

木荷光合特性日变化及其与环境因子相关性分析

张文标^{1,2}, 金则新^{2*}, 柯世省², 陈彤²

(1. 西南师范大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 2. 台州学院 生态研究所, 浙江 临海 317000)

摘要: 运用 LCA4 型便携式全自动光合测定系统, 在自然条件下, 于 9 月上旬的晴天里对空旷地生境中木荷叶片光合作用日进程进行测定, 结果表明: 木荷冠层叶片的净光合速率日进程曲线为双峰型, 在午间出现明显的“午休”现象。用逐步多元回归方法得到净光合速率日变化的最优化方程为: $Y = -5.0105 + 0.0052X_1 + 0.3869X_3 - 0.3576X_4$ (复相关系数 $R = 0.9558$, F 值 = 24.6384, 显著水平 $p = 0.0004$, 剩余标准差 $S = 0.7893$)。偏相关分析和通径分析表明, 光合有效辐射、空气相对湿度和气温与净光合速率的日变化有着极显著或显著的相关关系, 是影响光合速率主要的环境因子, 影响大小的顺序为: 光合有效辐射 > 空气相对湿度 > 气温。

关键词: 木荷; 净光合速率; 环境因子; 逐步多元回归; 通径分析

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)05-0492-07

Diurnal photosynthetic characteristics of *Schima superba* and its correlation with environment

ZHANG Wen-biao^{1,2}, JIN Ze-xin^{2*}, KE Shi-sheng², CHEN Tong²

(1. Key Laboratory of the Three Gorge Reservoir Region's Eco-Environment (Ministry of Education), Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China; 2. Ecology Institute of Taizhou University, Linhai 317000, China)

Abstract: The diurnal variation of photosynthesis of *Schima superba* in gap condition was studied by the LCA4 Portable Photosynthesis System under natural conditions. The results were as follows: The curve of net photosynthetic rate (P_n) in sun leaves had two peaks, which had an obvious decline of photosynthetic efficiency at noon, in fine days at early September. The mid-depress of P_n was primarily caused by nonstomatal limitations. The optimization equation of the diurnal variation of P_n was attained by the method of stepwise multiple-regression as follows: $Y = -5.0105 + 0.0052X_1 + 0.3869X_3 - 0.3576X_4$ ($R = 0.9558$, $F = 24.6384$, $p = 0.0004$, $S = 0.7893$). The analysis of partial correlation and path on P_n and factors showed that the diurnal variation of P_n had significant correlation with photosynthetic effective radiation (Q_l) and air relative humidity (RH), respectively. Q_l , RH and T_a were the important factors which affected P_n and the order of effecting ability was $Q_l > RH > T_a$.

Key words: *Schima superba*; net photosynthetic rate; ecological factor; stepwise multiple-regression analysis of path

收稿日期: 2005-04-12 修回日期: 2005-10-14

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(399203)[Supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province(399203)]

作者简介: 张文标(1981-), 男, 浙江台州市人, 硕士生, 主要从事植物生态学研究。

* 通讯作者(Author for correspondence)

光合作用是植物物质生产的基础,也是全球碳循环及其它物质循环的最重要环节(葛滢等,1999),对树种光合特性的研究将为解释和预测内部和外部因子如何影响森林树木和森林的生长、发育及物质生产过程中的能量吸收、固定、分配与转化起到重要的作用(陈德祥等,2003)。木荷(*Schima superba*)为山茶科(Theaceae)的常绿大乔木(金则新等,2003),广泛分布于我国东部亚热带地区,是我国中亚热带东部常绿阔叶林主要建群种之一(胡正华等,2003)。目前,一些学者在种内与种间竞争关系(金则新等,2003)、种群结构和动态(蔡飞等,1997)、演替更新特点(王良衍等,2002)等方面对木荷进行了较多的研究,并且在光合特性方面也做了一些工作(丁圣彦等,1999;丁圣彦,2001),积累了一些资料。但有关木荷光合特性日变化及其与环境因子相关性方面的研究尚未见报道。

光合作用是一个复杂的生物物理化学过程,受到诸多内外因素的限制。在自然条件下,这些因素是相互联系的(余叔文等,1998)。本研究旨在了解木荷光合作用日变化的特征;了解环境因子与光合特性之间的相关性及其与环境因子之间的关系。为了避免定性描述和简单相关分析的片面性,本文进一步通过逐步多元回归和通径分析的方法来探讨这些因子与光合作用的关系。

