应用生态学报 2000年6月 第11卷 第3期
CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY, Jun. 2000, 11(3): 327～332

两种生态型榕树的叶绿素含量、荧光特性和叶片气体交换日变化的比较研究*

赵 平** 孙谷畴 曾小平 (中国科学院华南植物研究所,广州 510650)
彭少麟 (中国科学院广州分院,广州 510070)
莫熙穆 李煜祥 (华南师范大学生物系,广州 510631)
郑中华 (广东高州市水库管理局,高州 515242)

【摘要】 比较盆栽陆生榕树和两栖型榕树的形态差异、叶片叶绿素含量、叶绿素荧光特性和气体交换的日变化. 两栖型榕树具有较发达的气生根和水生不定根,叶片比陆生榕树宽,并有向中生性发展的倾向,陆生榕树的叶绿素含量比两栖型榕树高. 净光合速率略高于水培两栖型榕树,但明显高于土培两栖型榕树,蒸腾速率以水培两栖型榕树最高,陆生榕树次之,土培两栖型榕树最低,线性回归分析表明,三者的叶片气孔导度与净光合速率变化均呈正相关,气孔导度的变化是以上气体交换特征变化的主导控制因子. 内在水分利用效率(净光合速率与气孔导度的比值, Intrinsic WUE)比常用的水分利用效率(净光合速率与蒸腾速率的比值, WUE)更适宜描述榕树的光合和水分特性,其中,土培两栖型榕树的内在水分利用效率最高.

关键词 榕树 生态型 净光合速率 气孔导度

A comparative study on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and diurnal course of leaf gas exchange of two ecotypes of banyan. ZHAO Ping, SUN Guchou, ZENG Xiaoping (*South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510650), PENG Shaolin (*Guangzhou Branch, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510070), MO Ximu, LI Yuxiang (*Department of Biology, South China Normal University, Guangzhou* 510631). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, **11**(3): 327～332.

The morphological differences, chlorophyll contents, fluorescence and diurnal course of leaf gas exchange between terrestrial banyan and amphibious banyan were compared with pot culture. The amphibious banyan possesses well developed aerial and hydro-adventitious roots, and wider leaf with inclination of evolution toward mesophytic traits. The chlorophyll content of terrestrial banyan was higher than that of amphibious banyan. The diurnal course of leaf gas exchange indicated that net photosynthetic rate of terrestrial banyan was slightly higher than that of amphibious banyan grown in water, but much higher than that grown in soil. The amphibious banyan grown in water had the highest transpiration rate, the terrestrial banyan had a lower one, and the amphibious banyan grown in soil had the lowest. Linear regression analysis showed a positive correlation between net photosynthetic rate and stomatal conductance, implying that the stomatal conductance was dominant factor controlling the gas exchange. In this study, the term of intrinsic water use efficiency (net photosynthetic rate/stomatal conductance ratio, Intrinsic WUE) was applied to describe the photosynthesis and water properties, and the result showed that it was a more suitable measure compared to the usual WUE (net photosynthetic rate/transpiration rate). Among the three banyan plants examined, the amphibious banyan had the highest intrinsic WUE.

Key words Banyan, Ecotype, Net photosynthetic rate, Stomatal conductance.

1 引 言

榕树(*Ficus microcarpa* L.f.)又称小叶榕或细叶榕,是生长于村边或森林中的常绿大乔木,高20～25m,具气生根. 分布于我国广东、广西、福建、台湾、浙江、云南和贵州;印度、缅甸和马来西亚也有分布[29]. 通常栽植和天然分布较广的是一种用于观赏和马路遮荫的榕树,它无法长期在水中生长;此外还有一种既可生长于水中或水体附近,又可以生长于一般土壤的既耐湿又耐旱的两栖型榕树,分布范围相对较小,但它对于保护堤岸,抗击洪水对土壤的冲刷有明显的应用价值. 在形态特征上,两种生态型榕树的区别比较明显,尤其是后者具发达的水生性不定根系. 少数木本植物能在永久性的水淹环境中生长,虽然曾有学者研究过植物对渍水的响应及一些野生植物种耐水生态型的生理特性及其演化[4,6,9,13,18,19,21],这些研究仅局限于单

* 国家自然科学基金重大项目(39899370)、中国科学院"九五"重大项目(KZ951-B1-110)和广东省自然科学基金资助项目(980952).
** 通讯联系人.
1999-09-13收稿,1999-11-15接受.

