

文章编号: 1001-1498(2002)03-0291-06

8种园林树种光合作用特征 与水分利用效率比较

李国泰

(广州市园林科学研究所,广东广州 510405)

摘要:以光合蒸腾测定系统测定了夏季生长期内8种2-3年生园林树种叶片气体交换特征参数的日变化。结果如下:(1)净光合速率(P_n)、气孔导度(g_s)、蒸腾速率(E)、水分利用效率(WUE)日变化明显,且存在明显的种间差异。(2)净光合速率日均值($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)依次为鸡冠刺桐(11.2) > 水翁(9.7)、印度紫檀(8.6)、柳叶垂榕(8.5) > 假苹婆(6.3) > 水瓜栗(5.8)、南洋樱花(5.6) > 中国无忧树(3.4),前4个树种固定 CO_2 的能力高于其它树种。(3)蒸腾速率($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)日均值分别是鸡冠刺桐(3.40) > 柳叶垂榕(2.79) > 水翁(2.55) > 假苹婆(2.32)、水瓜栗(2.32) > 中国无忧树(2.25)、印度紫檀(2.25) > 南洋樱花(1.57),前3个树种比其它树种消耗更多的水分。(4)印度紫檀、水翁、南洋樱花和鸡冠刺桐具有较高的水分利用效率,分别是3.97、3.73、3.68、3.48和3.84 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{H}_2\text{O}$,而柳叶垂榕、假苹婆、水瓜栗、中国无忧树的水分利用效率相对较低,分别为3.03、2.79、2.64和2.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{H}_2\text{O}$,表明消耗等量的水分前4个树种比其它4个树种能够固定更多数量的 CO_2 ,即能够更有效地利用土壤水分。这些信息有助于解释不同树种在生长速度、生物生产力方面的差异,并可作为生产实践中制定水分管理措施的依据。

关键词: 园林树种; 光合速率; 蒸腾速率; 水分利用效率

中图分类号: Q945

文献标识码: A

气体交换测定技术已经成为研究森林植物和作物生理活性和生产力预测与评估的重要手段。在自然环境中,植物接受到的太阳光常经历时间和空间变化^[1,2]。此外,外界环境因子如因高光辐射引起的高温环境,大气湿度和土壤水分养分的供应能力等直接或间接影响植物冠层对大气 CO_2 的同化和积累,从而影响植物的生长^[2,3]。另一方面,植物通过气孔开放吸收同化 CO_2 的同时,不断向外界蒸发水分。蒸腾速率是植物水分状况最重要的生理指标^[4],不同植物种类对水分的需求和水分利用效率并不完全一致,而且受立地条件如土壤水分含量、栽培管理措施等的影响^[5]。生产实践中,通常将植物消耗单位数量的水分所生产的干物质量定义为水分利用效率,生理意义上定义叶片净光合速率与蒸腾速率的比值,它能准确反映植物叶片的瞬间或短期反应行为^[6]。近20年来,许多国家在园林植物的引种栽培方面相继开展工作。我所也陆续开展引进种与本地种的对比研究,但大多数工作都停留在植物物候和生物学特性的常规观察和测定,几乎没有涉及植物生理生态学过程的研究,对于植物尤其是新引进的种类对环境的适应性仍然知之甚少。本文选择8种园林绿化植物进行测定,比较不同种类植物光合

收稿日期: 2001-08-29

基金项目: 广州市建设委员会科技基金(1997-2001)

作者简介: 李国泰(1962-),男,广东广州人,工程师,学士。

能力和水分利用效率的差别,以及对华南地区高光强高温环境的适应能力,旨在为园林植物的选择和栽培管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地位于广州市园林科学研究所的引种基地内,113°19' E, 23°03' N, 属南亚热带海洋季风气候。据广东省气象局 1951—1980 年的记录,年均气温为 21.8℃,年均降水量 1 700 mm 左右,有明显的干湿季^[7]。被测树种于 1998 年定植于我所引种基地内,水肥条件管理一致,定期进行生物学特性的观测和测定。气体交换特征参数测定时中国无忧树(*Saraca dives* Pierre.)、南洋樱花(*Jatropha pandurifolia* Andr.)、鸡冠刺桐(*Erythrina cristagalli* Linn.)为 2 年生树苗,柳叶垂榕(*Ficus celebensis* Corner)、水翁(*Cleistocalyx operculata* Roxb.)、假苹婆(*Sterculia lanceolata* Cav.)、水瓜栗(*Pachira aquatica* Aubl.)和印度紫檀(*Pterocarpus indicus* Willd.)为 3 年生树苗。