1 材料与方 法

实验样地位于浙江临海三峰寺,海拔 30 m,坡向 SE30°。试验材料为空旷地中多年生的木荷。于 9 月上旬自然条件下进行光合作用不离体测定。选取冠层生长良好、成熟的叶片,用英国 ADC 公司生产的 LCA4 型便携式全自动光合测定系统进行测定。重复测定 3 个叶片,每个叶片重复记录 2~4 个数据组,结果取平均值。测定时间从 7:00~17:00,每隔 1 h 测定一次。测定的指标有叶片光合有效辐射($Q_L/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$)、净光合速率($P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$)、气温($T_a/^\circ\text{C}$)、大气相对湿度($RH/\%$)、大气 CO_2 浓度($C_a/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$)、胞间 CO_2 浓度($C_i/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$)和气孔阻力($r_s/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$)。

用 DPS 数据处理系统对野外观测数据进行简单相关分析、逐步多元回归分析和通径分析(唐启义等,2002)。

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化

自然条件下,环境因子日变化见图 1。叶片光合有效辐射是变化幅度最大的环境因子。早晨,叶片表面的光合有效辐射逐渐增大,到中午 12:00 左右达到最大值,后缓慢下降。气温的日变化明显受太阳辐射强度的影响,叶片表面温度由于阳光的照射而高于周围空气的温度,各种温度在午间达到最大值。空气相对湿度日变化趋势与光合有效辐射和气温日变化呈负相关,在日出前后达到最大值,随着光合有效辐射的增强和气温的升高而下降,在 13:00 左右出现最小值,之后逐渐回升。空气 CO_2 浓度在清晨最高,日出后明显下降,在午间达到最小值,之后基本上维持在这个浓度,没有太大的回升。

2.2 光合特性日变化

2.2.1 光合速率日变化 自然条件下,木荷叶片净光合速率(P_n)日变化进程呈“双峰”型(图 2),第一峰出现在上午 9:00,第二峰出现在下午 15:00,光合能力较第一峰有所下降,为第一峰的 75.2%。峰谷出现在中午 12:00~14:00,此时光合能力明显下降,最低值为第一峰的 59.0%。

净光合速率日变化呈双峰型,是因为清晨时多种环境因子如大气 CO_2 浓度,空气相对湿度等都达到了最佳状态,在日出后随着光合有效辐射的逐渐增强,叶片可捕获的光能也逐渐增多,因为光可以为光合作用提供同化力形成所需的能量、活化光合作用关键的酶和促使气孔开放(余叔文等,1998), P_n 随之增大,在上午 9:00 左右出现第 1 峰。随着光合有效辐射的进一步增强,可能导致叶片吸收的光能出现过剩,同时伴随着其他环境因子的较大变化,如空气 CO_2 浓度和空气湿度的下降、气孔阻力和暗呼吸速率的增加等,在午间出现了较明显的光合“午休”现象。之后光合有效辐射、叶温和气孔阻力下降, P_n 出现第二峰,随着光合有效辐射进一步的减弱, P_n 逐渐减小。

2.2.2 胞间 CO_2 浓度日变化 胞间 CO_2 浓度(C_i)的日进程基本上与 P_n 相反(图 2)。胞间 CO_2 是光合作用的主要原料之一,净光合速率较大时,固定的 CO_2 就较多,从而引起 C_i 的降低。在午间前后,由于净光合速率逐渐下降, C_i 快速升高。 C_i 还受大气 CO_2 浓度、气孔阻力等变化的影响,前者的大小会

影响叶片内外 CO_2 的浓度差,后者会影响 CO_2 从大气进入羧化部位的速度。

2.2.3 气孔阻力日变化 气孔是一个对内部和外部因子敏感性极高、具有调节作用的阀门,气孔开放有利于叶片光合作用的碳固定,并由于蒸腾的降温作用使叶片在高温的情况下避免热损伤;气孔关闭能减少水分的消耗,降低由于过分失水而导致植物出现极度水分欠缺的危险(柯世省等,2003)。气孔阻力(r_s)的日进程与 C_i 基本相似,而与 P_n 基本相反。 CO_2 从叶外向叶绿体内的羧化部位扩散时,会遇到多种阻力,而气孔阻力是其中被广泛研究的一种阻力(余叔文等,1998)。早上光合有效辐射的逐渐增

