

华南地区3种苗木生长旺盛时期光合特性及蒸腾耗水日变化规律的比较

邱 权, 潘 昕, 何 茜, 李吉跃, 苏 艳, 林 雯

(华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要:采用 Li-6400 光合系统测定方法和盆栽苗木称重法, 分别对华南石灰岩地区特有树种任豆 *Zenia insignis* 以及 2 种石灰岩地区造林供选树种石斑木 *Rhaphiolepis indica* 和 楝叶吴茱萸 *Evodia glabrifolia* 光合特性和蒸腾耗水日变化规律进行比较。结果表明: 在苗木生长旺盛时期, 与任豆相比, 石斑木和楝叶吴茱萸具有相近甚至更佳的光合生长能力和节水性能; 光合特性方面, 正常条件下 3 种苗木净光合速率日变化曲线均呈“双峰型”, 1 d 中最高净光合速率石斑木最高, 达到 $(11.709 \pm 0.392) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 楝叶吴茱萸次之, 任豆最低; 光响应曲线特征参数值显示石斑木光合生长能力最强, 任豆和楝叶吴茱萸相近; 耗水特性方面, 任豆昼夜耗水量显著高于石斑木和楝叶吴茱萸, 白天耗水量约占全天耗水量的 90%, 3 种苗木的最大耗水速率相对较小, 介于 $2.91 \times 10^{-4} \sim 4.28 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 其中楝叶吴茱萸的最大耗水速率低于任豆, 而石斑木略高于任豆, 并且 3 种苗木最大耗水速率与白天平均耗水速率的平均比值约为 1.6。

关键词:石灰岩地区; 光合日变化; 光响应曲线; 耗水

中图分类号: S718.43

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)04-0524-05

Comparison of Daily Variations in Photosynthesis and Water-Consumption of Seedlings in Vigorous Growth Period of Three Tree Species from South China

QIU Quan, PAN Xin, HE Qian, LI Ji-yue, SU Yan, LIN Wen

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Daily variations in photosynthesis and water-consumption in the seedlings were compared among three species by using Li-6400 photosynthetic system and by weighting potted seedlings. The experimental species included an endemic tree species (*Zenia insignis*) distributed in limestone area in south China and two other tree species (*Evodia glabrifolia*, *Rhaphiolepis indica*) commonly used for afforestation in limestone area. The results showed that *R. indica* and *E. glabrifolia* had similar or better ability to grow through photosynthesis and water conservation as compared with *Z. insignis* in vigorous growth periods. As for photosynthetic characteristics, the daily variation trend of net photosynthetic rate of seedlings from the three species was a “twin peaks” curve. *R. indica* had the highest net photosynthetic rate, reaching $(11.709 \pm 0.392) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; *E. glabrifolia* took second place, and *Z. insignis* was at the lowest level. The parameter values on photoresponse curve indicated that *R. indica* had the most powerful ability to grow through photosynthesis, while *Z. insignis* and *E. glabrifolia* were similar to each other. As for the characteristic of water-consumption, the water-consumption in daytime and nighttime of *Z. insignis* was significantly higher than those of *R. indica* and *E. glabrifolia*. Water-consumption in daytime accounted for about 90% of the total consumption in the whole day. The water-consumption rate of the three species seedlings was comparatively low, between $2.91 \times 10^{-4} - 4.28 \times 10^{-4} \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Maximum water-consumption rate of *E. glabrifolia* was the lowest among them, while that of *R. indica*

收稿日期: 2011-12-15

作者简介: 邱 权 (1989—), 男, 硕士研究生; 通信作者: 李吉跃 (1959—), 男, 教授, 博士, E-mail: ljyymy@vip.sina.com

was slightly higher compared with *Z. insignis*, and the average ratio of the maximum water-consumption rate and the average water-consumption rate was about 1.6.

