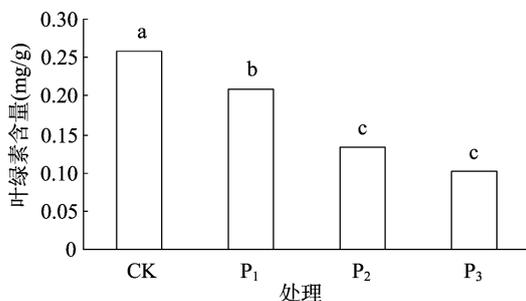


图2 干旱胁迫对叶片叶绿素含量的影响

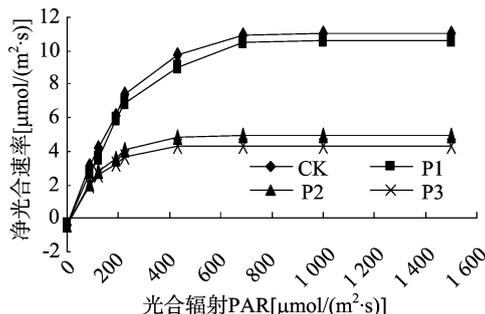


图3 干旱胁迫对焕镡木光响应曲线的影响

于平稳,即随着干旱胁迫程度的加剧, P_n 逐渐下降。该树种在 P_1 干旱条件下已与CK存在较大的差异,特别是在 P_3 条件下,焕镡木 P_n 值降到 $6.75 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,焕镡木的光合作用表现出较差的抗旱能力。

2.3 叶片气体交换参数指标

焕镡木的各项光合作用参数对于干旱胁迫非常敏感, P_{max} 、 T_r 、 C_i 、 G_s 均随着干旱程度的增强而下降,不同环境间差异显著($P < 0.05$)。结果(表1)表明,从 P_1 处理变化到 P_4 处理, P_{max} 值从 $11.02 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 降低到 $4.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光合能力逐渐减弱。随着光合作用的显著降低,焕镡木的蒸腾速率也逐渐下降,在 P_3 干旱胁迫条件下,气孔导度降低,气孔限制值达到最低,减缓叶片蒸腾速率仅为 $1.88 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,植物体表现出对干旱环境的响应。另外,焕镡木的 G_s 随着土壤干旱胁迫程度的加剧而下降,各处理间差异显著($P < 0.05$),在 P_2 、 P_3 干旱胁迫下仅为正常情况下的45.32%、40.11%;焕镡木 C_i 值随着干旱胁迫程度的加剧呈先下降后上升的趋势, P_3 干旱胁迫 C_i 值最低为 $213.36 \mu\text{mol}/(\text{mol}^2 \cdot \text{s})$,随后在 P_3 干旱胁迫下 C_i 值缓慢上升,且各处理间 C_i 值差异显著($P < 0.05$)。

表1 干旱胁迫对光合速率的影响

| 组别 | 气孔导度 G_s [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 胞间 CO_2 浓度 C_i ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) | 最大净光合速率 P_{max} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] | 水分利用效率 WUE($\mu\text{mol}/\text{mmol}$) | 气孔限制值 L_s (%) |
|-------|---|---|---|---|--|--------------------|
| CK | $121.23 \pm 19.22a$ | $455.43 \pm 34.14a$ | $11.02 \pm 1.46a$ | $4.33 \pm 0.23a$ | $2.88 \pm 0.34a$ | $9.31 \pm 2.01a$ |
| P_1 | $109.65 \pm 7.91b$ | $413.63 \pm 27.22b$ | $9.88 \pm 2.34b$ | $3.58 \pm 0.27b$ | $2.32 \pm 0.54b$ | $5.99 \pm 1.77b$ |
| P_2 | $55.61 \pm 5.13c$ | $255.22 \pm 27.77c$ | $5.12 \pm 1.54b$ | $2.01 \pm 0.35b$ | $1.89 \pm 0.18c$ | $3.54 \pm 0.27b$ |
| P_3 | $32.12 \pm 6.65d$ | $213.36 \pm 15.21c$ | $4.11 \pm 2.53b$ | $1.88 \pm 0.51c$ | $1.78 \pm 0.31c$ | $2.79 \pm 1.21b$ |

