

# 桂林岩溶区青冈栎光合速率与 环境因子关系初步研究

张中峰, 黄玉清, 莫凌, 覃家科, 王晓英, 袁维圆

(广西壮族自治区广西植物研究所, 广西桂林 541006)  
中国科学院

**摘要:** 在自然条件下, 对桂林岩溶区青冈栎光合速率与环境因子的关系研究表明, 初夏季节青冈栎蒸腾速率日变化为“单峰”曲线, 光合速率日变化为“双峰”型曲线, 午间光合速率明显降低。青冈栎光合“午休”主要由气孔导度降低引起; 通径分析表明, 环境因子中空气相对湿度和空气温度对青冈栎光合速率直接影响最大; 光合有效辐射对青冈栎光合速率直接影响不显著, 而主要是通过其它因子间接影响光合速率。

**关键词:** 岩溶区; 青冈栎; 光合速率; 环境因子; 通径分析

**中图分类号:** Q945.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)04-0478-05

## Preliminary study on the relation between photosynthetic rate and environment factors of *Quercus glauca* in Guilin karst area

ZHANG Zhong-Feng, HUANG Yu-Qing, MO Ling,

QIN Jia-Ke, WANG Xiao-Ying, YUAN Wei-Yuan

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China)

**Abstract:** The relation between photosynthetic rate ( $P_n$ ) of *Quercus glauca* and environmental factors had been studied under natural condition in karst area. The results indicated that the curve of diurnal variation of transpiration was single-peaked, and  $P_n$  was dual-peaked with obvious midday depression in early summer. The midday depression of photosynthesis was principally caused by decline of stomatal conductance ( $G_s$ ). The path coefficient analysis showed that the air relative humidity and air temperature were the main environmental factors which direct influenced the  $P_n$ . Photosynthetically active radiation (PAR) had no significant directly influence to the  $P_n$ , but through other factors affect  $P_n$  indirectly.

**Key words:** karst area; *Quercus glauca*; photosynthetic rate; environmental factor; path analysis

青冈栎(*Quercus glauca*)常绿阔叶林是中亚热带常绿阔叶林的代表性群落类型之一, 是青冈类(属)中分布范围最广的种类(常杰等, 1999)。青冈栎在广西岩溶山区主要分布于桂林、兴安、全州、临桂、阳朔、宜州、大新、靖西、隆林等地。青冈栎属阳性树种, 喜生

于微碱性、中性至微酸性土壤, 是石山绿化和进行植被恢复的优良树种。有学者在我国东部中亚热带湿润季风气候区, 研究了青冈栎的光合生理生态特性及其群落学意义(葛滢等, 1999; 常杰等, 1999), 也有学者在西南岩溶区对青冈栎的叶片形态(邓艳等,

收稿日期: 2007-10-18 修回日期: 2007-11-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC01A10); 中国科学院西部之光人才培养项目(2005); 广西自然科学基金(0575009)[Supported by the National Key Technology Research and Development Program(2006BAC01A10); the Personnel Training Plan of West Light Foundation of the Chinese Academy of Science (2005); Natural Science Foundation of Guangxi(0575009)]

作者简介: 张中峰(1983-), 男, 安徽阜阳人, 研究实习生, 主要从事草地生态及植物生理研究, E-mail: zfzhang@gxib.cn.

2004)、水分生理(邓艳等,2006)、青冈栎群落特征(胡刚等,2007)进行研究,而有关岩溶区青冈栎光合特性的研究较少。为进一步了解青冈栎在这一地区的适应特点,本文研究了青冈栎叶片的光合速率与主要环境因子的关系,为研究树木适应岩溶区高温干旱环境以及岩溶区植被恢复等提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

研究地区位于桂林市雁山公园方竹山,为典型

岩溶地貌类型,地理位置  $110^{\circ}18' E, 25^{\circ}04' N$ 。该地区属中亚热带季风气候区,年降雨量 1 900 mm,年均日照约 1 550 h,年均气温  $19^{\circ}C$ 。山顶处海拔为 184 m,山体高差  $<50 m$ ,总体岩石裸露度山体上部  $>80\%$ ,下部约 40%,土壤为棕黑色石灰土,土层平均厚度约 6~9 cm。山顶植物群落乔木层主要有圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、水冬瓜(*Sinodina racemosa*)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)等种类,高度约 4~6 m,盖度 45%;灌木层主要以九龙藤、粗糠柴(*Mallotus philippensis* var. *philippensis*)、雀梅藤(*Sageretia thea*)等石山特性较强的植