Key words: limestone area; daily change of net photosynthesis; photoresponse curve; water-consumption

光合作用和蒸腾作用是植物重要的生命活动,其中光合作用是植物生长的生理基础,蒸腾作用耗水则是树木水分散失的主要途径.在最新的研究中,关于毛白杨 *Populus tomentosa*^[1]、胡杨 *Populus euphratica* 和灰叶胡杨 *Populus pruinosa*^[2]、刺槐 *Robinia pseudoacacia*^[3-4]、侧柏 *Platycladus orientalis*^[4]、沙柳 *Salix psammophila*^[5]、沙棘 *Hippophae rhamnoides*^[6] 等树种的光合生理特性研究关注较多.蒸腾耗水方面的研究也一直较为活跃,其中对单株树木耗水量的精确计算尤为关键,国内外关于单株树木蒸腾耗水的研究方法较多^[7-14].任豆 *Zenia insignis* 为华南石灰岩地区特有树种,石斑木 *Rhaphiolepis indica* 和楝叶吴茱萸 *Evodia glabrifolia* 为石灰岩地区造林供选树种,一直以来,关于华南石灰岩地区造林树种筛选的研究比较少.华南石灰岩地区面临一系列的生态环境问题,而且形势日益严峻,据统计,南方片区面积约占全国裸石区面积的 60.6%^[15],李撰等^[16] 研究表明石灰岩地区除部分土壤较厚的地区为农田外,多为荒山坡和裸岩及森林植被稀少或郁闭度小的疏林,水土流失严重,生态环境日益恶化.我国南方石灰岩区丰富的降雨资源在地表的再分配特点是流动快、渗漏大、地表存水艰难,石灰岩裸露地区土体浅薄,保水性差,导致南方石灰岩地区可利用水资源少,易干旱,自然环境先天脆弱,因此石灰岩地区植物会经常面临水分胁迫逆境.另据冯汉华等^[17] 研究表明,岩溶区每年有 4~5 个月缺水.一般来讲,7—8 月份为苗木生长旺盛时期,光合作用最旺盛、水分消耗最大,研究这一时期苗木光合及耗水各项生理指标最具有代表性.本研究主要采用 Li-6400 光合系统测定方法和盆栽苗木称重法分别对华南地区 3 种苗木:楝叶吴茱萸、石斑木和任豆的光合特性和蒸腾耗水特性进行比较,分析 3 种苗木在光合生长能力以及抗旱节水能力上的差异,旨在为华南石灰岩地区选择生长迅速以及节水性能好的造林树种提供基础参考数据,并为石灰岩地区造林树种的抗旱性能的深入研究提供理论支持.

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择楝叶吴茱萸、石斑木、任豆的 2 年生苗木,

苗木基本情况见表 1.盆栽苗木所用花盆规格为 200 mm × 150 mm,每树种 30 盆,盆栽苗木所用土壤为一般林地土壤,取自华南农业大学树木园,其田间持水率为 $(26.87 \pm 2.07)\%$,容重为 $(1.34 \pm 0.07) \text{g/cm}^3$.

表 1 3 种苗木生长情况

Tab. 1 Growth status for the three species seedlings

树种	苗高/m	地径/mm	单株叶面积/cm ²
楝叶吴茱萸	0.75 ± 0.06	6.30 ± 0.97	4 353.12 ± 182.69
石斑木	0.60 ± 0.07	6.65 ± 1.31	3 836.05 ± 150.38
任豆	0.65 ± 0.03	12.16 ± 0.64	7 968.08 ± 125.39

1.2 光合日变化观察

2011 年 7 月 1—15 日期间,用 Li-6400 便携式光合作用分析系统(美国)选择 3 个典型晴天均于 08:00—18:00,每间隔 2 h 测定一次瞬时净光合速率,每种苗木选择 3 株,每株测定 3 片功能叶,观察 3 种苗木白天不同时间的瞬时净光合速率变化.

1.3 光响应曲线测定

2011 年 7 月 1—15 日期间,用 Li-6400 便携式光合作用分析系统(美国)选择 3 个典型晴天于 09:00—11:30 进行光响应曲线测定.测定过程使用红蓝光源,将叶室温度设定为稍高于空气温度,光强设置为 0、20、50、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 1 800 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.每种苗木选择 3 株,每株测定功能叶 3 片.