植物水分利用效率(WUE)是衡量植物水分消耗与同化代谢之间关系的重要综合性指标,有2种计算方式:(1)通过 CO_2 交换速率与蒸腾速率之比来衡量;(2)光合产物积累量与除以蒸腾水分散失量来计算^[12]。该数值不受叶龄、枝条部

位、树冠部位等因素的影响,是一个稳定的生理指标^[13]。由表1可知,随着干旱胁迫强度的增强,焕镡木叶片水分利用效率均呈下降趋势,干旱胁迫处理程度不同,下降幅度有一定的差异($P < 0.05$)。随着干旱胁迫的发生,叶片水分利用率急

剧下降,在 P_1 干旱胁迫条件下,WUE 值下降了 23.56%。随着干旱强度的增强,WUE 变化较缓慢,曲线较平稳,但总体 WUE 值处于较低水平,水分利用能力较差。

2.4 光合活性的日变化

水分胁迫通过两方面影响光合作用:(1)物质流受阻。气孔开度关闭,直接减少 CO_2 供应。(2)能量流受阻。通过影响放氧复合体功能、膜结构等功能破坏光系统间电子传递过程。气孔关闭为水分胁迫的应激反应,直接导致胞间 CO_2 浓度下降引起光合速率降低^[14-15]。

焕镡木光合活性(F_v/F_m 、 Φ_{psII})随着干旱强度的增加呈明显的下降趋势(图4、图5)。在正常浇水的情况(CK)下, F_v/F_m 中午强光时 P_1 处理比对照低 18.65%,意味着强光诱导光抑制发生;在干旱胁迫的情况下, F_v/F_m 均显著下降至 31.78%左右,焕镡木受干旱胁迫影响明显。与 P_1 、 P_2 、 P_3 条件相比, P_3 条件下的 F_v/F_m 下降速度最快,总体水平为 4 个处理最低。 P_1 、 P_2 干旱处理间差异值较小,05:00—10:00 时的 F_v/F_m 下降较慢,1 h 内仍维持在起始值的 85.2%左右,随后加快;处理 P_3 时 F_v/F_m 始终较快下降。不同干旱处理强度, F_v/F_m 均能当日恢复,4 个处理均在 10:00—13:00 期间下降,表明发生的均为动态光抑制^[16]。焕镡木 F_v/F_m 在经历中午高强度、高温后的 2 h 内可恢复至 0.63 左右。光抑制最严重的 P_3 处理的 F_v/F_m 当日也可完全恢复,但所需时间缓慢,比其他干旱处理延后 1 h,发生的光抑制较严重。

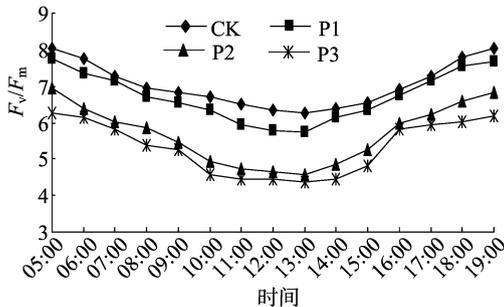


图4 干旱胁迫对焕镡木 F_v/F_m 的影响

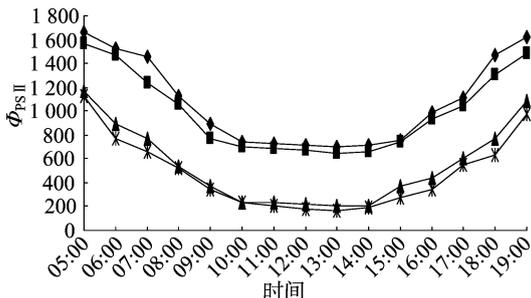


图5 干旱胁迫对焕镡木 Φ_{psII} 的影响

与 F_v/F_m 相比, Φ_{psII} 下降幅度更大,不同干旱程度条件下也下降 80%左右。与 P_1 、 P_2 、 P_3 处理相比,空白对照(CK)处理的 Φ_{psII} 下降最快,1 h 内降至接近最低水平; P_1 、 P_2 、 P_3 处理也有差别,09:00 开始 Φ_{psII} 值均达到较低水平, P_3 处理下变化最明显。 Φ_{psII} 傍晚开始恢复, P_3 干旱程度情况下 Φ_{psII} 当日一直下降。各种干旱胁迫情况下, Φ_{psII} 均不能当日完全恢复,具有滞后性,但次日 06:00 均能恢复到起始水平,说明焕镡木在呼吸作用中表现出很强的恢复能力。