1.2 测定方法

于 1999 年 8 月中旬植物旺盛生长季内,用便携式 LCA4 光合-蒸腾仪开放气路系统(英国 ADC 公司制造)对每种植物进行了气体交换参数的测定。净光合速率 P_n ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 E ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 g_s ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 C_i (vpmm),以及叶室光强 Q_{ch} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、叶面光强 Q_{leaf} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),叶室温度 T_{ch} (°C)、叶面温度 T_{leaf} (°C) 等环境因子同时测定记录。测定时间分别为 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 和 18:00。每种植物选择 3 株冠层顶部的 3—5 片成熟叶进行挂牌标记和定位测定。

1.3 数据处理

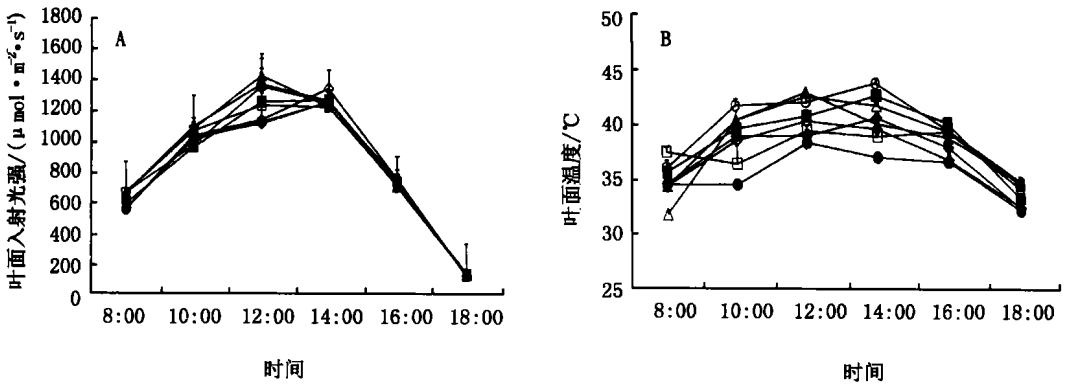
文中插图及图中每个树种每个测定时间的数值以“平均值 \pm 标准差”表示,通过 EXCEL-7.0 软件完成。为更好地在同一图中对 8 个树种测定参数进行比较,图中标准差只显示其正偏差。

2 结果与分析

2.1 测定环境

图 1A 表明,野外全自然光下 8 种植物叶面入射光强 (Q_{leaf}) 存在明显的日变化差异,在正午前后即 10:00、12:00 和 14:00 较大,介于 958—1 419 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,平均值分别为 1 031 \pm 49、1 247 \pm 121 和 1 251 \pm 37 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。正午 12:00 有较大的标准差,表明此时叶面光强在不同树种间存在较大的差异,而其它各测定时间不同树种的 Q_{leaf} 都十分接近。

和 Q_{leaf} 相比,日间全自然光下叶面温度 (T_{leaf}) 因植物种类的不同有较大的差异(图 1B)。总体上说,8 种植物在清晨 8:00 和日落前 18:00 有较低的 T_{leaf} ,其它各测定时间较高,在 38℃ 或以上,午间 12:00 和 14:00 达到最大,约为 40℃。就不同树种而言,中国无忧树、柳叶垂榕、水瓜栗和印度紫檀的 T_{leaf} 较高,水翁、假苹婆、鸡冠刺桐和南洋樱花相对较低。这种 T_{leaf} 的种间差异可能与不同树种叶片的结构和质地有关,如柳叶垂榕的叶片厚且叶表面光滑、叶肉组织发达、革质化程度较高,而假苹婆、鸡冠刺桐和南洋樱花的叶片相对较薄。此外,蒸腾作用在降低叶温中起重要作用,正午前后若气孔严重关闭,将影响叶片中水分的蒸发,从而导致 T_{leaf} 的持续上升,可能造成对叶片的伤害。