1.4 蒸腾耗水特性测定

2011 年 7 月初,每种选择 30 株生长正常、长势接近的苗木,并测定出苗木的苗高、地径和叶面积,对所有供试苗木进行日常浇水管理,对所有供试苗木浇透水后,用保鲜膜进行覆盖密封盆栽土壤处理,同时将苗盆用塑料袋完全套住,以防止土壤水分的蒸发影响苗木蒸腾耗水的研究.然后,每种苗木固定 6 盆,自覆膜套盆时起选择 3 个连续的典型晴天,于 08:00—20:00 每隔 2 h,以及翌日 08:00 用 SP-30 电子天平(美国)称盆质量,并且记下每次测定时的环境温、湿度,每次测量设 3 个重复.

1.4.1 耗水量测定 用 SP-30 电子天平(美国)于试验要求的时间点对供试苗木进行盆质量测定,然后根据称量结果分别计算出全天耗水量(当日 08:00—翌日 08:00)、白天耗水量(当日 08:00—

20:00)、夜晚耗水量(当日 20:00—翌日 08:00)。

1.4.2 单株叶面积测定 于耗水测定之前进行测定,具体为将叶片分级,每级记录叶片数量,并找出各级典型叶片计算出叶面积,以分级叶片数 \times 叶面积再相加之总和得到单株叶面积。

1.4.3 耗水速率测定 根据盆质量称量结果分别计算出白天、夜晚以及白天每个时间段(2 h)的耗水量,并用公式计算出对应的耗水速率:耗水速率=每个时间段的耗水量/(单株叶面积 \times 时间)。

1.5 数据分析方法

用 Excel 作图、SPSS 17.0 对试验数据进行方差分析、多重比较。

2 结果与分析

2.1 3 种苗木的光合日变化特征比较

大量研究表明,植物光合作用具有明显的日动态变化特征,水分充足时,太阳光照是主要的限制因素,净光合速率会随着光照强度的变化而改变,但当中午光照强度较大时,相对湿度小,水分供应紧张,植物会出现“午休”现象,净光合速率迅速下降。由图 1 可知,3 种苗木的净光合速率日变化呈典型的“双峰”曲线,峰值均出现在 10:00 和 16:00,且 10:00 时 3 种苗木的净光合速率均高于 16:00。其中 3 种苗木净光合速率第 1 峰值间存在显著性差异($P < 0.05$),其大小为:石斑木(11.709 ± 0.392) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ > 棘叶吴茱萸(7.767 ± 0.354) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ > 任豆(6.759 ± 0.242) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。石斑木净光合速率第 2 个峰值(7.151 ± 0.158) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 显著高于棘叶吴茱萸和任豆($P < 0.05$),其中棘叶吴茱萸略高于任豆。就变化趋势而言,棘叶吴茱萸和任豆基本一致,而石斑木则有不同的表现。从图 1 中日变化曲线可以看出,10:00 以后,3 种苗木净光合速率均

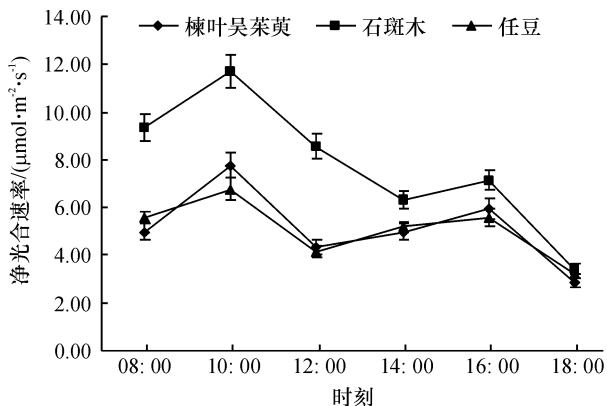


图 1 3 种苗木白天不同时间净光合速率变化

Fig. 1 Daily changes of net photosynthesis of the three species seedlings

呈下降趋势,但棘叶吴茱萸和任豆的拐点均出现在 12:00,石斑木则出现在 14:00,可见 3 种苗木虽然都存在“午休”现象,但石斑木午休的时间更长,14:00 以后才慢慢恢复到正常状态,说明石斑木对水分更为敏感,当温度很高,水分供应紧张时,通过部分气孔的较长时间关闭来控制水分的蒸散。