3 结论与讨论

本试验结果表明,焕镡木随着干旱程度的加强表现出明显的响应,植物叶片含水率、叶绿素含量降低,迫使叶片光能吸收与转化能力降低,光能不能得到合理的分配和损失。在干旱胁迫下,破坏了焕镡木光系统 II (PS II) 光合作用的能力^[17],表现为 P_n 值降低到 $4.26 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,与空白对照试验值相差 $6.75 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。随着干旱程度的加强,植物体水分利用效率不断降低, P_2 、 P_3 情况下趋于平稳。同时,焕镡木 P_{max} 在重度干旱情况下为 $4.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,远低于杨树在干旱情况下的光合能力^[18]。另外在干旱胁迫的逆境下,焕镡木叶片的气孔导度值也随之降低,植物体获取 CO_2 能力降低。在 P_2 处理下,胞间 CO_2 浓度稳定于 $250 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 左右,表明焕镡木在中度干旱胁迫下,气孔关闭程度增加,气孔导度下降,直接抑制了光合作用和获取 CO_2 的正常进行^[19]。同时,在干旱逆境下焕镡木的蒸腾速率也不断下降,保持在一个较低水平,以限制植物体内水分的流失。

结合焕镡木叶绿素荧光值 F_v/F_m 、 Φ_{psII} 值日变化状况可以得出,干旱胁迫的逆境条件下,非光化学能耗散能从强到弱依次为 $CK > P_1 > P_2 > P_3$,逆境条件下直接造成焕镡木叶片光抑制,干旱胁迫强度的增强影响了植株的自我恢复能力,叶绿素荧光 F_v/F_m 值反映了焕镡木的环式电子传递能力,在逆境条件下,焕镡木 F_v/F_m 值均小于 0.7 ^[20],光合作用严重受到影响,但 Φ_{psII} 值日变化的自我恢复能力缓慢,未能与正常情况下(CK)迅速恢复,但仍可恢复到凌晨的 Φ_{psII} 值,表明焕镡木仍具有抗旱能力,维持在逆境情况下较低的光合能力。

焕镡木作为广西珍贵乡土树种,抗旱能力较弱,但该树种光系统 II 在逆境情况下具有一定的自我修复能力,能够维持在一个较低水平的光合能力。因此,在发展焕镡木种植过程中须要保证充足的水分,表明该植物适应种植于亚热带季风带降雨量充足的地区。本试验主要研究光合特性对焕镡木抗旱能力的影响,今后可深入对该植物的叶脉结构、植物水利结构和细胞超纤维结构等方面进行研究。

参考文献:

- [1] 李树刚, 韦发南. 广西植物志[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2005.
- [2] 谭金桂, 吴 鸿, 李 勇, 等. 焕镡木小孢子发生及雄配子体发育研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(5): 937-944.
- [3] 谢宝多, 曹跃进, 唐明武, 等. 观光木青枯病的研究[J]. 中南林学院学报, 1985, 5(1): 42-50, 106.
- [4] 曹 阳. 厚朴伪品含笑的鉴别[J]. 现代中药研究与实践, 2004, 18(5): 33-34.
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [6] 李宗艳, 郭 荣. 木莲属濒危植物致濒原因及繁殖生物学研究进展[J]. 生命科学研究, 2014, 18(1): 90-94.
- [7] Vaidyanathan D, Senthilkumar S, Sisubalan N, et al. Studies on ethnomedicinal plants used by Malayali Gounder Tribes in Pachamalai of Eastern Ghats, Tamil Nadu, India[J]. Advances in Applied Science Research, 2014, 5(1): 244-253.