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

一生态型植物的研究,少有对两种生态型的生理生态特性进行比较研究;国内对小叶榕及两栖型榕树在水、陆生长的相同环境条件下的适应性差异也进行过初步研究[22],但关于这两种生态型榕树的生理生态特性的研究仍有待进一步深入.本研究以盆栽幼树为实验材料,比较两种生态型榕树的叶绿素含量、荧光特性和叶片气体交换的日变化特点.

2 材料与方法

2.1 实验材料

陆生榕树幼树取自广州华南农业大学苗圃,两栖型榕树幼树来自广东新会市小鸟天堂湖中生长的母树,两种树苗高度1.7～2.0m,自1997年12月起,用内径45cm、深35cm的花盆栽种于中国科学院华南植物研究所内.两栖型榕树的栽植方式有两种处理,一部分通过模拟原来生境,不断供水,使其生长于水环境里;另一部分栽植于土壤中,进行对照试验.各种处理分别栽种4盆.

2.2 测试方法

于1998年9月(晴),用美国LI-COR公司生产的LI-6200便携式光合测定系统,接配1/4L的叶室,从每盆植物的枝条中,选择第3至第6片健康叶子,测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和胞间CO_2浓度(Ci),借助该测定系统辅助设备同时测定叶片温度(T_{leaf})、气温(T_{air})、相对湿度(RH)和光合有效辐射(PAR),测定重复3次.测定时间从早上6时至傍晚20时,每间隔1h观测一次,测试的前一天傍晚对陆生榕树和土培两栖型榕树浇水.测试地点在中国科学院华南植物研究所内.

2.3 分析方法

根据Arnon法[2]测定叶片叶绿素和类胡萝卜素的含量.摘取新鲜叶片,捣碎后用80%的丙酮提取,提取液定量后在Beckman DU-7型分光光度计上进行光密度值的测定,计算叶片每单位干重的叶绿素和类胡萝卜素含量.叶片叶绿素荧光的测定在德国Heinz Walz公司生产的脉冲调制荧光计(Pulse Amplitude Modulation Fluorometer)上进行.

3 结果与分析

3.1 两种生态型的榕树形态特征的比较

所谓生态型(ecotype)是指与特定生态环境协调的基因型集群,是由生态因子对一个物种种群内许多基因型选择的结果,因此生态型是同一种植物对不同环境条件的趋异适应,是种内分化定型的结果.自然选择会从同一基因库中筛选出不同的生态型.形态特征是生态型变异的一种指示,与环境相关的形态变异则是植物对环境适应的具体表现[23,30].

表1描述了两种生态型榕树形态特征上的差异,两者的区别比较明显,突出表现在气生根和水生不定根的数量和形态上.榕树两种生态型的形态特征的分化变异是水环境不同所引起的,水生不定根的数量和形态上的变异呈现不连续性,构成了以水为主导因子的、大部分形态特征相似但在耐水能力及其相适应的特征截然不同的两种生态型.两栖生态型榕树发达的气生根和水生不定根的功能主要有两方面:一是通气能力较高,因而吸收和向根部提供氧气的水平较高;二是机械的支撑作用,生长于水环境中的植物,主根系往往不发达,水生不定根可延伸到水下的泥中,起减缓水浪的摇动和冲刷、支撑植株、固着土壤的作用.