2.2 3 种苗木的光响应曲线特征比较

光响应曲线(即 P_n -PAR 曲线)描述的是植物净光合速率 P_n 与光合有效辐射 PAR 之间的关系,可以提供植物光合特性的相关生理参数,是判定植物光合效率的重要手段。光补偿点(Light compensation point, L_{CP})是植物利用弱光能力大小的重要指标,光饱和点(Light saturation point, L_{SP})是植物利用强光能力的评价指标,最大净光合速率($P_{n_{max}}$)是反映植物潜在生长能力的重要指标。由图 2 可以看出,3 种苗木的光响应曲线变化规律有所不同。本研究采用拟合效果较好的非直角双曲线(Farquhar 模型)^[18],利用 SPSS 统计软件中的非线性回归方法来估计模型参数^[19],从而得出 3 种苗木光响应曲线各特征参数值(表 2)。石斑木的最大净光合速率最大,分别比任豆和棘叶吴茱萸高 45.5% 和 55.7%,可见石斑木潜在光合生长能力最强,而任豆和棘叶吴茱萸比较接近。石斑木的光补偿点($15.60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和光饱和点($952.60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)均明显大于任豆和棘叶吴茱萸,相对而言,光补偿点和光饱和点均较高的石斑木为喜光植物。任豆和棘叶吴茱萸的光补偿点和光饱和点相差不大,喜光性相近。总体来讲,石斑木可利用光的范围较大,可见其具有较高的光合能力,任豆和棘叶吴茱萸光合能力相对较弱,但两者差异不大。

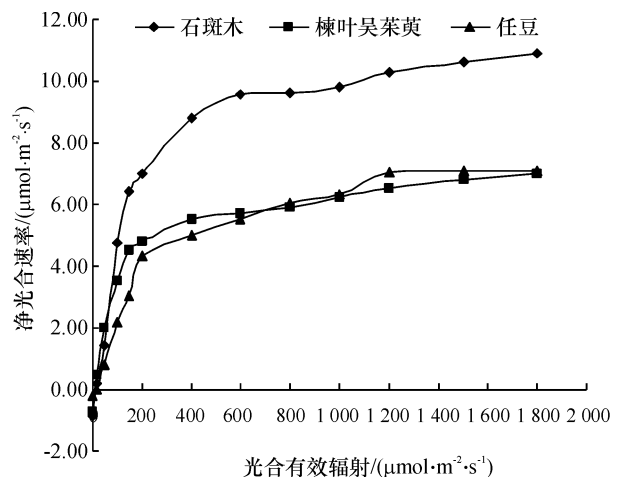


图 2 3 种苗木光响应曲线

Fig. 2 Photoresponse curves of the three species seedlings

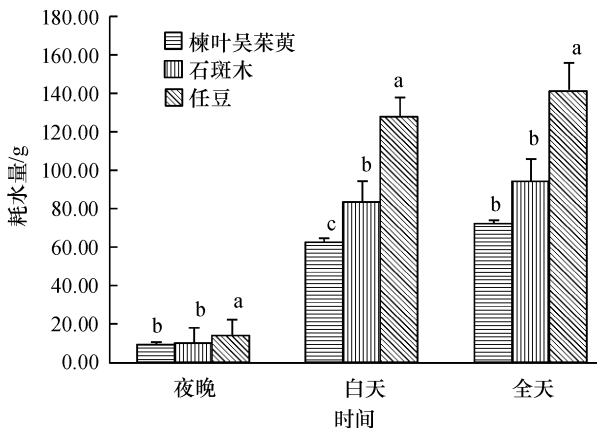
表2 光响应曲线特征参数值

Tab.2 Characteristic parameter value on photoresponse curve

树种	特征参数值/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
	光补偿点	光饱和点	最大净光合速率
楝叶吴茱萸	11.13	698.80	7.71
石斑木	15.60	952.00	12.00
任豆	12.70	736.00	8.25

