

文章编号: 1001-1498(2009)04-0608-05

厚壁毛竹春季光合日变化及其与主要环境因子的关系初探

李迎春, 杨清平, 陈双林, 吴明

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

关键词: 厚壁毛竹; 净光合速率; 蒸腾速率; 环境因子

中图分类号: S795.7

文献标识码: A

Studies on Diurnal Variation of Photosynthesis of *Phyllostachys edulis* cv. *pachyloen* and Their Relationships to Environmental Factors in Spring

LI Ying-chun, YANG Qing-ping, CHEN Shuang-lin, WU Ming

(Research Institute of Subtropical of Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: The diurnal variation of photosynthesis of *Phyllostachys edulis* cv. *pachyloen* was studied by LI F6400, as well as those of photosynthetic photon flux density (*PPED*), CO_2 concentration in air (*Ca*), relative humidity (*RH*) and air temperature (*Tair*) were measured, and the relationships between the diurnal of *Pn*, *Tr* and climatic factors were analyzed by correlation coefficient path coefficient and decision coefficient analysis. The results were as follows: in the typical spring sunny days under natural conditions, the curve of net photosynthetic rate (*Pn*) had one peaks, and the peak value was $9.06 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, which occurred at 11:00 o'clock in the morning. The curve of diurnal variation of transpiration rate was also one-peaked, but the peak value appeared at 13:00, which was $4.95 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ or so. For the characteristics of photosynthesis and transpiration, *PPED* was the primary determining factor, and *RH*, *Ca*, and *Tair* affected *Pn*, *Tr* indirectly by acting on *PPED*.

Key words: *Phyllostachys edulis* cv. *pachyloen*; photosynthetic rate; transpiration rate; environment factors

光合作用是植物重要的生理过程之一,是植物物质生长的基础^[1],对植物生长发育具有重要意义。光合作用的强弱取决于树木的遗传性和环境条件的影响,由于光合作用与树木生长地环境条件的密切关系,光合强度在引种驯化中常作为评价树木适应性的重要指标。树木对某一地区的适应性,是其对该地区各种环境条件的生理生态反应的综合表象。研究引种树木的光合特性及其变化规律,可以对引种树木的驯化程度和方向作出科学的评估。此外,光合作用的某些生理参数,如光补偿点、光饱和点、 CO_2 补偿点等,已成为树木早期鉴定、速生丰产以及制定栽培措施的科学依据^[2-3]。

厚壁毛竹 (*Phyllostachys edulis* cv. *pachyloen* G. Y. Yang) 以其秆壁厚,部分近实心而不同于普通毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie), 是一个具有很高潜在利用价值的毛竹栽培变异种。近年来,开展了厚壁毛竹生物学特性、叶片生理生化特性、鞭生理及光合特性等方面的研究^[4-6],但关于厚壁毛竹光合特性及其与环境因子之间的关系研究还比较少^[7-8]。因此作者对引种的厚壁毛竹进行了活体测定,以期从光合特性、蒸腾特性等角度了解厚壁毛竹对光照、水分等生态因子的要求与适应性,并应用逐步多元回归和通径分析方法研究环境因子与光合作用的关系,旨在揭示春季晴天厚壁毛竹光合生

收稿日期: 2008-08-07

基金项目: 浙江省杭州市科技发展技术项目种子种苗专项 (20071032H11); 浙江省杭州市农业科技攻关项目 (20080632B42)

作者简介: 李迎春 (1976—), 女, 山东聊城人, 助理研究员, 硕士, 主要从事竹子生理生态研究。

理特性的日变化规律,为厚壁毛竹的栽培提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2008 年 5 月中旬在中国林科院亚热带林业研究所浙江省富阳市罗桥竹种繁育基地苗圃内进行。试验区 内年平均气温 16.1℃,极端最低气温 -14.4℃,极端最高气温 40.2℃,10 积温 5 100℃,年平均无霜期 232 天。年平均降水量 1 426 mm,降水量随季节变化,7—8 月为季节性干旱期。年平均蒸发量 1 392 mm,年平均相对湿度 79%,年平均日照时数为 1 995 h,属中亚热带向北亚热带过渡的季风湿润气候。土壤为花岗岩发育的砂质黄壤,土层厚度 80 mm 以上,pH 值 5.5,有机质含量 43 g·kg⁻¹,水解 N 176.54 mg·kg⁻¹,速效 P 30.124 mg·kg⁻¹,速效 K 307.494 mg·kg⁻¹。