加和 P_n 增加引起的 C_i 的降低,都有利于气孔的张开,气孔阻力降低,同时叶温上升,使蒸腾速率加快, r_s 最低值出现在上午 9:00 左右。当光合有效辐射进一步增强,温度升高,空气相对湿度下降(图 1),使气孔下腔的饱和水蒸气压差增大,进而加速蒸腾速率。高蒸腾速率会引起叶片失水过多,细胞水势下降,从而促使部分气孔关闭,气孔阻力逐渐增大。在下午 15:00 左右随着其他环境因子的变化, r_s 出现第二个最低值,在 16:00 后,光合有效辐射快速下降,叶温降低,气孔阻力又增大。气孔通常在光合有效辐射低于 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后开始关闭,因为随着光合有效辐射的降低,水分利用率就会下降,气

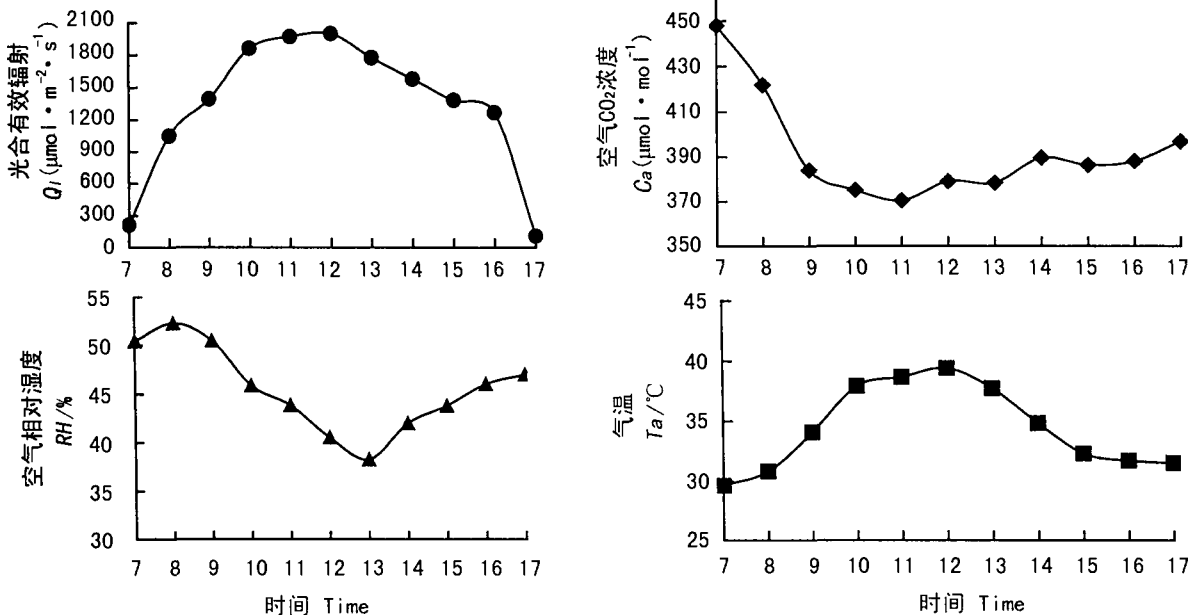


图 1 叶片光合有效辐射(Q_l)、空气 CO_2 浓度(C_a)、空气相对湿度(RH)和气温(T_a)日变化
Fig. 1 The diurnal variations of environment factors of Q_l, C_a, RH and T_a

孔关闭可以起到保存水分的作用(Park 等,1983)。

2.2.4 暗呼吸速率日变化 暗呼吸速率日进程呈“单峰”型(图 2),在早晨最低,午间达到最大值,暗呼吸速率的日变化趋势同光合有效辐射和气温日变化,且没有受午间高温的抑制,这与对桉树叶片的暗呼吸速率不随气温的升高而增大,同时受 35°C 以上高温的抑制有差别(苏冬梅等,2001)。

Farquhar 和 Sharkey 认为,当 P_n 和 C_i 变化的方向相同,且气孔限制值增大,可认为 P_n 的下降主要是气孔限制引起;如果 P_n 和 C_i 的变化方向相反,气孔限制值减小,则 P_n 下降归因于叶肉细胞同化能力的降低(Farquhar 等,1982)。当两种因素同时存在时, C_i 变化的方向依赖于占优势的那个因

素,标准应当是 C_i 变化的方向,而不是 C_i 变化的幅度(许大全,1997a)。午间气孔阻力和 C_i 浓度增高表明木荷光合“午休”是存在气孔限制和非气孔限制两类因素,但以非气孔限制为主。