表1 两种生态型榕树形态特征的比较

Table 1 Morphological comparison between two ecotypes of banyan

观测项目 Observations	陆生榕树 Terrestrial banyan	两栖型榕树 Amphibious banyan
树高 Height	20～25m	7～15m
树冠 Crown	紧密,直径2.3m Compacted, width 2.3m	伸展,直径3.8m Spreading, width 3.8m
气生根 Aerial root	极少从树干的上部萌生气生根,无或只有少量支持根 Rarely emerged from upper parts of trunk, non or few prop root	从树干的基部和上部大量萌生气生根,大部分的枝干具有多数支持根 Numerous, emerged from basal and upper parts of trunk and most branches with numerous prop roots
叶形和颜色 Leaf shape and color	窄的长卵圆形或长倒卵形,立体观似舟形,长6～7cm,宽2.8～3.4cm,深绿色 Narrow oblong-ovate or obovate, stereoscopic view somewhat navicular, length 6～7cm, width 2.8～3.4cm, strong green	宽的椭球形,立体观平板形,长6.5～8.5cm,宽4.0～5.0cm,淡绿色 Broad elliptic-orbicular, stereoscopic view more plate, length 6.5～8.5cm, width 4.0～5.0 cm, slight green
水生不定根 Hydro-adventitious root	稀少 Very rare	许多,长和分支状,形成大型的漂散状的移动簇块 Numerous, long and branching, forming a large dispersing floating and moving tufted mass
成熟果实 Mature fruit	球形 Spherical	卵圆型 Ovate

3.2 叶片叶绿素和类胡萝卜素含量及叶绿素荧光特性

叶绿素和类胡萝卜素含量是影响植物叶片光合速率的重要因素,测定结果显示(表2),陆生榕树叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量水平以及叶绿素a/b比值明显高于两栖型榕树,两种培植方式的两栖型榕树的色素水平基本相似,差异仅表现在类胡萝卜素的含量上,土培的两栖型榕树类胡萝卜素含量比水培的稍高.陆生榕树和两栖型榕树所生长的环境,可看作有明显变化的水因子梯度,生态适应的结果使得后者有向中生性的特征发展的倾向,叶片较宽,色素水平下降.

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

光被光合器官吸收后,驱动光合作用,部分光能以热的形式逸散或以荧光的形式从叶绿素的激发单线态再辐射出去,尽管后一个过程在被吸收的激发态能量的耗散中所占的比例很少,但可以被测定和分析,并由此获得关于前两个过程的信息.因此绿色植物发射的叶绿素 a 荧光可以作为一项指标,它以一种复杂的方式反映光合活性[5,20],荧光技术作为研究植物光合生理生态特性的新方法,越来越受到人们的重视,被广泛应用于室内和野外植物光合特性的专门研究[1,3,14,15,20,24].图 1 是根据测定结果计算得到的有关叶绿素荧光参数,反映 PS Ⅱ的原初光化学效率的 Fv/ Fm 和反映开放 PS Ⅱ中心的激发能捕获效率的有效量子产额 Fv′/ Fm′大小顺序为:陆生榕树 > 土培两栖型榕树 > 水培两栖型榕树,活性 PS Ⅱ中心非环式电子传递量子产额(ΦPS Ⅱ)的大小顺序则为:陆生榕树 > 土培两栖型榕树≈水培两栖型榕树,表明陆生榕树保持陆生植物固有的较高 PS Ⅱ效率;而非光化猝灭 q_N 的大小是:陆生榕树 < 土培两栖型榕树 < 水培两栖型榕树,两栖型榕树叶片 q_N 较高表明叶绿素光保护的热能耗散能力较陆生榕树强.

表 2　叶绿素和类胡萝卜素含量

Table 2 Contents of chlorophyll and carotene in leaf

	叶绿素 a Chlorophyll a (μg·g⁻¹DW)	叶绿素 b Chlorophyll b (μg·g⁻¹DW)	类胡萝卜素 Carotene (μg·g⁻¹DW)	叶绿素 a/ b Chlorophyll a/ b	叶绿素/ 类胡萝卜素 Chlorophyll / Carotene
A	3.256	1.273	0.979	2.557	4.625
B	2.038	0.969	0.756	2.103	3.969
C	2.173	0.994	0.674	2.186	4.693

A.陆生榕树 Terrestrial banyan,B.土培两栖型榕树 Amphibious banyan grown in soil,C.水培两栖型榕树 Amphibious banyan grown in water.