厚壁毛竹种苗引自江西农业大学,2005 年 3 月份采用母竹营造试验林,面积 0.1 hm²,母竹平均胸径 2.10 cm,初植密度 600 株·hm⁻²。2006 年试验林有少量出笋成竹,新竹径级小(平均胸径 1.67 cm);2007 年大量出笋成竹,新竹平均胸径 2.22 cm,平均每株母竹出笋成竹数 5 株,2008 年为出笋小年,故选择 2007 年出笋成竹的健康立竹进行光合测定。试验林除 5 月份劈山除草外,每年 7 月份株穴施复合肥(N、P₂O₅、K₂O 45%),每株 50 g 左右。

1.2 研究方法

1.2.1 光合作用日变化 净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)测试采用 Li-6400 便携式光合分析仪。 P_n 、 T_r 日变化测定选在晴朗无风、光照充足日的上午 7:00 时至下午 17:00 时,每 2 小时测定 1 次。取中部冠层的第 10~14 轮枝,东西南北四个方向的枝条上部第 3 或第 4 片功能叶进行光合测定,重复 3 次。同步测定光量子通量密度($PPED$)、大气温度(T_{air})、大气 CO₂ 浓度(C_a)、相对湿度(RH)、水气压差(V_{pdl})、胞间 CO₂ 浓度(C_i)、气孔导度($Cond$)等 9 项主要环境因子。

1.2.2 光合响应曲线 上午 10:00 时左右叶片充分活化后,采用 Li-6400 红外 CO₂ 气体分析仪自带的红蓝光源测定,光量子通量密度设置为 2 000、1 800、1 500、1 200、1 000、800、500、200、100、80、50、20、0 μmol·m⁻²·s⁻¹,测定时通过系统控制叶片湿度为(30±1)%,CO₂ 浓度和相对湿度均为自然

状态。

1.3 数据处理与统计分析

1.3.1 光响应曲线的数学模拟 以光量子通量密度($PPED$)为横轴、净光合速率(P_n)为纵轴用 Photosyn Assistant 软件绘制光响应曲线(P_n - $PPED$ 曲线)。依据方程 $P_n = P_{max}(1 - C_0 e^{-PPED/P_{max}})^{[9]}$ 拟合 P_n - $PPED$ 曲线,其中 P_{max} 为最大光合速率,为表观量子效率(AQY), C_0 为度量弱光下净光合速率趋于 0 的指标。通过适合性检验,拟合效果良好($R^2 = 0.97$),然后用下式计算光补偿点(LCP): $LCP = P_{max} \ln(C_0) /$,假定 P_n 达到 P_{max} 的 99% 的 $PPED$ 为 LSP ,则: $LSP = P_{max} \ln(100C_0) /$ [10]。

1.3.2 生理生态因子对光合作用的影响 每个测定数值以平均值表示,采用 Excel 和 SSPS15.0 统计分析软件对观测数据进行相关性分析、逐步多元回归和通经分析。

2 结果与分析

2.1 主要环境因子日变化

从 7:00 时开始,光量子通量密度($PPED$)逐渐增大,在 13:00 时左右达到最大值(1 265.67 μmol·m⁻²·s⁻¹),以后逐渐减弱,变化幅度很大;大气 CO₂ 浓度(C_a)在早上 7:00 时最高,随着植物光合作用的进行,其浓度逐步降低,在 11:00 时以前下降的速度稍快,到 13:00 时浓度变化比较平稳,17:00 时后又有所回升(图 1A);随着光量子通量密度($PPED$)的逐渐增大,大气温度(T_{air})逐渐增高,13:00—15:00 时较高,最高达到 34.8℃;水气压差(V_{pdl})是在一定温度下空气的水汽压与对应的饱和水汽压的差,既反映空气中水汽状况,也在一定程度上反映影响植物蒸腾作用的水汽压差的变化 [3],最大值出现在 13:00 时左右,达 4.51 mg·L⁻¹(图 1B)。