2.3 光合作用与环境因子的关系分析

对木荷的 P_n, R, C_i, r_s 及其影响因子的观测数据分别进行简单相关性分析,结果见表 1。四种环境因子的日变化只与 R 达 0.01 显著性水平外,而与 P_n, C_i 和 r_s 均无显著的相关关系。明显表明这分析结果与实际情况有较大的出入。

在自然条件下,环境因子是复杂多变的,植物光合机构只能在复杂多变的环境条件下形成、发展和运转(余叔文等,1998),而简单相关性分析不能很好地

反映多因子影响下的相关性。本文应用逐步多元回归分析方法,以 $Ql(X_1)$ 、 $Ca(X_2)$ 、 $RH(X_3)$ 、 $Ta(X_4)$ 。

分别与 P_n 、 R 、 C_i 、 r_s 作逐步多元回归分析,选

取对 P_n 、 R 、 C_i 、 r_s 影响较大的因子,并分别建立最优回归方程。

以 $Ql(X_1)$ 、 $Ca(X_2)$ 、 $RH(X_3)$ 、 $Ta(X_4)$ 分别与

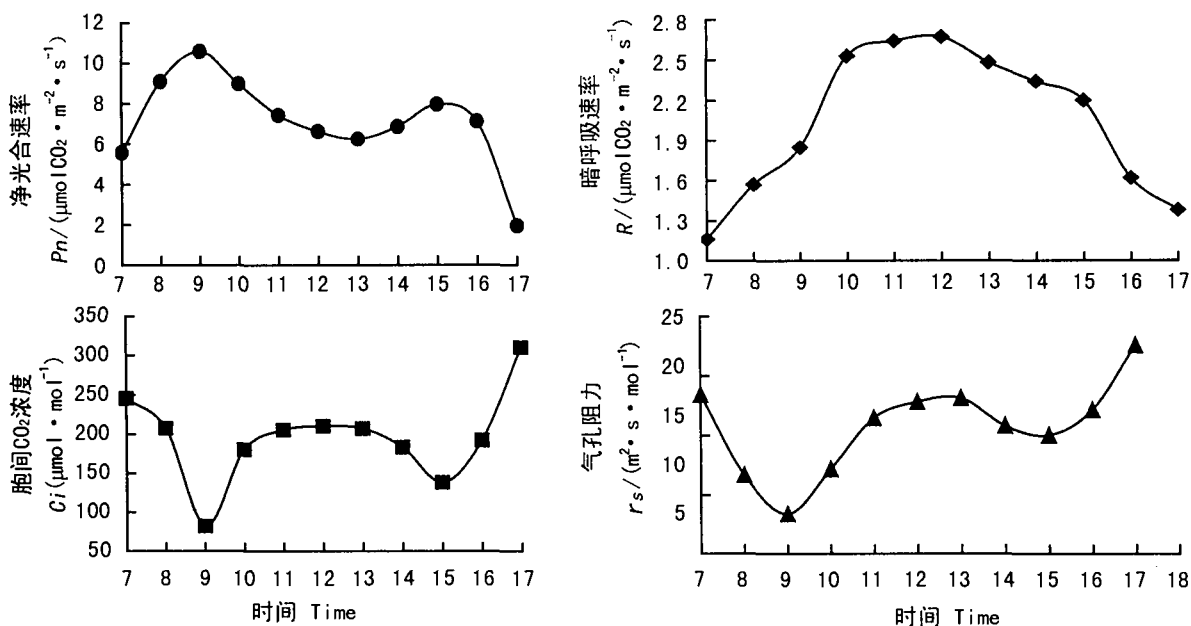


图 2 木荷净光合速率(P_n)、暗呼吸速率(R)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔阻力(r_s)日变化

Fig. 2 The diurnal variations of A , R , C_i and r_s in the leaf of *Schima superba*

表 1 净光合速率与环境因子的相关系数矩阵

Table 1 Correlation matrix of the net photosynthesis rate and the environment factors