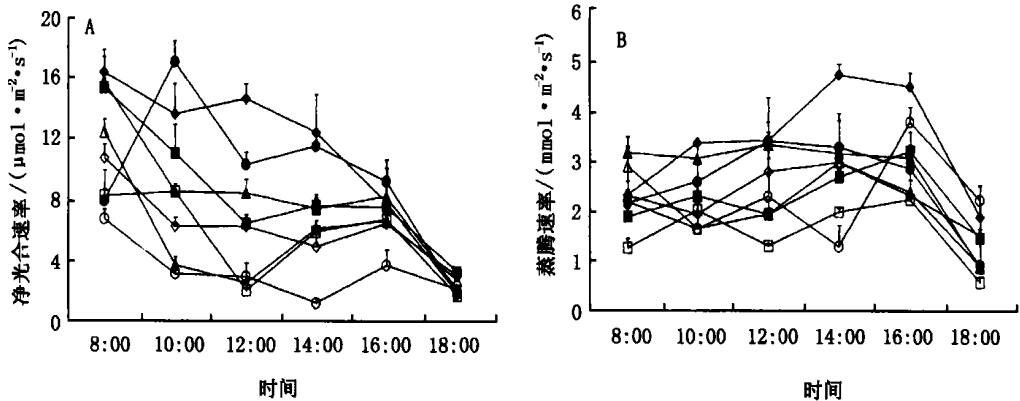


鸡冠刺桐; 假苹婆; 柳叶垂榕; 水瓜栗; 水翁; 中国无忧树; 印度紫檀; 南洋櫻花

图 1 叶面入射光强 Q_{leaf} (A)和叶面温度 T_{leaf} (B)的日变化

2.2 净光合速率和蒸腾速率的日变化

从图 2A 可见,净光合速率 (P_n) 因种类不同存在较大的差异。就日平均值而言,依次为鸡冠刺桐(11.2) > 水翁(9.7)、印度紫檀(8.6)、柳叶垂榕(8.5) > 假苹婆(6.3) > 水瓜栗(5.8)、南洋櫻花(5.6) > 中国无忧树(3.4)。此外,不同树种的 P_n 日变化表现出明显差异(图 2A)。水翁在 8:00 前后,光强 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 P_n 较低(约为 $8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),之后上升,10:00 达到最大($17.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),然后下降且在 12:00 ~ 16:00 之间维持相对稳定($10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右波动),18:00 随光强的显著减弱 P_n 降为日间的最低值($1.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。柳叶垂榕叶片 P_n 维持相对稳定,8:00 ~ 16:00 之间变化不明显,介于 $3.1 \sim 3.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,18:00 下降为 $0.88 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。刺桐 P_n 的日变化基本表现为持续下降,14:00 前下降程度较缓,之后至日落前 18:00 下降较激烈。其它几个树种 P_n 的日变化格局基本表现为“S”字型,即早上气温较低当太阳光达到一定强度时有较高的净光合速率,之后随光强和温度的升高而下降,正午 12:00(印度紫檀、南洋櫻花、水瓜栗)或 14:00 以后(假苹婆、中国无忧树)出现不同程度的