2.2 P_n 、 T_r 的日变化

由图 2 可知,厚壁毛竹净光合速率(P_n)的日变化呈单峰曲线。在上午 11:00 时之前,净光合速率(P_n)逐渐增强,并在 11:00 时左右达到最大值,约为 9.06 μmol·m⁻²·s⁻¹,之后逐渐降低。净光合速率(P_n)日均值为 5.88 μmol·m⁻²·s⁻¹。

蒸腾速率(T_r)的日变化也为一单峰曲线,与净光合速率(P_n)的日变化规律不同的是蒸腾速率(T_r)日变化是在午后 13:00 时左右达到最大值,约为 4.95 mmol·m⁻²·s⁻¹。蒸腾速率(T_r)日均值为 2.39 mmol·m⁻²·s⁻¹。

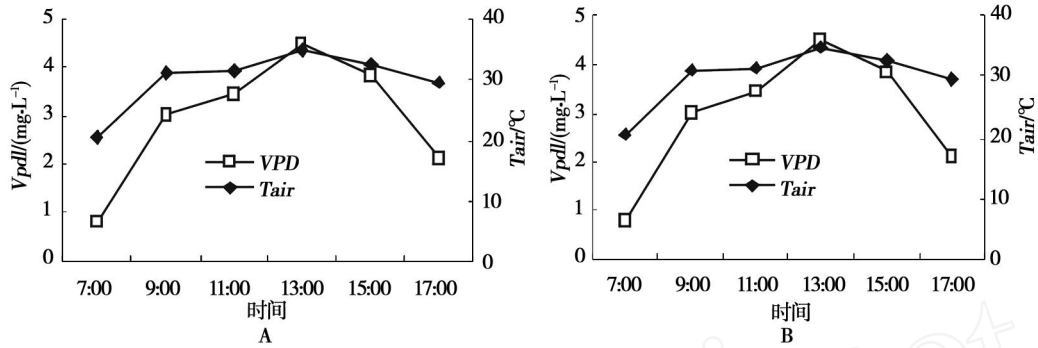


图 1 主要环境因子日变化

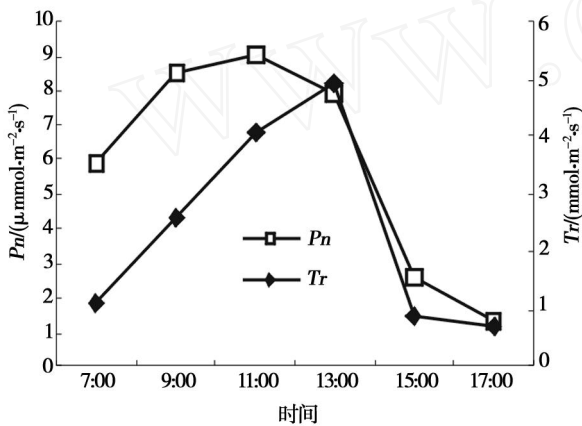


图 2 厚壁毛竹 P_n 、 T_r 日变化

表 1 厚壁毛竹光合特征参数

$LCP /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$LSP /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$P_{\text{max}} /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	AQY
12.47	800.17	10.42	0.061

2.4 光合速率与主要环境影响因子的相关分析

从表 2 的简单相关系数矩阵看出,厚壁毛竹净光合速率 (P_n) 与大气温度 (T_{air})、大气 CO_2 浓度 (C_a)、水气压差 (V_{pdl}) 呈正相关关系,与光量子通量密度 ($PPED$)、气孔导度 ($Cond$)、蒸腾速率 (T_r) 呈显著或极显著正相关,与相对湿度 (RH)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 呈负相关关系。说明当光量子通量密度 ($PPED$) 增强,温度上升,厚壁毛竹净光合速率 (P_n) 随之升高,伴随着水气压差 (V_{pdl})、蒸腾速率 (T_r) 也有升高的现象。