2.3 3种苗木的蒸腾耗水特性比较

2.3.1 3种苗木昼夜耗水量比较 3种苗木全天总耗水量与昼、夜耗水量均存在显著差异(图3),而且均表现为任豆显著高于石斑木和楝叶吴茱萸.3种苗木白天耗水量为任豆(127.93 ± 12.40)g > 石斑木(84.24 ± 9.56)g > 楝叶吴茱萸(62.75 ± 8.17)g.3种苗木夜晚耗水量均比较小,介于9.05~13.75g,其中石斑木和楝叶吴茱萸较接近.研究结果表明,3种苗木白天耗水量分别占全天耗水量的比例为:任豆87.4%、石斑木89.6%、楝叶吴茱萸90.3%,与招礼军^[20]、朱妍等^[21]、何茜等^[11]采用同样方法对黄栌、火炬树、侧柏、油松、黄杨、白蜡、丁香、国槐、毛白杨等树种进行耗水定量研究得出的这一比例为90%左右的结论一致.方差分析和多重比较结果显示,苗木的耗水量差异性显著,说明苗木的水分消耗有很大的差异,因此,在进行节水树种筛选时,苗木的耗水量可以作为一个重要的评价指标.



同一时间不同树种间凡柱子上方具有一个小写字母相同者,表示在0.05水平差异不显著(Duncan's法).

图3 3种苗木昼夜耗水量比较

Fig.3 Comparisons on water-consumption in daytime and nighttime of the three species seedlings

2.3.2 3种苗木耗水速率日变化 由于苗木的蒸腾耗水主要来自于白天,而耗水速率是植物固有的生理特性,稳定性好,可以反映植物调节自身水分损耗能力和在不同环境中的实际耗水能力,因此可以把白天的耗水速率作为比较3种苗木耗水差异的评价指标.由图4可以看出,3种苗木的白天耗水速率变

化趋势基本相同,均呈明显的“单峰型”变化,并且峰值均出现在12:00—14:00.有研究表明,影响植物蒸腾耗水的环境因子主要为环境温度和相对湿度^[1].由图4、图5可知,在整个测定时间里,一天中最高温出现在14:00,与3种苗木耗水速率峰值出现的时间完全吻合.3种苗木的白天耗水速率日变化曲线与环境温度的变化趋势基本一致,而与相对湿度的变化趋势相反.最大耗水速率(即苗木耗水速率日变化曲线中的峰值)是反映苗木最大耗水潜力的水分生理指标.研究结果显示石斑木最大耗水速率最大,分别比任豆和楝叶吴茱萸高21.3%和47.1%.通过比较苗木白天最大耗水量与白天平均耗水量的比值发现,3种苗木比较接近,具体为:石斑木1.51、任豆1.71、楝叶吴茱萸1.57,研究结果与早前报道的这一比例关系平均值为1.60的结论基本一致.很多学者通过大量研究也得到了与这比值接近的结论^[20-21],由此可见最大耗水速率与白天平均耗水速率之间可能存在着这一固定的比例关系,但至今还没得到科学的解释.