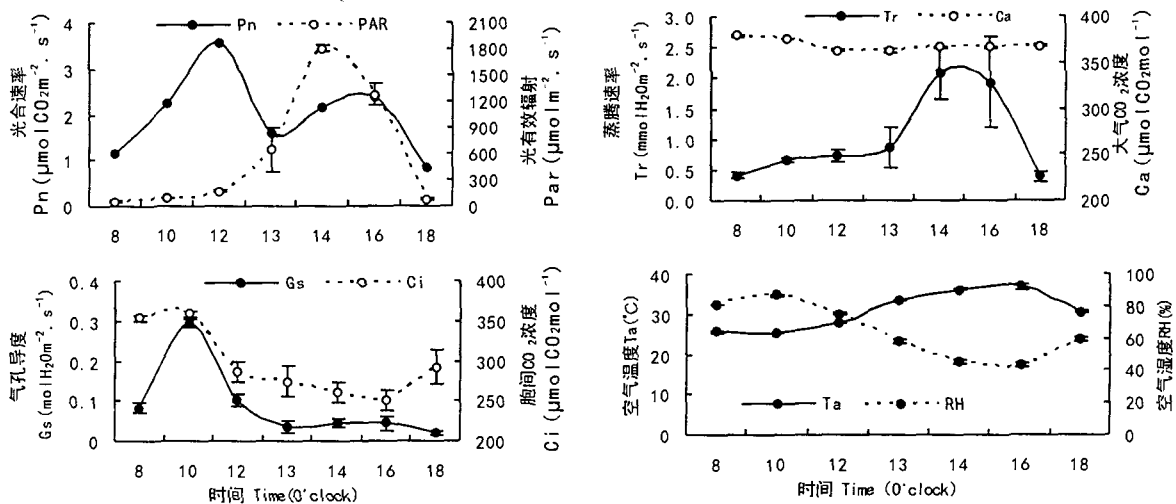


图 1 光合参数与环境因子日变化

Fig. 1 Diurnal variation of photosynthetic parameters and environmental factors

物种类为代表,攀爬于裸岩上,盖度约 50%。

### 1.2 材料与方 法

在山顶选择整株生长良好的成年青冈栎植株,选取位于枝条上端健康无损的活体同龄叶片为测量对象,于 2006 年 5 月初进行光合速率观测。采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统,从 8:00 开始观测,每 2 h 测定一次,13:00 追加 1 次,测量指标有光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、光合有效辐射(PAR)、空气温度(Ta)、空气相对湿度(RH)、空气  $CO_2$  浓度(Ca)、胞间  $CO_2$  浓度(Ci)、气孔导度(Gs)等。重复测量 3~4 张叶片,每叶测 4~5 个观测值。利用 SPSS13.0 软件对各光合参数与环境因子进行简单相关分析,并对光和速率与其它参数进行偏相关分析、多元回归分析和通径分析。相关系数和回归系数显著性检验采用  $t$  检验,对回归方程显著性检验采用  $F$  检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 青冈栎光合速率与环境因子日变化

青冈栎叶片光合速率日变化如图 1,其日变化呈现“双峰”型,坡谷出现在 13:00 左右,前后两个坡峰分别出现在 12:00 ( $3.91 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) 和 16:00 ( $2.38 \mu mol CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) 左右;光合有效辐射在 10:00 前维持较低水平 ( $<300 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),在 13:00~14:00 间达到峰值 ( $1773.2 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ),一天中变化幅度较大。蒸腾速率在下午 14:00 前一直呈缓慢升高趋势,至 14:00 左右蒸腾速率达到最大值 ( $2.17 mmol H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) 然后下降,变化呈“单峰”型(图 1);空气  $CO_2$  浓度早晨最高 ( $380.4 \mu mol CO_2 \cdot mol^{-1}$ ),10:00 之后迅速下降,在 12:00~13:00 左右达到最低 ( $362.79 \mu mol CO_2$