相关系数 Correlation coefficient	X_1	X_2	X_3	X_4	C_i	r_s	R	P_n
X_1	1.000	-0.775 **	-0.604 *	0.854 **	-0.535	-0.388	0.928 **	0.559
X_2	—	1.000	0.655 *	-0.776 **	0.363	0.118	-0.806 **	-0.202
X_3	—	—	1.000	-0.699 *	-0.043	-0.408	-0.759 **	0.244
X_4	—	—	—	1.000	-0.176	-0.066	0.930 **	0.188
C_i	—	—	—	—	1.000	0.839 **	-0.330	-0.876 **
r_s	—	—	—	—	—	1.000	-0.151	-0.956 **
R	—	—	—	—	—	—	1.000	0.298
P_n	—	—	—	—	—	—	—	1.000

“* , **”: 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著。 Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

P_n 、 R 、 C_i 、 r_s 进行逐步多元回归,得到方程:① P_n 的回归方程: $Y = -5.0105 + 0.0052X_1 + 0.3869X_3 - 0.3576X_4$ (复相关系数 $R = 0.9558$, F 值 = 24.6384, 显著水平 $p = 0.0004$, 剩余标准差 $S = 0.7893$); ② C_i 的回归方程: $Y = 115.1911 - 0.1259X_1 - 4.4905X_3 + 13.1390X_4$ (复相关系数 $R = 0.7993$, F 值 = 4.1276, 显著水平 $p = 0.0558$, 剩余标准差 $S = 41.0037$); ③ r_s 的回归方程: $Y = 47.8285 - 0.0074X_1 - 0.7948X_3 + 0.4044X_4$ (复相关系数 $R = 0.9105$, F 值 = 11.3141, 显著水平 $p = 0.0045$, 剩余标准差 $S = 1.9031$); ④ R 的回归方程: $Y =$

$0.7065 + 0.0004X_1 - 0.0256X_3 + 0.0569X_4$ (复相关系数 $R = 0.9762$, F 值 = 47.3349, 显著水平 $p = 0.0001$, 剩余标准差 $S = 0.1407$)。

在经逐步多元回归得到的四个回归模型中, P_n 、 R 、 r_s 三个的可信度都达到了 90% 以上,经 F 检验,变量和自变量的相关性达到了显著水平,对模型进行拟合后,拟合值与观测值接近(表 2);而 C_i 的回归方程的可信度较低,为 79.9%,经 F 值检验后,变量和自变量的相关性也没有达显著水平,拟合值与观测值的差距较大,说明该模型不能很好的反映 C_i 与环境因子之间的关系。从四个回归方程可以

看出,影响木荷 P_n 、 C_i 、 r_s 和 R 日变化的主要环境因子是 $Q_l(X_1)$ 、 $RH(X_3)$ 和 $Ta(X_4)$ 。

进一步对逐步回归中选取的几个环境因子与 P_n 、 R 、 C_i 、 r_s 进行偏相关系数分析,可看出(表3),木荷 P_n 和 r_s 与因子 X_1 与 X_3 的相关性达到了极

显著水平, P_n 与因子 X_4 也达到了显著水平; C_i 与因子 X_1 的相关性达到了显著水平; R 只与因子 X_1 达到了显著水平。偏相关系数分析的结论与逐步回归分析的相近而与简单相关分析的截然不同。

逐步多元回归分析能较好的反映光合特性和各

表2 观察值与拟合值

Table 2 The observed value and the fitted value

样本 Sample	P_n			C_i			r_s			R		
	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	拟合误差 Fitted error	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	拟合误差 Fitted error	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	拟合误差 Fitted error	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	拟合误差 Fitted error
7	5.57	4.99	0.58	246	252	-6	18.41	18.16	0.25	1.16	1.19	-0.03
8	9.10	9.61	-0.51	207	153	54	11.70	10.95	0.75	1.57	1.55	0.02
9	10.57	9.52	1.05	82	161	-79	8.40	11.17	-2.77	1.85	1.92	-0.07
10	8.98	8.77	0.21	180	173	7	12.20	12.93	-0.73	2.53	2.45	0.08
11	7.43	8.28	-0.85	205	179	26	16.46	14.04	2.42	2.64	2.59	0.05
12	6.61	6.88	-0.27	210	200	10	17.80	16.77	1.03	2.67	2.73	-0.06
13	6.23	5.46	0.77	207	216	-9	18.10	19.52	-1.42	2.48	2.60	-0.12
14	6.85	6.89	-0.04	183	186	-3	15.80	16.89	-1.09	2.34	2.25	0.09
15	7.94	7.49	0.45	138	170	-32	15.00	15.88	-0.88	2.20	1.99	0.21
16	7.10	7.97	-0.87	192	166	26	17.10	14.73	2.37	1.62	1.85	-0.23
17	1.94	2.46	-0.52	309	304	5	22.50	22.43	0.07	1.38	1.34	0.04