鸡冠刺桐; 假苹婆; 柳叶垂榕; 水瓜栗; 水翁; 中国无忧树; 印度紫檀; 南洋櫻花

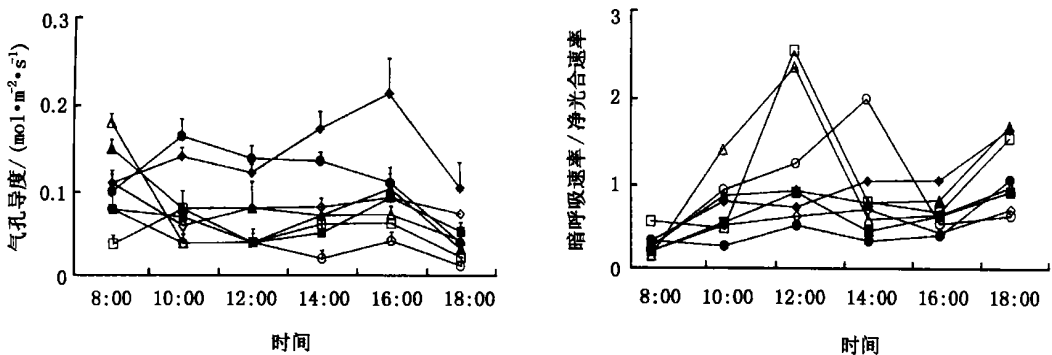
图 2 净光合速率 P_n (A)、蒸腾速率 E (B)的日变化

回升,16:00后随光强的下降而下降。而且, P_n 随日间光强变化而减少或升高的程度因树种的不同而有明显差异。

从图2B可见,不同树种的蒸腾速率(E)的日变化明显。就日平均值而言,依次为鸡冠刺桐(3.40) > 柳叶垂榕(2.79) > 水翁(2.55) > 假苹婆(2.32)、水瓜栗(2.32) > 中国无忧树(2.25)、印度紫檀(2.25) > 南洋樱花(1.57)。表明在相同环境下,前3个树种比其它树种消耗更多的水分,同时也表明这3个树种的水分输导组织发达,在干旱胁迫环境下可能比其它树种更容易受到伤害。在园林实践中需要花费更多的人力和时间灌溉水分,以保证炎热夏季这些植物有充足的水分供应,减轻因高温和强烈蒸腾失水带来的伤害。相反,中国无忧树、印度紫檀、水瓜栗和南洋樱花较能节约用水,更能适应干旱环境。就日变化格局而言,大体上所有树种均表现出中午前后(10:00—16:00)有较高的蒸腾速率,早上和傍晚较低。植物通过蒸腾扩散水分以降低叶片温度是其对午间高光强高温的一种适应,以减轻高温环境对叶片造成灼伤。

2.3 气孔导度的日变化及其与光合速率和蒸腾速率的关系

如图3A所示,除鸡冠刺桐外,其它树种的气孔导度(g_s)日变化大体上与其相应的 P_n 日变化图式(图2A)类似,即随光强和大气温度的增加气孔出现不同程度的关闭。具体地说,鸡冠刺桐 g_s 日变化起伏较大,与其对应的 P_n 日变化趋势(图2A)不一致甚至相反,但和其蒸腾速率(E)的日变化图式(图2B)类似。水翁叶片 g_s 与其 P_n 和 E 的日变化动态大体一致,即8:00或10:00后随光强的增加而持续下降,下午当光强和温度减弱时3个测定参数也未出现回复现象。此外,水瓜栗、柳叶垂榕叶片 g_s 日变化也十分明显,上午8:00左右最大,之后迅速下降,至相对稳定。假苹婆、印度紫檀、南洋樱花和中国无忧树相对稳定,维持在某一数值水平上波动。就日平均值而言,鸡冠刺桐、水翁叶片的 g_s 较大,分别为 0.142 和 $0.113 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其次是柳叶垂榕、假苹婆、水瓜栗、印度紫檀、南洋樱花,分别为 0.085 、 0.082 、 0.073 、 0.063 、 $0.050 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,中国无忧树最小,为 $0.038 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。



鸡冠刺桐; 假苹婆; 柳叶垂榕; 水瓜栗; 水翁; 中国无忧树; 印度紫檀; 南洋樱花

图3 气孔导度 g_s (A)和暗呼吸速率与净光合速率之比 R_d/P_n (B)的日变化

2.4 暗呼吸速率与净光合速率的比值

图3B是8个树种暗呼吸速率与净光合速率的比值 R_d/P_n 的日变化。可见,南洋樱花、水瓜栗叶片的 R_d/P_n 日变化十分明显,午前随光强和温度的增加而增加,正午(12:00)达到最大,分别为2.41和2.23,之后迅速下降,14:00分别降至0.75和0.56。类似地,中国无忧树叶