·mol<sup>-1</sup>),之后又缓慢上升。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化与光合速率日变化相反(图 1),随时间推移不断降低,因为光合速率升高时,固定的 CO<sub>2</sub> 较多,而引起胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的降低。在 16:00 左右降至最低值(250.29 μmol CO<sub>2</sub> · mol<sup>-1</sup>)然后开始上升,8:00 测定值(351.9 μmol CO<sub>2</sub> · mol<sup>-1</sup>)明显高于 18:00 测定值(308.61 μmol CO<sub>2</sub> · mol<sup>-1</sup>);气孔导度的日变化基本与光合速率日变化一致(图 1)。气孔导度的波峰出现在 10:00~12:00 之间,峰值较为明显,达 0.293 5 mol H<sub>2</sub>O · mol<sup>-1</sup>,最低值出现在 13:00 (0.04 mol H<sub>2</sub>O · mol<sup>-1</sup>),随后变化趋于平缓。在下午光合速率降至波谷时,气孔导度值也降至最低,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度也随之降低,气孔限制值 L<sub>s</sub>(L<sub>s</sub>=1-Ci/Ca)在 11:00 前变化不明显(L<sub>s</sub><0.15),12:00 后,L<sub>s</sub> 上升趋势较快,在 13:00~14:00 之间达到高峰 0.32,说明青冈栎叶片出现光合“午休”现象,主要由气孔限制因素引起叶肉细胞间 CO<sub>2</sub> 不足造成。在 14:00 后,L<sub>s</sub> 持续下降,而光合速率在 16:00 又出现一次小波峰,此时气孔限制对光合速率的影响已不明显。空气的温度与相对湿度变化如图 1,随时间的推移,空气温度从早上开始逐渐升高,至 16:00 左右达到最高值 37.17 °C,比光合辐射最大

值延迟 2 h。空气相对湿度早晚较高,最低值(42.16%)出现在 16:00。

## 2.2 青冈栎光合速率与影响因子关系分析

### 2.2.1 相关性分析

经简单相关分析,光合速率与蒸腾速率正相关性极显著,与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度负相关性极显著,与气孔导度正相关性显著,与环境因子中光合有效辐射、空气 CO<sub>2</sub> 浓度相关性显著,与空气温度、空气湿度相关性不显著(表 1)。在有多个影响因子的情况下,任意两个变量之间都可能存在相关关系,计算得到的两个变量因子间的简单相关系数往往不能正确说明这两个变量间的真正关系,偏相关系数则是在扣除或固定某两个变量以外的其他变量对它们的影响以后,这两个变量之间的相关关系,能够反映事物间的本质联系(柯世省等,2004;王海燕等,2006)。偏相关分析表明,青冈栎叶片光合速率与蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、空气 CO<sub>2</sub> 浓度、空气相对湿度相关性极显著,与空气温度相关性显著,而与光合有效辐射、气孔导度相关性不显著(表 2)。两种相关分析结果有所不同,偏相关分析表明环境因子中空气 CO<sub>2</sub> 浓度、空气湿度、空气温度与青冈栎光合速率关系密切,而光合有效辐射对光合速率的变化影响较小。

表 1 青冈栎光合速率及影响因子的简单相关系数

Table 1 The simple correlations between impact factor and photosynthetic rate of *Quercus glauca*

	Gs	Ci	Tr	PAR	Ta	Ca	RH
Pn	0.272 *	-0.283 **	0.564 **	0.246 *	0.077	-0.268 *	-0.006
Gs		0.668 **	-0.149	-0.346 **	-0.620 **	0.552 **	0.707 **
Ci			-0.594 **	-0.701 **	-0.870 **	0.806 **	0.873 **
Tr				0.833 **	0.725 **	-0.345 **	-0.673 **
PAR					0.867 **	-0.745 **	-0.808 **
Ta						-0.670 **	-0.983 **
Ca							0.649 **

\*\* 表示 0.01 显著水平; \* 表示 0.05 显著水平。 \*\* Significant difference at 0.01 level; \* Significant difference at 0.05 level.