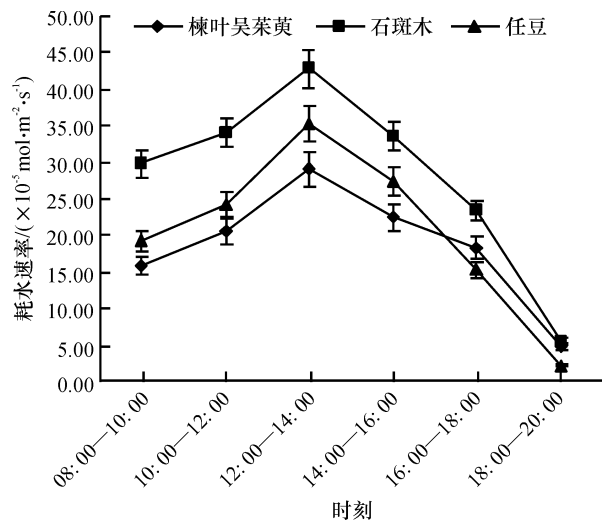


图4 3种苗木耗水速率日变化

Fig.4 Daily changes of water-consumption rate of the three species seedlings

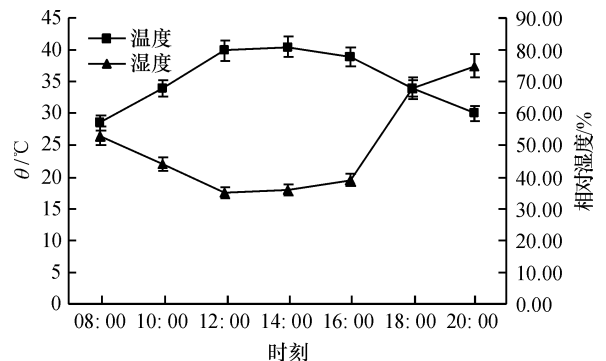


图5 环境温、湿度日变化

Fig.5 Daily changes of environmental temperature and humidity

3 讨论与结论

3 种苗木净光合速率呈典型的“双峰型”变化,呈现“午休”现象,由于该时水分供应紧张,空气湿度较低,使气孔部分关闭,同时也由于光合作用的光抑制所致.最大瞬时净光合速率均出现在上午 10:00,并且石斑木和楝叶吴茱萸的最大瞬时净光合速率均高于任豆,表明同等环境条件下石斑木和楝叶吴茱萸的光合生长能力优于任豆.光响应曲线既能判断树木的喜光和耐荫,又能预测树木的生长潜能.通过比较光响应曲线特征参数值可以看出,石斑木具有相对较高的光补偿点和光饱和点,比较喜光,潜在光合生长能力最强,而任豆和楝叶吴茱萸比较接近.综合来看,在苗木生长旺盛时期,石斑木光合能力最强,任豆和楝叶吴茱萸具有相近的光合生长能力.

正常条件下,石斑木和楝叶吴茱萸昼夜耗水量均低于任豆,可见这 2 种苗木是较好的节水树种.就耗水速率而言,考虑到耗水量和单株苗木的叶面积 2 个因素,3 种苗木的耗水速率日变化均呈“单峰型”变化,研究表明这种变化趋势与环境温、湿度的日变化规律密切相关.耗水测定期间,苗木并未出现明显的“午休”现象,是由于在正常水分条件下,覆膜处理大幅度减少了土壤水分的蒸发,从而保障了苗木水分的正常供应.3 种苗木的最大耗水速率介于 $2.91 \times 10^{-4} \sim 4.28 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其中楝叶吴茱萸的最大耗水速率低于任豆,而石斑木略高于任豆.据招礼军^[20]对黄栌、火炬树、侧柏、油松的研究表明,其最大耗水速率介于 $3.95 \times 10^{-4} \sim 35.23 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,而朱妍等^[21]对国槐、黄杨、白蜡、丁香、侧柏、油松最大耗水速率的测定结果介于 $5.28 \times 10^{-4} \sim 35.89 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,相对来讲,本研究中,处在生长旺盛期的 3 种苗木的最大耗水速率普遍偏小,属于节水性能较好树种.

石灰岩地区普遍土层浅薄,蓄水能力差,可利用水资源偏少.因此,只有节水性能好的植物才能适应石灰岩地区的特有生境.在进行石灰岩地区造林树种筛选时,应综合考虑光合生长和抗旱节水 2 种因素,具体来讲,最佳的华南石灰岩地区造林树种应该具备高生产力、低耗水双重特性.从对 3 种苗木的光合特性和蒸腾耗水特性研究结果来看,与华南石灰岩地区特有树种任豆相比,石斑木和楝叶吴茱萸具有相近或者更优的光合生长能力和节水性能,比较符合华南石灰岩地区造林树种筛选要求,因此,在华南石灰岩地区选择造林树种时,可以给予此 2 种树种重点考虑.