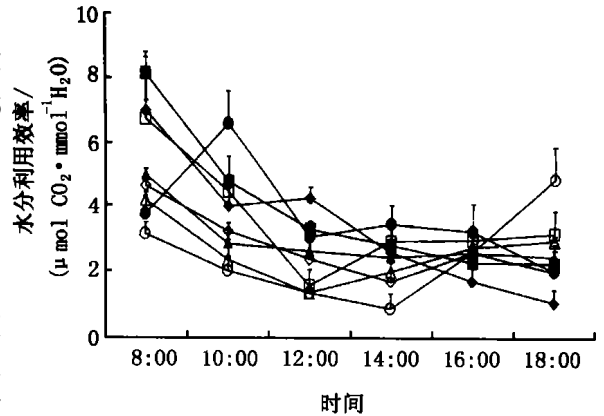
片 R_d/P_n 的日变化也很明显,不同的是其最大值出现的时间在 14:00,较南洋樱花、水瓜栗滞后。这一结果表明,正午前后强烈太阳辐射使叶温升高从而大大降低植物净光合速率的同时也增加了暗呼吸速率。其它树种叶片 R_d/P_n 的日变化相对稳定,原因是在高温引起暗呼吸增加的同时,净光合速率下降的幅度较小。就日均值而言,不同树种叶片 R_d/P_n 依次为南洋樱花(1.04) > 水瓜栗(0.97) > 中国无忧树(0.88)、鸡冠刺桐(0.88) > 柳叶垂榕(0.67) > 印度紫檀(0.58) > 假苹婆(0.51) > 水翁(0.47)。

2.5 水分利用效率的日变化

图4所示,水翁叶片的水分利用效率(WUE)在上午10:00有一明显的峰值 $6.6 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,其余时间都保持在 $3.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ (8:00, 12:00 16:00)或更低的水平 $2.1 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ (18:00)。其它树种叶片WUE最大值均出现在上午8:00左右,之后各树种均随光强和叶温的增加而迅速下降,12:00(如水瓜栗)或14:00(如中国无忧树、假苹婆、南洋樱花)开始回升,以中国无忧树上升幅度最大。有些树种的WUE(印度紫檀、鸡冠刺桐、柳叶垂榕)自8:00后几乎呈下降的趋势,尤其以印度紫檀和鸡冠刺桐明显。这一结果表明中国无忧树、水翁、印度紫檀和鸡冠刺桐的WUE对光强和叶温的变化比其它树种敏感。就日平均值而言,印度紫檀、水翁、南洋樱花和鸡冠刺桐具有较高的WUE,分别是 3.97 、 3.73 、 3.68 、 3.48 和 $3.84 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,而柳叶垂榕、假苹婆、水瓜栗、中国无忧树则相对较低,分别为 3.03 、 2.79 、 2.64 和 $2.5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$,表明消耗等量的水分前4个树种比后4个树种能够固定更多数量的 CO_2 ,即能够更有效地利用土壤水分。

3 小结

综合分析8种园林树种叶片光合与蒸腾的测定结果可以得到以下初步结论:(1)鸡冠刺桐、水翁、印度紫檀和柳叶垂榕有相对较高的净光合速率,即比其它四个树种固定大气 CO_2 的能力更强。(2)8种植物均能够以不同的方式调节气孔开放程度来控制水分的蒸腾扩散和光合速率,以减少炎热夏季因高光强高温带来的损害。(3)总体上说,鸡冠刺桐、柳叶垂榕、水翁有较高的蒸腾速率,假苹婆、中国无忧树、印度紫檀、水瓜栗次之,南洋樱花最低,一方面表明前3个树种的输导组织发达,生理活动比其它树种旺盛,另一方面从生产实践的角度说,它们将消耗更多量的土壤水分,在干旱季节或地区尤其是高温雨水缺乏地区来说,需要更频繁地灌溉水分以补充蒸腾消耗的水分,确保植物生命活动的正常进行。(4)从水分利用效率的角度看,印度紫檀、水翁、南洋樱花和鸡冠刺桐比其它树种更能节约并有效地利用土壤水分,即消耗等量的水分生产更多的干物质。