表 2 青冈栎净光合速率 Pn 与影响因子的偏相关系数

Table 2 The partial correlations between impact factor and photosynthetic rate of *Quercus glauca*

因子 Factor	Gs	Ci	Tr	PAR	Ta	Ca	RH
偏相关系数 Partial correlations	0.146	-0.731	0.889	-0.122	-0.224	-0.469	0.367
t 检验 t test	1.434	-10.43	18.872	-1.195	-2.238	-5.171	3.839
显著水平 P Significant level P	0.155	0.000	0.000	0.235	0.028	0.000	0.000

### 2.2.2 多元回归分析

植物的光合速率对生态生理因子相当敏感,生态因子不仅直接影响光合速率,而且还通过影响植物的生理因子进而影响光合速率。为定量了解生态因子对青冈栎叶片光合速率的影响,采用多元回归的分析方法建立模型,得出回归方

$$\text{程: } \bar{Y} = 29.020 + 0.002X_1 + 1.156X_2 - 0.022X_3 + 1.551X_4 - 0.147X_5 - 0.059X_6 + 0.066X_7$$

复相关系数  $R = 0.957$ ,回归方程经  $F$  检验表明, $F = 149.147 (P < 0.001)$ ,变量与自变量的相关性极显著;对方程的截距与回归系数显著性检验表

明( $t$  检验), 截距与 0 之间的差异极显著( $t=4.914$ ,  $P=0.000$ ); 回归系数检验结果与偏相关系数检验结果相同(表 2),  $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  各回归系数均达到极显著或显著水平, 只有  $X_1$ 、 $X_2$  回归系数未达到显著水平。其中:  $Y$  代表  $P_n$ ;  $X_1$  代表  $PAR$ ;  $X_2$  代表  $G_s$ ;  $X_3$  代表  $C_i$ ;  $X_4$  代表  $Tr$ ;  $X_5$  代表  $T_a$ ;  $X_6$  代表  $Ca$ ;  $X_7$  代表  $RH$ ; 从回归方程可以看出, 影响青冈栎净光合速率的主要环境因子是空气温度、空气  $CO_2$  浓度和空气湿度。

2.2.3 通径分析 通径分析是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进行研究(柯世省等, 2004; 唐启义等, 2002)。由通径分析结果可知, 各因子对青冈栎叶片光合速率影响的大小顺序为:  $Tr > RH > C_i > T_a > Ca >$

$PAR > G_s$ (直接通径绝对值大小顺序), 说明蒸腾作用对  $P_n$  的日变化起着主导作用, 环境因子中, 空气温度和相对湿度对光合作用影响最大, 此排列顺序与偏相关分析结果一致。通径系数总和大小(绝对值)顺序为:  $Tr > PAR > C_i > G_s > Ca > T_a > RH$ , 可以看出  $Tr$ 、 $C_i$ 、 $Ca$  不仅对青冈栎光合速率有直接的影响, 而且通过影响其他因子进而影响其光合速率的变化能力也较强;  $PAR$  的总通径系数大于直接通径系数, 说明  $PAR$  主要通过其他因子而影响青冈栎  $P_n$ , 对  $P_n$  的直接影响反而较小, 由间接通径系数可以看出, 其主要通过  $RH$ 、 $Tr$ 、 $C_i$  等环境因子间接影响  $P_n$  的日变化;  $Tr$ 、 $T_a$ 、 $RH$  的直接通径系数远大于各自的通径系数总和, 说明这 3 个因子对青冈栎光合速率有直接的影响。

表 3 影响因子对青冈栎光合速率的通径系数分析

Table 3 Path coefficient analysis on impact factor to photosynthetic rate

因子 Factor	间接通径系数 Indirect path coefficient							直接通径系数 Direct path coefficient	通径系数总和 Sum of path coefficient
	$G_s$	$C_i$	$Tr$	$PAR$	$T_a$	$Ca$	$RH$		
通过 $G_s$	—	-0.577	-0.17	0.036	0.376	-0.172	0.69	0.089	0.272
通过 $C_i$	0.059	—	-0.676	0.072	0.528	-0.252	0.851	-0.865	-0.283
通过 $Tr$	-0.013	0.514	—	-0.086	-0.44	0.108	-0.656	1.138	0.565
通过 $PAR$	-0.031	0.608	0.948	—	-0.526	0.232	-0.789	-0.103	0.339
通过 $T_a$	-0.055	0.753	0.825	-0.089	—	0.209	-0.958	-0.607	0.078
通过 $Ca$	0.049	-0.698	-0.392	0.046	0.407	—	0.633	-0.312	-0.267
通过 $RH$	0.063	-0.755	-0.766	0.083	0.596	-0.202	—	0.975	-0.006