2.5 P_n 、 T_r 及其主要环境影响因子的回归分析

为定量了解环境因子对厚壁毛竹光合作用的影响,将净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 与主要环境影响因子的测定数据进行逐步回归分析,建立关系程式如下:

$$Y_{P_n} = -28.334 + 0.006X_{PPED} + 0.0768X_{C_a} - 0.0489X_{RH} + 15.632X_{Cond} \quad R = 0.976, F = 5.029, p = 0.321$$

$$Y_{T_r} = 13.381 + 0.006X_{PPED} - 0.043X_{C_a} - 0.669X_{V_{pdl}} + 0.017X_{C_i} \quad R = 1.000, F = 27.639.174, p = 0.005$$

模型的相关性均达到了显著水平 97% 以上,且具有很好的拟合值 (表 3),表明其具有较强的预测能力。从两个回归方程可以看出,影响厚壁毛竹净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 日变化的主要环境因子是光量子通量密度 ($PPED$)、相对湿度 (RH)、大气 CO_2 浓度 (C_a)、水气压差 (V_{pdl})。

2.3 光合作用的光响应曲线

由配置红蓝光源设定不同光合有效辐射强度下测定的净光合速率 (图 3) 可知,当光量子通量密度在 $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时,厚壁毛竹净光合速率 (P_n) 几乎呈直线上升;当光量子通量密度超过 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,净光合速率上升幅度减少,渐渐趋于平衡。

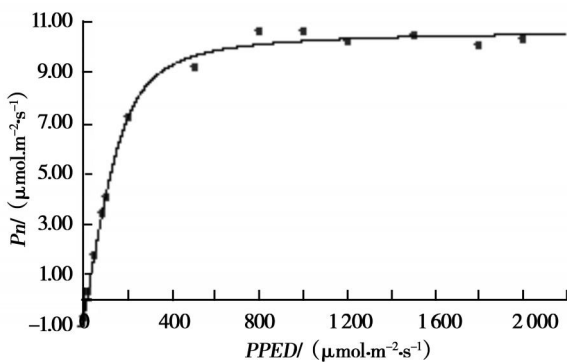


图 3 厚壁毛竹光响应曲线

由表 1 可知,厚壁毛竹的光补偿点 (LCP) 为 $12.47 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光饱和点 (LSP) 为 $800.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表观量子效率 (AQY) 为 0.061 ,最大净光合速率 (P_{max}) 为 $10.42 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表 2 厚壁毛竹光合速率 (P_n)与主要环境影响因子的相关关系矩阵

影响因子	光照强度 ($PPED$)	大气温度 (T_{air})	大气 CO_2 浓度 (C_a)	相对湿 度 (RH)	水气压差 (V_{pdl})	胞间 CO_2 浓度 (C_i)	气孔导度 ($Cond$)	光合速 率 (P_n)	蒸腾速 率 (Tr)
$PPED$	1.000								
T_{air}	0.664	1.000							
C_a	-0.423	-0.923**	1.000						
RH	-0.704	-0.970**	0.867**	1.000					
V_{pdl}	0.741	0.959**	-0.842**	-0.994**	1.000				
C_i	-0.659	-0.880**	0.754*	0.780**	-0.754*	1.000			
$Cond$	0.365	-0.431	0.574	0.315	-0.252	0.390	1.000		
P_n	0.809*	0.141	0.144	-0.243	0.280	-0.237	0.761*	1.000	
Tr	0.959**	0.543	-0.365	-0.602	0.650	-0.484	0.516	0.811*	1.000

注: *表示在 0.05 水平上显著, **表示在 0.01 水平上显著。

表 3 光合速率和蒸腾速率的观察值与拟合值

时间	观测值		拟合值		拟合误差	
	$P_n /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Tr /$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$P_n /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Tr /$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$P_n /$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	$Tr /$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
7:00	5.85000	1.10000	6.13597	1.10102	-0.28597	-0.00102
9:00	8.49000	2.59000	8.21270	2.59009	0.27730	-0.00009
11:00	9.06000	4.07000	7.94580	4.06096	1.11420	0.00904
13:00	7.91000	4.95000	8.93954	4.95708	-1.02954	-0.00708
15:00	2.62000	0.90000	2.67193	0.89799	-0.05193	0.00201
17:00	1.37000	0.73000	1.39406	0.73288	-0.02406	-0.00288