鸡冠刺桐; 假苹婆; 柳叶垂榕; 水瓜栗; 水翁;
中国无忧树; 印度紫檀; 南洋樱花

图4 水分利用效率(WUE)的日变化

参考文献:

- [1] Ninements U, Tenhunen J D. A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum* [J]. *Plant Cell and Environment*, 1997, 20:845-866
- [2] Larcher W. 植物生态生理学(第五版) [M]. 翟志席, 郭玉海, 马永泽, 等译. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 1-340
- [3] Evans J R. Photosynthesis-the dependence on nitrogen partitioning [A]. In: Lambers H, Cambridge ML, Konings H, et al. Variation in Growth Rate and Productivity [M]. The Hague: SPB Academic Publishing, 1989. 158-174
- [4] 刘奉觉, 郑世锴. 杨树水分生理研究 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992. 1-275
- [5] Izuno F T, Zazueta F S. Efficiencies of Florida Agricultural Irrigation Systems [R]. Florida Cooperative Extension Service, University of Florida. Bulletin 247, University of Florida, 1988, 1-15
- [6] Eamus D. The interaction of rising CO₂ and temperatures with water use efficiency [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1991, 14: 843-852
- [7] 方炜, 彭少麟. 广州白云山马尾松林自然演变过程的群落结构动态 [J]. *生态学报*, 1995, 15(增刊 A 辑): 38-43

The Photosynthesis and Water Use Efficiency of Eight Garden Tree Species

LI Guotai

(Guangzhou Institute of Garden Science, Guangzhou 510405, Guangdong, China)

Abstract: Gas exchange parameters in leaves of eight 2- to 3-year-old garden tree species growing in the institute nursery were measured during the summer in 1999, by using LCA-4 portable photosynthesis and transpiration system. The results are as follows: (1) the daily variation of the net photosynthesis rate (P_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), stomatal conductance (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiration rate (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and instantaneous water use efficiency (P_n/E , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) are remarkable and differ among species. (2) the daily average P_n are 11.2, 9.7, 8.6, 8.5, 6.3, 5.8, 5.6 and 3.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for *Erythrina cristagalli*, *Cleistocalyx operculata*, *Pterocarpus indicus*, *Ficus celebensis*, *Sterculia lanceolata*, *Pachira aquatica*, *Jatropha pandurifolia*, *Saraca dives pierre*, respectively, showing that the first four species have relatively higher capacity for CO₂ assimilation. (3) the daily mean values of transpiration rate are 3.40, 2.79, 2.55, 2.32, 2.32, 2.25, 2.25 and 1.57 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for *Erythrina cristagalli*, *Ficus celebensis*, *Cleistocalyx operculata*, *Sterculia lanceolata*, *Pachira aquatica*, *Saraca dives pierre*, *Pterocarpus indicus*, *Jatropha pandurifolia*, respectively, indicating that the former 3 species consume greater amount of water than other species. (4) The daily average WUE are 3.97, 3.73, 3.68, 3.48, 3.84, 3.03, 2.79, 2.64 and 2.50 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ for *Pterocarpus indicus*, *Cleistocalyx operculata*, *Jatropha pandurifolia*, *Erythrina cristagalli*, *Ficus celebensis*, *Sterculia lanceolata*, *Pachira aquatica*, *Saraca dives pierre*, respectively, suggesting that the first four species have relatively higher water use efficiency than the others. Information presented here is helpful for understanding the differences among species in aspects of growing and productivity. It might also be useful to guide garden practices in water management.

Key words: gardens trees; photosynthetic rate; transpiration rate; water use efficiency