刘旭,王昊,谭军. 水分胁迫对紫薇生长及生理生化特征的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):239-241.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.079

水分胁迫对紫薇生长及生理生化特征的影响

刘旭,王昊,谭军

(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏宿迁 223800)

摘要:采用温室盆栽控水试验方法,研究不同程度水分胁迫下紫薇幼苗生长和叶片生理生化指标变化情况。结果表明,随着胁迫程度的加重,紫薇生物量增量、相对株高生长、相对地茎生长、开花持续时间、每株颖花数均减少,说明水分胁迫不仅影响紫薇的营养生长同时也影响紫薇生殖生长。生理生化分析表明,叶片中游离脯氨酸含量、可溶性糖含量、丙二醛(MDA)含量以及相对脂膜透性随着胁迫程度加重而增大,可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性随着胁迫程度加重先降低后升高。

关键词:水分胁迫;紫薇;生长量;生理生化特性

中图分类号: S685.990.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0239-03

紫薇(*Lagerstroemia indica*)为千屈菜科紫薇属植物,是江苏省宿迁市市花。紫薇树姿优美,树干光滑洁净,花色艳丽,开花时正当夏秋少花季节,花期长,花期6—9月,故有“百日红”之称。目前,关于紫薇抗性方面研究主要是在紫薇品种抗病性和抗低温能力的方面^[1-3],而关于紫薇抗旱性研究较少。由于紫薇在园林绿化中被广泛种植,某些地方遇到干旱或者疏于管理,缺水严重,造成紫薇花色不美,甚至造成整株死亡,严重影响其观赏性。本研究旨在探讨影响紫薇开花的水分因素,为紫薇园林绿化栽培管理提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计与材料

试验在宿迁市农业科学研究所连栋温室中进行,盆规格为直径25 cm、高30 cm,取沙壤土烘干,过筛装盆,每盆装干土7.5 kg。土壤田间持水量为33.4%,其中土壤水解N、有效P、速效K含量分别为119、30、12.0 mg/kg,有机质含量为4.6%。供试材料为1年生长势均匀、长相较为一致的红花紫薇实生苗(高35 cm、地径5 mm),每盆3株。共设4个处理, W₁表示正常田间持水量, W₂、W₃、W₄分别表示土壤含水量为土壤田间持水量的75%、50%、25%,每处理种植8盆。苗木于2014年3月20日栽植于盆中,放室外按正常水肥管理,2014年4月22日将盆移到连栋温室中对供试苗木进行水分控制,控水期间,每天傍晚测定土壤容积含水量,用天平称重补足其失去的水分。控水60 d后,于6月21日开始取样测

收稿日期:2014-10-02

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(14)2043]。

作者简介:刘旭(1978—),男,江苏宿迁人,硕士,助理研究员,从事林木花卉研究。E-mail:976632497@qq.com。

[8]袁铁象,黄应钦,梁瑞龙,等. 广西主要乡土树种[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2011.

[9]李强. 获和芒对干旱胁迫的生理响应和适应性[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2013.

[10]裴宗平,余莉琳,汪云甲,等. 4种干旱区生态修复植物的苗期抗旱性研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):204-208.

[11]韩刚,赵忠. 不同土壤水分下4种沙生灌木的光合光响应特性[J]. 生态学报,2010,30(15):4019-4026.

[12]Busch F, Hunter N A, Ensminger I. Biochemical constraints limit the potential of the photochemical reflectance index as a predictor of effective quantum efficiency of photosynthesis during the winter-spring transition in Jack pine seedlings[J]. Functional Plant Biology, 2009, 36(11):1016-1026.

[13]潘昕,邱权,李吉跃,等. 干旱胁迫下华南地区3种苗木渗透调节物质的动态变化[J]. 华南农业大学学报,2012,33(4):519-523.

[14]Williams M H, Rosenqvist E, Buchhave M. Response of potted miniature roses (*Rosax hybrida*) to reduced water availability during production[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology,

1999,74:301-308.

[15]Lawlor D W, Comic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants[J]. Plant, Cell and Environment, 2002, 25:275-294.

[16]许鹏波,薛立,潘澜,等. 稀土对低温胁迫麻楝幼苗生理生化特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(2):34-40.

[17]姜英,郝海坤,黄志玲,等. 红锥苗期生长特性和叶绿素荧光对不同光强的响应[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(10):61-65.

[18]张守仁,高荣孚,王连军. 杂种杨无性系的光系统II放氧活性、光合色素及叶绿体超微结构对光胁迫的响应[J]. 植物生态学报,2004,28(2):143-149.

[19]Uehlein N, Otto B, Hanson D T, et al. Function of nicotiana tabacum aquaporins as chloroplast gas pores challenges the concept of membrane CO₂ permeability[J]. The Plant Cell Online, 2008, 20(3):648-657.

[20]周建,杨立峰,郝峰鸽,等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(1):136-142.