3.3　叶片气体交换的日变化

已有大量的研究证据显示,在种与种之间,气体交换的生理生态特性有明显的差异[11],但种内差异的比较研究大多局限于栽培作物,如向日葵[17]、小麦和玉米等[26,27],对野生植物,尤其是乔木的研究还少有报道.图 2 的观测结果显示,陆生榕树和两栖型榕树叶片的净光合速率的日变化为典型的双峰曲线,但净光合速率的大小各异,其日平均值(6 时～18 时)分别为:陆生榕树 10.3 ±2.8μmol·m⁻²·s⁻¹、土培两栖型榕树6.7 ±3.1μmol·m⁻²·s⁻¹、水培两栖型榕树 9.2 ±3.3μmol·m⁻²·s⁻¹,陆生榕树与水培两栖型榕树的平均净光合速率较接近,而土培两栖型榕树的净光合速率明显的小.从气孔导度的日变化曲线图上可看出,气孔导度与净光合速率的变化趋势相似,三者中也是以土培两栖型榕树的最小;陆生榕树与水培两栖型榕树气孔导度的总体水平相当,但变化的规律性有差异.上午陆生榕树略高于水培两栖型榕树,下午则后者明显高于前者,

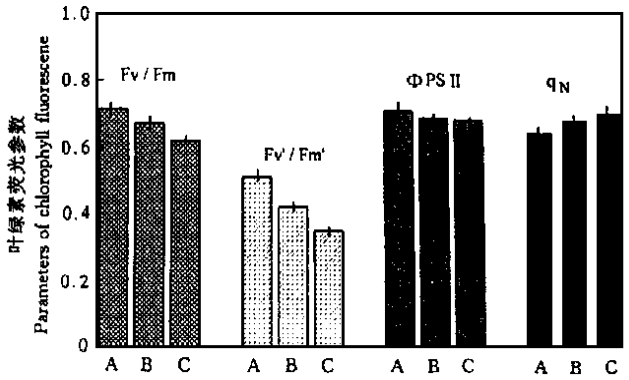

图 1　两种生态型榕树叶片叶绿素 a 荧光参数的比较

Fig. 1 Comparison on leaf chlorophyll fluorescence of two ecotypes of banyan.

A.陆生榕树 Terrestrial banyan;B.土培两栖型榕树 Amphibious banyan grown in soil;C.水培两栖型榕树 Amphibious banyan grown in water.下同 The same below.

说明后者在"午休"后气孔导度回复的速度快.由于三者胞间 CO_2 浓度变化曲线和浓度水平相近,同时叶温都比较接近,因此,三者之间的净光合速率差异主要是由于气孔导度的不同造成的.图 3 示叶片净光合速率与气孔导度的一元回归情况(陆生榕树:$y = 0.089x + 1.340$, $n - 2 = 13$, $r = 0.791$, $\alpha = 0.641$, $p < 0.01$;土培两栖型榕树:$y = 0.117x - 0.019$, $n - 2 = 13$, $r = 0.880$, $\alpha = 0.641$, $p < 0.01$;水培两栖型榕树:$y = 0.090x - 0.474$, $n - 2 = 13$, $r = 0.890$, $\alpha = 0.641$, $p < 0.01$),结果显示相关系数均大于显著水平下的临界值,回归结果有效,即气孔导度与净光合速率呈现显著的正相关.气孔行为对 3 种榕树光合作用碳的固定显示了明显的主导控制作用.

至于陆生榕树的净光合速率比水培两栖型榕树稍高,原因是前者叶绿素含量比后者要高(表 1),叶绿素荧光特性也显示它有较高的 PS Ⅱ的光化学效率和较高的开放 PS Ⅱ中心线性电子传递的量子产额,即 PS Ⅱ有较高的对激发能捕获和传递的效率.

由于生长的环境不同和气孔导度的差异,蒸腾速率变化和大小区别也比较明显,其中,水培两栖型榕树由于生长在水环境中,水分供应充足,其蒸腾速率最高,且"午休"以后蒸腾速率上升较高,陆生榕树的蒸腾速率次之,土培两栖型榕树则要面临水分供应相对不足的情况,因此蒸腾速率最小.