表3 与因子的偏相关分析

Table 3 Partial correlation analysis with the factors

项目 Items	偏相关 Partial correlation	t 检验值 The value of T test	显著水平 p Significance level P
$r(P_n, X_1) =$	0.935	6.977	0.000
$r(P_n, X_3) =$	0.878	4.862	0.001
$r(P_n, X_4) =$	-0.662	2.337	0.048
$r(C_i, X_1) =$	-0.778	3.276	0.011
$r(C_i, X_3) =$	-0.380	1.086	0.309
$r(C_i, X_4) =$	0.530	1.653	0.137
$r(r_s, X_1) =$	-0.843	4.153	0.003
$r(r_s, X_3) =$	-0.843	4.143	0.003
$r(r_s, X_4) =$	0.383	1.096	0.305
$r(R, X_1) =$	0.763	3.120	0.014
$r(R, X_3) =$	-0.564	1.806	0.108
$r(R, X_4) =$	0.619	2.084	0.071

环境因子之间的相关性,却不能反映出各环境因子之间的复杂关系。通过通径分析(张文彤,2002),从直接作用绝对值大小值看(表4),环境因子对 P_n 影响的顺序为 $X_1 > X_3 > X_4$,表明四种环境因子中对 P_n 起直接主要作用的是 X_1 和 X_3 (与偏相关分析的结果相符),且 X_1 分别通过 X_3 和 X_4 对 P_n 产生较大的间接作用;环境因子对 C_i 影响的顺序为 $X_1 > X_4 > X_3$,表明对 C_i 起直接主要作用的是 X_1 和 X_4 (这与偏相关分析结果基本相符),且 X_1 又通过

X_4 对 C_i 产生较大的间接作用;环境因子对 r_s 和 R 影响的顺序为 $X_1 > X_3 > X_4$,表明因子中对 r_s 和 R 起直接主要作用的是 X_1 和 X_3 (与偏相关分析基本相符),且 X_1 通过 X_4 和 X_3 分别对 r_s 和 R 产生较大的间接作用。

通过偏相关和通径分析表明,光合有效辐射(X_1)、相对空气湿度(X_3)和气温(X_4)与净光合速率的日变化有着极显著和显著的关系,对净光合速率起直接主要的作用。这些因子对净光合速率影响大小的顺序为光合有效辐射(X_1)>相对空气湿度(X_3)>气温(X_4)。光合有效辐射通过直接的主要作用影响各种生理因子,同时通过间接作用也对各种生理因子起了较大的作用。光合有效辐射是光合作用最终的动力源,同时也是影响其它环境因素和植物生理因素的最根本因素。

3 讨论

在晴朗天气的午间,木荷冠层叶片出现了明显的光合“午休”现象,C3植物经常会出现这种现象(许大全等,1997)。引起“午休”现象的原因很多,主要是强光、高温、低湿和土壤干旱等环境条件引起的气孔部分关闭和光暗呼吸加强或光合作用光抑制的

发生(许大全,1997b)。本研究表明,午间光合速率的下降的最主要因素是强光,随着辐射的增强、空气相对湿度的降低和温度的上升,使原本较适宜的光合作用环境变得恶劣,叶片捕获的光能逐渐过剩而导致光抑制的发生, P_n 降低。午间温度的升高可以增加 Rubisco 酶的活性,但降低了与 CO_2 的亲合力,同时也增加了其作为加氧酶的活性(Salvucci

等,2004),而降低 P_n 。此外,午间光暗呼吸的加强也导致 P_n 下降,呼吸作用的增强可能与光合产物的运输和体内水分的保持(王森等,2002)有关,这与木荷空旷地的生境有关。而对于午间光呼吸加强与光抑制的关系还没有一个定论,但对于 C_3 植物,光呼吸是一个必需的生理过程(余叔文等,1998)。