植物的光合作用具有明显的季节动态变化特征,本次试验仅限于 7 月份的光合特性研究,对于植物在不同季节的光合特性差异还有待进一步研究.另一方面,干旱胁迫对苗木光合、耗水特性的影响是研究苗木光合生长和抗旱节水能力的重要内容,在今后的研究中,应当重点开展苗木在不同干旱胁迫程度下光合、耗水特性差异的比较,进一步分析评价苗木的抗旱节水能力.

参考文献:

- [1] 何茜. 毛白杨抗旱节水优良无性系评价与筛选[D]. 北京:北京林业大学图书馆,2008.
- [2] 伍维模,李志军,罗青红,等. 土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用-光响应特性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 30-35.
- [3] 茹桃勤. 刺槐无性系水分利用效率和适应性研究[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [4] WANG Ming-chun, WANG Jin-xin, SHI Qing-hua, et al. Photosynthesis and water use efficiency of *Platycladus orientalis* and *Robinia pseudoacacia* saplings under steady soil water stress during different stages of their annual growth period[J]. J Integr Plant Biol, 2007, 49(10): 1470-1477.
- [5] 郭二果,马颖聪,常金宝. 伊金霍洛旗沙柳幼苗光合、蒸腾强度日动态变化[J]. 内蒙古科技与经济, 2005(11): 103-106.
- [6] 高丽,杨劫,刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6025-6034.
- [7] LADEFOGED K. A method for measuring the water consumption of large intact tree [J]. Physiologia Plantarum, 1960, 13(4): 648-658.
- [8] ROBERTS J. The use of tree-cutting technique in the study of water relation of mature *Pinus sylvestris* L. [J]. J Exp Bot, 1977, 28(3): 751-767.
- [9] KNIGHT D H, FAHEY T J, RUNNING S W, et al. Transpiration from 100-yr-old lodgepole pine forests estimated with whole-tree potometers [J]. Ecology, 1981, 62(3): 717-726.
- [10] 李吉跃,周平,招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 56-58.
- [11] 何茜,李吉跃,陈晓阳,等. 毛白杨不同无性系苗木耗水量及其昼夜分配[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 47-50.
- [12] 周平,李吉跃,招礼军. 北方主要造林树种苗木蒸腾耗水特性研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 50-55.

国尚未系统开展狂犬病的流行病学与病理学研究,目前还不清楚狂犬病宿主动物的种类到底有多少.但是感染猪并导致猪出现狂犬症状而死亡报道寥寥无几^[12-13].

本文通过对广东省四会市某猪场分离的狂犬病病毒采用 RT-PCR 的方法对 N 蛋白基因和 G 蛋白基因进行序列分析,与已经注册的我国不同省份分离的狂犬病病毒进行核苷酸序列比对,分析由于地域的不同导致狂犬病病毒基因序列不一致的可能性.狂犬病病毒可以按基因型进行分类,已显示了来自于特定地理区域的病毒分离物,都具有独特的基因序列模式.华南农业大学微生物实验室分离的狂犬病病毒 GD-SH01 株通过对 N 和 G 基因核苷酸,氨基酸序列相似性的比对,发现分离的毒株与广西毒株相似性最高,证明了不同地域也会发生相似性现象.GD-SH01 株 N 蛋白氨基酸序列在狂犬病病毒演变中相对保守,与各毒株间的差异较小,所以我们可以将 N 蛋白抗原性和 N 蛋白基因序列作为狂犬病毒属分型和狂犬病毒分组的重要依据.GD-SH01 株 G 基因与中国疫苗株 CTN181 G 基因核苷酸和氨基酸序列的相似性很高.目前我们还需要进一步对分离的狂犬病病毒 GD-SH01 株进行其他基因的测序工作,从而进一步证明我们的设想.