进一步对逐步回归中选取的几个环境因子与净光合速率 (P_n)和蒸腾速率 (Tr)进行偏相关系数分析,可以看出(表 4),厚壁毛竹净光合速率 (P_n)日变化与环境因子光量子通量密度 ($PPED$)和大气 CO_2 浓度 (C_a)的相关关系分别达到了极显著水平和显著水平,与相对湿度 (RH)却无显著相关关系,而在简单相关分析(表 2)中相对湿度 (RH)对净光合速率 (P_n)却不重要。蒸腾速率 (Tr)与光量子通量密度 ($PPED$)、大气 CO_2 浓度 (C_a)、水气压差 (V_{pdl})的相关性达极显著水平(表 4),而在表 1 中蒸腾速率 (Tr)与大气 CO_2 浓度 (C_a)、水气压差 (V_{pdl})无显著相关。

通经分析研究多个相关变量之间的关系,并将其相关变量的关系分为直接和间接两类关系进行研究^[11]。在通经分析中,从直接作用绝对值大小看,环境因子对净光合速率影响的顺序为光量子通量密度 ($PPED$) > 大气 CO_2 浓度 (C_a) > 相对湿度 (RH) (表 5)。分析可知,环境因子对净光合速率 (P_n)起直接主要影响作用的是光量子通量密度 ($PPED$)和大气 CO_2 浓度 (C_a),这与偏相关系数分析相符。环境因子对蒸腾速率 (Tr)影响的顺序为光量子通量密度 ($PPED$) > 大气 CO_2 浓度 (C_a) > 水气压差 (V_{pdl}) (表 6)。

表 4 光合速率、蒸腾速率与环境因子的偏相关分析

环境因子	偏相关系数	t 检验	显著水平 p
$r(P_n, PPED)$	0.78510	1.26758	0.33255
$r(P_n, C_a)$	0.69683	0.97156	0.43375
$r(P_n, RH)$	-0.30581	0.32120	0.77852
$r(P_n, Cond)$	0.40811	0.44704	0.69860
$r(Tr, PPED)$	0.99999	223.40953	0.00002
$r(Tr, C_a)$	-0.99989	68.22414	0.00021
$r(Tr, V_{pdl})$	-0.99982	53.31979	0.00035
$r(Tr, C_i)$	0.99993	86.70743	0.00013

表 5 净光合速率与环境因子的通经系数分析

参数	直接通经系数	间接通经系数		
		$PPED$	C_a	$RH / \%$
$PPED$	0.79298	-0.23308	0.16563	
C_a	0.55135	-0.33523	-0.20399	
RH	-0.23517	-0.55848	0.47825	

表 6 蒸腾速率与环境因子的通经系数分析

参数	直接通经系数	间接通经系数		
		$PPED$	C_a	V_{pdl}
$PPED$	1.41716	0.23518	-0.36677	
C_a	-0.55632	-0.59910	0.41653	
V_{pdl}	-0.49483	1.05042	0.46830	

3 小结与讨论

本研究中厚壁毛竹在春季晴天,其净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)日变化均呈单峰曲线,这与施建敏等对毛竹光合^[12-13]、蒸腾特性^[14]研究结果相一致。净光合速率 (P_n)峰值在上午 11:00 时左右出现,为 $9.06 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,没有“午休”特征。蒸腾速率 (T_r)在 13:00 达到峰值 ($4.95 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),与净光合速率 (P_n)日变化规律不同,说明植物的蒸腾作用过程及其影响因素与光合作用不同,蒸腾作用不仅是植物的生理过程,同时也是受气象条件影响的物理蒸发过程。

毛竹最大净光合速率 (P_{max})为 $11 \sim 15.54 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光补偿点 (LCP)约 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光饱和点 (LSP)在 $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,表观量子效率 (AQY)为 0.036 ^[9]。陈存及等^[15]对 9 个毛竹种源新竹光合特性测定结果则表明,各毛竹种源新竹年均光补偿点 (LCP)变幅为 $10.3 \sim 16.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。本文测定的厚壁毛竹光响应特征值基本与上述研究结果相符,不同点是表观量子效率 (AQY)为 0.061 ,显著高于毛竹,说明厚壁毛竹具有较高的光能利用能力。