通过逐步回归分析发现,空气 CO_2 浓度与各光

表 4 与几项生态生理因子的通径系数分析

Table 4 Path coefficient analysis with environment and physiology factors

因子 Factor	P_n			C_i			r_s			R						
	直接通径系数 Direct	间接通径系数 Indirect		直接通径系数 Direct	间接通径系数 Indirect		直接通径系数 Direct	间接通径系数 Indirect		直接通径系数 Direct	间接通径系数 Indirect					
		X_1	X_3		X_4	X_1		X_3	X_4		X_1	X_3	X_4	X_1	X_3	X_4
X_1	1.49	—	-0.46	-0.48	-1.43	—	0.21	0.69	-1.25	—	0.55	0.31	-1.25	—	0.55	0.31
X_3	0.76	-0.90	—	0.39	-0.35	0.86	—	-0.56	-0.91	0.75	—	-0.26	-0.91	0.75	—	-0.26
X_4	-0.56	1.27	-0.53	—	0.80	-1.22	0.24	—	0.37	-1.07	0.63	—	0.37	-1.07	0.63	—

合参数之间相关性是最小的环境因子,从图 1 中也可看出, CO_2 在一天内的波动也是最小的。在偏相关分析和通径分析中可看到, T_a 与 P_n 达到了显著的相关性水平,在图 1 中也可看出 T_a 与 P_n 有着相同的日变化趋势,对于这种相关性岳春雷认为是一种假相关(岳春雷等,1999),常杰也认为 T_a 不应是 P_n 的直接限制因子,可能还有其它因子的作用使 T_a 对 P_n 的作用表现为负相关(葛滢等,1999)。本研究也同意上述观点,在木荷光合日进程变化中,温度基本上在 30°C 以上(图 1),午间 40°C 以上时 P_n 还是能保持一个较高值。也有学者认为温度是影响光合的主导因子(李菁等,2000)。

木荷在裸岩和土层较薄的陡坡上的严酷生境条件(主要是水分和土壤条件)下也能形成较为单纯的木荷林群落(蔡飞等,1997),这与其叶片在一天中都具较高的净光合速率,即使在光合午休期间也保持了较高的净光合速率有关,也表明木荷较能适应强光、高温的生境,并具有潜在的光合能力;同时,木荷叶大而浓密且更新周期短(丁圣彦,1999),能始终保持较大的光合作用面积和较高的光合速率,使木荷在演替的各个过程中都保持着一定的优势(蔡飞等,1997)。

参考文献:

许大全. 1997a. 光合作用的“午睡”现象[J]. 植物生理学通讯, 33(6):466-467.
 张文彤. 2002. SPSS11 统计分析教程[M]. 北京:希望电子出版社:68-69.

余叔文,汤章城. 1998. 植物生理与分子生物学[M]. 第二版. 北京:科学出版社:259-274.
 唐居义,冯明光. 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社:304-311.
 Cai F(蔡飞), Song YC(宋永昌). 1997. A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain(武夷山木荷种群结构和动态的研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 21(2):138-148.
 Chen DX(陈德祥), Li YD(李意德), Luo SS(骆士寿), et al. 2003. Study on photosynthetic physiological ecology of *Cryptocarya chinensis* in tropical montane rain forest in Jianfengling, Hainan Island(海南岛尖峰岭热带山地雨林下层乔木中华厚壳桂光合生理生态特性的研究)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), 16(5):540-547.
 Ding SY(丁圣彦), Song YC(宋永昌). 1999. The comparison of photosynthesis physiocology of evergreen broad-leaved forest of Tiantong national forest park in Zhejiang Province, China(浙江天童国家森林公园常绿阔叶林演替系列优势种光合生理生态的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 19(3):318-323.
 Ding SY(丁圣彦). 2001. A comparison of respiration characteristics between *Schima superba* and *Castanopsis fargesii* in successional series of evergreen broad-leaved forest(常绿阔叶林演替系列中木荷和栲树呼吸作用特性的比较)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 21(1):61-67.
 Ding SY(丁圣彦). 1999. Comparison of structure of leaves of main dominant species in serial of evergreen broad-leaved forest(常绿阔叶林演替系列中主要优势种叶片结构的比较)[J]. *J Henan Univ*(河南大学学报), 29(4):76-80.
 Farquhar J D, Sharkey T D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. *Ann Rev Plant*, 33:317.
 Ge Y(葛滢), Chang J(常杰), Chen ZH(陈增鸿), et al.