参考文献:

- [1] 张菲,张守峰,唐青,等.我国狂犬病现状与防控意见[J].中国人兽共患病学报,2010,26(4):381-388.
- [2] 甘海霞,熊毅,刘棋,等.猪狂犬病分子生物学的快速诊断[J].广西农业科学,2006,37(5):594-595.

- [3] 赵云蛟,钱爱东,李影,等.狂犬病病毒鼠源野毒株糖蛋白基因序列测定及分析[J].吉林农业大学学报,2004,26(2):210-212.
- [4] 李影,段锐,钱爱东.鹿源狂犬病野毒 8202 株基因型的研究[J].经济动物学报,2005,9(4):206-208.
- [5] 黄莹,赵云蛟,钱爱东.吉林鹿源狂犬病病毒野毒株糖蛋白基因的测序及分析比较[J].中国兽医杂志,2007,43(7):3-6.
- [6] 陶晓燕,唐青.狂犬病病毒糖蛋白基因遗传变异研究进展[J].病毒学报,2011,27(2):184-188.
- [7] 李江涛,殷相平,张金卫,等.狂犬病病毒 CVS 株糖蛋白、核蛋白生物信息学分析[J].生物技术通报,2010(7):179-184.
- [8] 李忠,丁淑军,吕慧,等.山东省 4 株狂犬病病毒核蛋白基因序列分析[J].中国人兽共患病学报,2010,26(8):767-768.
- [9] 赵云蛟,钱爱东.狂犬病病毒全基因组进化研究进展[J].动物医学进展,2009,30(11):83-86.
- [10] 邵西群,闫喜军,柴秀丽,等.狂犬病病毒 RT-PCR 检测方法的建立[J].特产研究,2007(1):12-13.
- [11] MENG Sheng-li, YAN Jia-xin, XU Ge-lin, et al. A molecular epidemiological study targeting the glycoprotein gene of rabies virus isolates from China[J]. Virus Res, 2007, 124(1/2): 125-138.
- [12] JIANG Y, YU X, WANG L, et al. An outbreak of pig rabies in Hunan Province, China[J]. Epidemiol Infect, 2008, 136(4): 504-508.
- [13] ZHU Y, ZHANG G, SHAO M, et al. An outbreak of sheep rabies in Shanxi Province, China[J]. Epidemiol Infect, 2011, 139(10): 1453-1456.

【责任编辑 柴焯】

(上接第 528 页)

- [13] 孙洪仁,张英俊,历卫宏,等.北京地区紫花苜蓿建植当年的耗水系数和水分利用效率[J].草业学报,2007,16(1):41-46.
- [14] 赵明,郭志中,王耀琳,等.不同地下水位植物蒸腾耗水特性研究[J].干旱区研究,2003,20(4):286-291.
- [15] 秦飞,陈平,王朋,等.我国石灰岩地区森林培育技术研究进展[J].中国水土保持科学,2009,7(4):120-124.
- [16] 李撰,王晓虹.我国南方石灰岩地区植被恢复探讨[J].安徽农业科学,2011,39(11):6685-6687.
- [17] 冯汉华,熊育久.广东岩溶地区石漠化现状及其综合治理措施探讨[J].中南林业调查规划,2011,30(1):15-19.
- [18] FARQUHAR G D, OLEARY M H, BERRY J A. On the

relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves[J]. Aust J Plant Physiol,1982,9(11):121-137.

- [19] 刘宇锋,萧浪涛,童建华,等.非直线双曲线模型在光合响应曲线数据分析中的应用[J].农业基础科学,2005,21(8):76-79.
- [20] 招礼军.我国北方主要造林树种耗水特性及抗旱造林技术研究[D].北京:北京林业大学,2003.
- [21] 朱妍,李吉跃,史剑波.北京六个绿化树种盆栽蒸腾耗水量的比较研究[J].北京林业大学学报,2006,20(1):65-70.

【责任编辑 李晓卉】