气孔导度的变化是植物叶片气体和水分交换的控制因子,是生态环境引起的种内变异的特征[7,8,16,25]之一.相比较而言,土培两栖型榕树所处的环境水分供应不如水培两栖榕树,限制水分的损失是其主要的生理生态策略.图 2 中土培两栖型榕树日间的气孔导度较小,降低耗水以适应水分供应紧张,其蒸腾日变化也

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

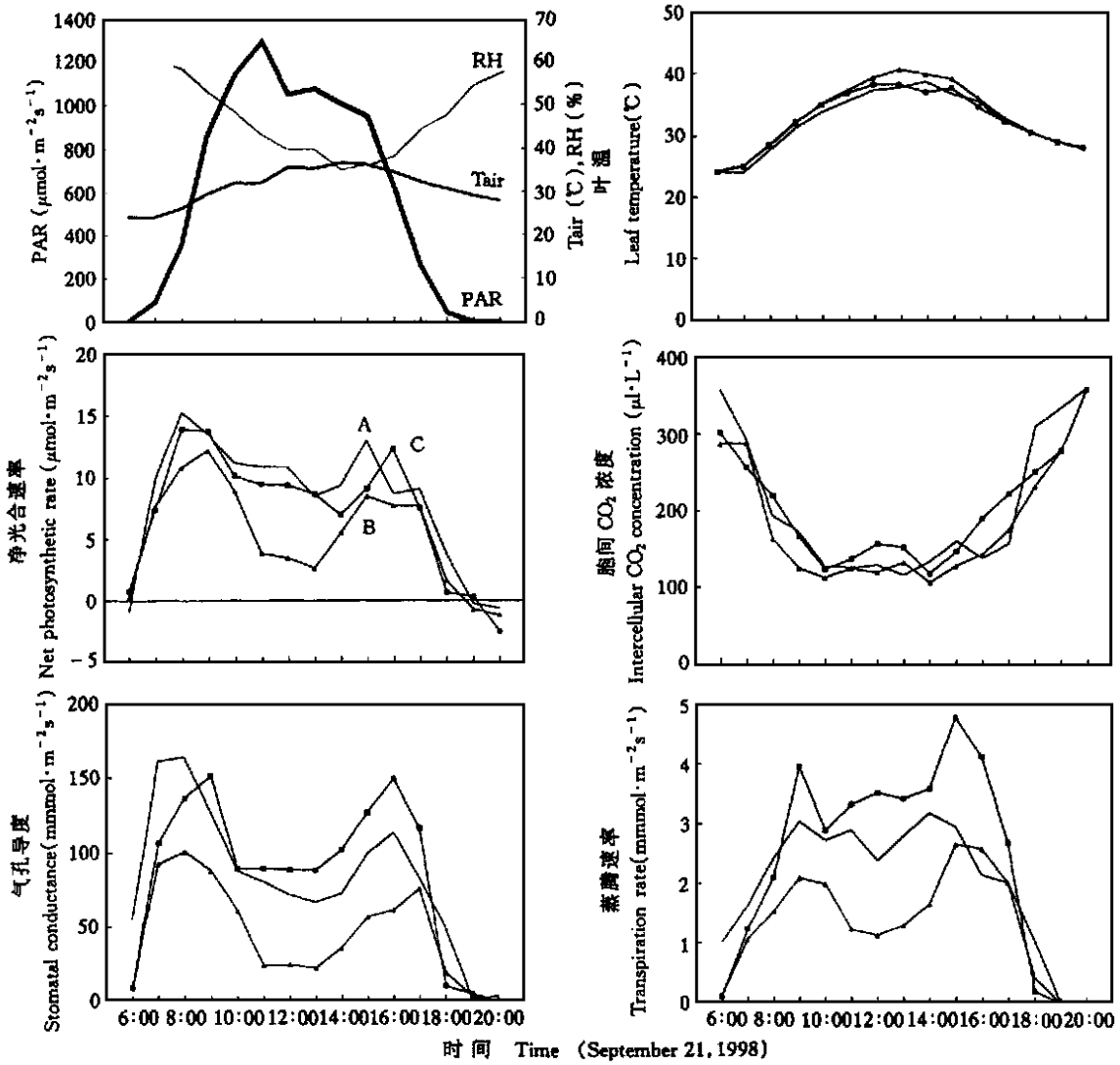

图 2 光合有效辐射、气温、相对湿度、叶温、净光合速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度的日变化

Fig. 2 Diurnal courses of PAR, air temperature, relative humidity, leaf temperature, net photosynthetic rate, stomatal gas exchange, stomatal conductance and intercellular CO_2 concentration.