1999. Relationship between the net photosynthesis of *Quercus glauca* and the environmental factors(青冈净光合作用与环境因子的关系)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 19(5): 683-688.
- Hu ZH(胡正华), Yu MJ(于明坚), Ding BY(丁炳扬), et al. 2003. A study on the *Schima superba* community in Gutian Mountain Nature Reserve in Zhejiang Province(浙江古田山自然保护区木荷群落研究)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), 23(2): 230-236.
- Jin ZX(金则新), Zhou RM(周荣满). 2003. Quantitative relation of the intraspecific and interspecific competition in *Schima superba*(木荷种内与种间竞争的数量关系)[J]. *J Zhejiang For Coll*(浙江林学院学报), 20(3): 259-263.
- Ke SS(柯世省), Jin ZX(金则新), Li JM(李钧敏). 2003. Photosynthetic diurnal variations and responses to light in leaves of *Heptacodium miconioides* seedlings(七子花苗期光合日进程及光响应)[J]. *Guihaia*(广西植物), 23(2): 175-180.
- Li Q(李菁), Liu YD(刘应迪), Chen GX(陈功锡), et al. 2000. A preliminary study on the diurnal variation of net photosynthetic rate and transpiration rate for *Chimonanthus praecox*(蜡梅光合与蒸腾速率日变化的初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 20(1): 52-58.
- Park S Nobel. 1983. *Biophysical Plant Physiology and Ecology* [M]. United States of America; W. H. Freeman and Company San Francisco: 434-446.
- Su DM(苏冬梅), Liao FY(廖飞勇). 2001. Photosynthesis properties of seven *Eucalyptus* spp. at summer natural high temperature(夏季自然高温对桉树光合速率和暗呼吸速率的影响)[J]. *Ecol Sci*(生态科学), 20(1): 21-24.
- Salvucci, Michael E, Crafts-Brandner, et al. 2004. Minireview inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. *Physiologia Plantarum*, 120(2): 179-187.
- Wang LY(王良衍), Wang XH(王希华). 2002. Study on succession and regeneration propertied of *Schima crenata* in Tiantong National Forest Park in Zhejiang(浙江天童国家森林公园木荷演替更新特性的研究)[J]. *J Zhejiang Sci Tech*(浙江林业科技), 21(1): 14-17.
- Wang M(王森), Hao ZQ(郝占庆), Ji LZ(姬兰柱), et al. 2002. Effect of elevated atmospheric CO₂ concentrations on photosynthesis light response characteristics of three coniferous tree species seedlings(高CO₂浓度对温带三种针叶树光合光响应特性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 13(6): 646-650.
- Xu DQ(许大全). 1997b. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis(光合作用气孔限制分析中的一些问题)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), 33(4): 241-244.
- Xu DQ(许大全), Shen YG(沈允钢). 1997. Diurnal variation in the photosynthetic efficiency in plants(植物光合作用的效率的日变化)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 23(4): 410-416.
- Yue CL(岳春雷), Liu YQ(刘亚群). 1999. Preliminary studies on physiological ecology of photosynthesis of an endangered plant—*Cimicifuga nanchuanensis*(濒危植物南川升麻光合生理生态的初步研究)[J]. *Acta Phytocool Sin*(植物生态学报), 23(1): 71-75.

(上接第 578 页 Continue from page 578)

高铺,海拔 500 m,林下,吴世福 7062,临口乡太平岩,海拔 500 m,林下,吴世福 7032;保靖县,龙头乡,海拔 500 m,林下,吴世福 5375、5377;凤凰县,二头羊乡,海拔 350 m,林下,吴世福 5290、5206;桑植县,天子山,海拔 700 m,林下,吴世福 S1654。

分布:四川、重庆、贵州、云南、台湾。朝鲜、日本也有分布。湖南分布为新记录。

世伟盾蕨

Neolepisorus dengii Ching et P. S. Wang in *Acta Phytotax. Sin.* 21(3): 272. f. 2; 3. 1983; *Polypodium phyllomanes* Christ in *Bull. Acad. Geogr.*

Bot. Mans 1902: 210, 2nd. fig. On the right handed side; *中国植物志* 6(2): 40. 2000.

湖南(Hunan):石门县,壶瓶山,土湾,海拔 700 m,林下,吴世福 S1119、S1221,龙洞,海拔 600~900 m,林下,吴世福 S610,中坪至三河,海拔 400 m,林下,吴世福 S958,白溪河,海拔 400 m,林下,吴世福 S424;桑植县,天平山,海拔 600 m,林下,吴世福 795;沅陵县,借母溪,海拔 500m,林下,吴世福 7120;酃县,桃源洞,海拔 600 m,林下,吴世福 8608;牛角垅,海拔 1 000 m,林下,吴世福 8668。

分布:四川、贵州、湖北、江西。湖南分布为新记录。