通过逐步回归分析发现,大气温度 (T_{air})是与各光合参数之间相关性最小的环境因子。许多研究认为,大气温度 (T_{air})与净光合速率 (P_n)的相关性是一种假相关,不应是净光合速率 (P_n)的直接限制因子^[16-19]。本研究也同意上述观点,在厚壁毛竹光合日变化中,温度基本上在 $20 \sim 32$,大气温度 (T_{air})在一天内波动不大。也有学者认为温度是影响光合的主导因子^[20-21],可能不同季节大气温度 (T_{air})对净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)的影响不同,本文仅研究了 2 年生厚壁毛竹春季的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)的变化特征,不同年龄、不同季节光合特性及环境影响因子存在差异^[22],因此不同年龄厚壁毛竹光合、蒸腾年季动态变化还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 葛滢,常杰,陈增鸿,等. 青冈 (*Quercus glauca*) 净光合作用与

环境因子的关系 [J]. 生态学报, 1999, 19(5): 683 - 688

- [2] 朱万泽,王金锡,薛建辉. 台湾栎木引种的光合生理特性研究 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(11): 2012 - 2019
- [3] 王金名. 树木引种驯化概念 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990
- [4] 郭起荣,杜天真,胡加林,等. 厚壁毛竹鞭芽分布与扩鞭性能 [J]. 世界竹藤通讯, 2004, 2(4): 17 - 20
- [5] 郭起荣,胡加林,杜天真,等. 厚壁毛竹叶片的生理生化特性 [J]. 中南林学院学报, 2005, 25(3): 8 - 11
- [6] 郭起荣,杨光耀,杜天真,等. 厚皮毛竹厚壁性状的表型遗传分析 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 24(6): 811 - 814
- [7] 施建敏. 厚壁毛竹与毛竹光合及相关生理生态特性的比较研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2004
- [8] 施建敏,杨光耀,郭起荣. 厚壁毛竹蒸腾动态研究 [J]. 武汉植物学学报, 2008, 26(4): 397 - 401
- [9] Bassman J, Zwier J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoids* clone [J]. Tree Physiol, 1991, 8: 145 - 159
- [10] 王满莲,韦霄,蒋运生,等. 野生与栽培黄花蒿净光合速率对光强和 CO_2 浓度的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(1): 45 - 49
- [11] 邵玲玲,李毅,李禄军,等. 柠条叶片光合速率日变化特征的研究 [J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1): 12 - 14
- [12] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹光合动态研究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 551 - 555
- [13] 施建敏,郭起荣,杨光耀,等. 毛竹光合作用对环境因子的季节响应 [J]. 广西植物, 2007, 27(6): 923 - 928
- [14] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹蒸腾动态研究 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 101 - 104
- [15] 陈存及,邱尔发,梁一池,等. 毛竹不同种源光合特性研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(6): 15 - 19
- [16] 雷泽湘,林鹏. 秋茄蒸腾作用日变化及其与生态因子的相关分析 [J]. 湖北农学院学报, 1998, 18(3): 204 - 208
- [17] 柯世省,陈模舜. 紫荆光合日变化及其与环境因子的关系 [J]. 天津师范大学学报: 自然科学版, 2004, 24(3): 30 - 33
- [18] 张文标,金则新,柯世省,等. 木荷光合特性日变化及其环境因子相关性分析 [J]. 广西植物, 2006, 26(5): 492 - 498
- [19] 岳春雷,刘亚群. 濒危植物南川升麻光合生理生态的初步研究 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(1): 71 - 75
- [20] 邹学校,马艳青,张竹青,等. 环境因子对辣椒光合与蒸腾特性的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(4): 15 - 20
- [21] 刘玉华,史纪安,贾志宽,等. 旱作条件下紫花苜蓿光合蒸腾日变化与环境因子的关系 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1811 - 1814
- [22] 霍宏,王传宽. 冠层部位和叶龄对红松光合蒸腾特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1181 - 1186