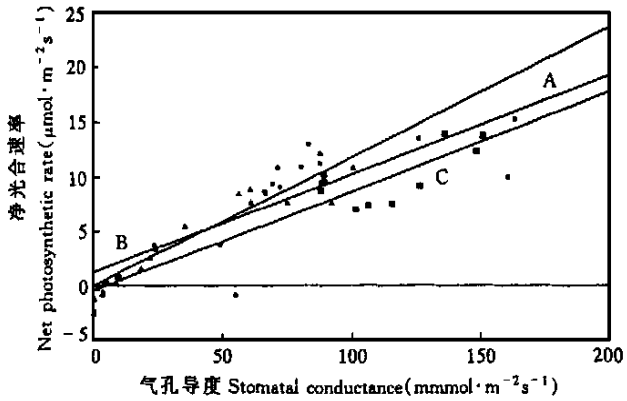

图 3 气孔导度与净光合速率的回归关系

Fig. 3 Regression relationship between stomatal conductance and net photosynthetic rate.

充分体现了这一点. 两栖型榕树一方面可在水中正常生长,另一方面又能忍受相对干旱的环境,并形成相对应的生理生态特征,这是两栖型榕树适应两种不同环境的生理基础.

CO_2 的向内和 H_2O 的向外扩散共用同一通道——气孔,植物通过关闭气孔限制水分的损失的同时必然限制碳的获取,以气孔调节光合作用是植物的共同特征[12,28]. 因此,陆生植物必须取得一个在碳固定与水分消耗之间的折中点(trade-off),这一折中点对形成气孔的行为、植物的生理和形态适应产生直接的影响[8,10]. 水分利用效率(water use efficiency, WUE)可被看作这一折中点的测度,图 4 是两种水分利用效率表达方式表示的日变化. 通常净光合速率与蒸腾速率的比值(WUE)被用来描述植物叶片的瞬时水分利用效率,另一种形式是净光合速率与气孔导度的比值,又称内在水分利用效率(Intrinsic WUE)[25]. 从图 4 可看出,第一种方式表示的水分利用效率日变化规律性以及三者之间的差异不明显,而用内在水分利用效率表

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

示的日进程曲线情形则有所不同,就整体水平而言,水培两栖型榕树的水分利用效率显然比其它两种要低,陆生榕树和土培两栖型榕树的大小和变化相似,后者略高,显示它从水环境向陆生环境过渡的生态适应的特点.因此,当气孔导度成为植物叶片的气体交换的主导限制因子时,以净光合速率与气孔导度的比值来描述植物光合作用过程的水分利用效率较为适宜.

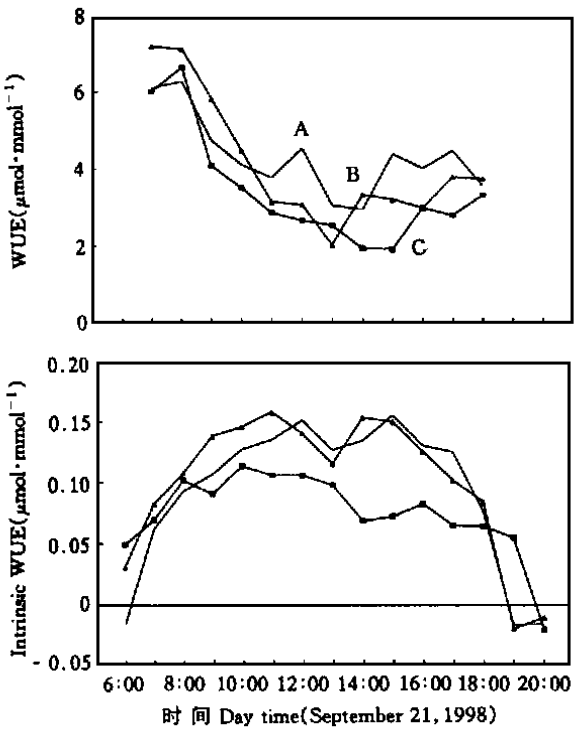

图 4　水分利用效率和内在水分利用效率的日变化
Fig. 4 Daily time-course of water use efficiency (WUE) and intrinsic WUE.

4　结　　论

4.1　由于生长环境条件的不同,陆生榕树和两栖型榕树在形态特征上的区别较明显,后者形成发达的水生性的不定根系,叶子较宽,并呈现向中生性特征的发展趋势.

4.2　陆生榕树叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量水平以及叶绿素 a/b 比值明显高于两栖型榕树,两种培植方式的两栖型榕树的色素水平基本相似,只是土培的两栖型榕树类胡萝卜素含量比水培的稍高.在叶绿素荧光特性方面,陆生榕树比两栖型榕树具较高的对激发能捕获和传递的效率和较高的 PS Ⅱ中心非环式电子传递量子产额,但两栖型榕树具高的非光化猝灭,叶绿素光保护的热能耗散能力较陆生榕树的强.

4.3　陆生榕树的气体交换特点和水培两栖型榕树相似,并不显示出生态型间的区别.土培两栖型榕树的净光合速率、气孔导度和蒸腾较低,但内在水分利用效率较高,显示出两栖型榕树从水环境过渡到陆地环境的生态适应能力;水培榕树和土培榕树的生理生态特性的比较又反映出水环境更有利于它的生长.两栖型榕树在生理生态特性上的这种优势为利用植物抗击洪水,保护湖泊、河流堤岸,考虑在全球变化的背景下引起的海平面上升的对策,提供有益的启示,因而对它的进一步研究有明显的战略意义.

致谢　本研究得到广东省高州市水电局的支持,张德明、许大彬等参加部分工作,谨此致谢!

参考文献

1 Adams Ⅲ WW, Diaz M, Winter K. 1989. Diurnal changes in photochemical efficiency, the reduction state of Q, radiationless energy dissipation, and non-photochemical fluorescence quenching in cacti exposed to natural sunlight in northern Venezuela. *Oecologia*, **80** (4): 553～561

2 Arnon D. 1949. Copper enzymes in chloroplast, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*, **24**: 1～25

3 Bilger W, Schreiber U, Bock M. 1995. Determination of the quantum efficiency of photosystem Ⅱ and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, **102** (4): 425～432

4 Burdick DM, Mendelssohn IA. 1987. Water logging response in dune, swale and marsh populations of *Spartina patens* under field conditions. *Oecologia*, **74** (3): 321～329

5 Cheng Y-Z(陈贻竹), Li X-P(李晓萍), Xia L(夏　丽) *et al*. 1995. The application of chlorophyll fluorescence technique in the study of response of plants to environmental stresses. *J Trop Subtrop Bot*, **3** (4): 79～86 (in Chinese)

6 Crawford RMM. 1982. Physiological responses to flooding. In: Lange OL eds. Physiological Plant Ecology. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 453～478

7 Dawson TE, Bliss LC. 1989. Intraspecific variation in the water relations of *Salix arctica*, an arctic - alpine dwarf willow. *Oecologia*, **79**: 322～331

8 Dawson TE, Ehleringer JR. 1993. Gender-specific physiology, carbon isotope discrimination, and habitat distribution in boxelder, *Acer negundo*. *Ecol*, **74**: 798～815

9 Dickson RE, Broyer TC. 1992. Effect of aeration, water supply and nitrogen source on growth and development of tupelo gum and bald cypress. *Ecol*, **53**: 626～634

10 Donovan LA, Ehleringer JR. 1994. Potential for selection on plants for water-use efficiency as estimated by carbon isotope discrimination. *Am J Bot*, **81**: 927～935

11 Evans JR. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C_3 plants. *Oecologia*, **78**: 9～19

12 Farquhar GD, Sharkey TD. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu Rev Plant Physiol*, **33**: 317～345

13 Francis CM, Devitt AC, Steel P. 1994. Influence of flooding on the alcohol dehydrogenase activity of roots of *Trifolium subterraneum* L. *Aust J Plant Physiol*, **1**: 9～13

14 Gamon JA, Serrano L, Surfus JS. 1977. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, **112** (4): 492～501

15 Gamon JA, Pearcy RW. 1989. Leaf movement, stress avoidance and photosynthesis in *Vitis california*. *Oecologia*, **79** (4): 475～481

16 Geber MA, Dawson TE. 1997. Genetic variation in stomatal and biochemical limitations to photosynthesis in the annual plant, *Polygonum arenastrum*. *Oecologia*, **109**: 535～546

17 Gimenez C, Itchell VJ, Lawlow DW. 1992. Regulation of photosyn-

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

thetic rate of two sunflower hybrids under water stress. *Plant Physiol*, **98**:516～524

18 Kawase M, Whitmoyer RE. 1981. Aerenchyma development in water logged plants. *Am J Bot*, **67**:18～22

19 Kozlowski TT. 1984. Plant responses to flooding of soil. *Bioscience*, **34**:162～167

20 Krause GH and Weis E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basis. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **42**:313～349

21 Linhart YB, Baker G. 1993. Intra - population differentiation of physiological responses to flooding in a population of *Veronica peregrina* L. *Nature*, **242**:275

22 Mo XM *et al*. 1996. A species of *Ficus* which can tolerate long duration of flood and drought may be an eco-amphiphyte. International Symposium on Transect Studies on Global Change and Biodiversity. Institute of Botany, Chinese Academy of Science, **5**:79～80

23 Osmond CB, Bjoerkman O, Anderson DJ. 1980. Physiological Process in Plant Ecology. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 41～65

24 Peng C-L (彭长连)、Lin Z-F (林植芳)、Lin G-Z (林桂珠) *et al*. 1998. Effect of tourism and industrialization on the atmospheric quality of subtropical forests and on chlorophyll fluorescence of two species of woody plants. *Acta Bot Sin* (植物学报), **40**(3):270～276 (in Chinese)

25 Penuelas J, Filella I, Llusia J *et al*. 1998. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the Mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. *J Exp Bot*, **49**(319):229～238

26 Pyke KA, Leech RM. 1985. Variation in ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase content in a range of winter wheat genotypes. *J Exp Bot*, **36**:1523～1529

27 Rocher JP, Prioul JL, Lecharny A *et al*. 1989. Genetic variability in carbon fixation, sucrose-p-synthesis and ADP glucose pyrophosphorylase in maize plants of differing growth rate. *Plant Physiol*, **89**:416～420

28 Schulze E-D. 1986. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annu Rev Plant Physiol*, **37**:247～274

29 South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences (中国科学院植物研究所主编) ed. 1972. Iconographic Cormophtorum Sinicorum, Tomus I. Beijing: Science Press. 477 (in Chinese)

30 Wang B-S (王伯荪), Li M-G (李鸣光), Peng S-L (彭少麟). 1995. Phytopopulology. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press. 122～123 (in Chinese)

作者简介 赵 平,男,1963 年出生. 硕士,副研究员. 主要从事植物生理生态学研究. 发表论文近 20 篇. E-mail: heshanstation@scib.ac.cn

欢迎订阅《应用生态学报》第 1～10 卷总索引

为纪念《应用生态学报》创刊 10 周年,本刊编辑部特将 1990～1999 所发表的论文目录汇集成册,其中包括本部撰写的办刊指南系列文章,以及分类索引、作者索引(中、英文)和投稿须知(修订)等. 欢迎国内外应用生态学工作者充分利用这一信息资源. 单位订阅每册 15.00 元,个人订阅(包括中国生态学会会员)优惠 30%,每册 10.00元. 地址:110015 辽宁省沈阳市文化路 72 号 中国科学院沈阳应用生态研究所内《应用生态学报》编辑部. 电话:(024) 23916250, E-mail: cjae@iae.syb.ac.cn

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.