### 3 讨论

通过以上分析可知, 影响青冈栎光合速率日变化的主要因子是  $RH$ 、 $Tr$ 、 $T_a$ 、 $C_i$  和  $Ca$ , 而  $PAR$  对光合速率的影响不显著。但这并不说明  $PAR$  不重要,  $PAR$  是植物光合速率能量的最终来源, 也是影响其他环境因子的最根本因素, 在本研究中  $PAR$  主要通过  $Tr$ 、 $T_a$ 、 $C_i$  等因子对青冈栎  $P_n$  起限制作用, 直接影响不显著, 这与偏相关分析结果相同。从通径系数总和可以看出, 在环境因子当中  $PAR$  仍然是青冈栎  $P_n$  的主要限制因素。

生长在亚热带岩溶区的青冈栎, 其光合速率日变化呈现“双峰”型曲线, 在中午出现明显的光合“午休”现象。这一特点是亚热带地区森林植物在高温强光天气下出现的普遍现象(郭志华等, 1999; 金则新等, 2002; 黄玉清等, 2006; 何成新等, 2007)。有研究者认为, 是由于中午时段气孔关闭、胞间  $CO_2$  浓度降低(蒋高明等, 1999)、高光强下发生光抑制

(Durand & Goldstein, 2001; 许大全等, 2002)、光呼吸加强(宋健民等, 1999; Zozaki & Takeba, 1992; Zelitch, 1992; Osmond & Downton, 1995)、羧化效率降低(Berry 等, 1982)等造成净光合速率下降, 有学者把光合速率午间下降分为气孔限制和非气孔限制两类(许大全, 1997)。引起光合午休的原因, 对不同的植物来说是不相同的(李新国等, 1998), 本研究中青冈栎光合速率下降时胞间  $CO_2$  浓度和气孔导度都同时下降, 气孔限制值升高, 说明是由于气孔阻力的增大引起叶肉细胞间  $CO_2$  亏缺, 导致青冈栎光合午休, 气孔限制作用较为明显。有学者对岩溶区青冈栎叶表皮形态解剖研究发现, 生长在山顶的青冈栎具有旱生植物特点, 有较厚的蜡质层、角质层以及浓密的表皮毛(邓艳, 2003), 其叶片可通过这些特点发挥气孔调节的作用, 使叶片光合速率与水分的蒸腾对外界环境适应, 这与葛滢等(1999)的研究结果有所不同。

不同的植物对环境的适应存在形式和程度上的差别, 即使相同的植物在不同的地区、不同的气候条

件下,其对环境的适应性也是不同的。在高温干旱的岩溶区,空气温度、湿度对青冈栎的光合速率影响较为强烈,上午阶段青冈栎主要通过气孔限制作用调整光合速率,下午阶段气孔限制作用对青冈栎光合速率影响不明显,是否还有其它调节因素,仍有待探讨。除本研究的一些因子外,土壤水分、土壤温度、叶片水势等因子对植物来说也相当重要。本文仅研究了5月初这一时期的光合特点,而不同时期、不同叶位等因素也对青冈栎光合速率和环境因子的关系产生影响,这些仍需进一步的研究。

### 参考文献:

- 许大全. 2002. 光合速率效率[M]. 上海:上海科学出版社:138—158
- 唐启义,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
- Berry JA, Downton WJS. 1982. Photosynthesis Vol II, Development, Carbon Metabolism and Plant Productivity [M]. New York: Academic Press, 263
- Chang J(常杰), Ge Y(葛滢), Chen ZH(陈增鸿), et al. 1999. Characteristics of the leaf net photosynthesis of the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca* and their significance in ecology(青冈栎常绿阔叶林主要植物种叶片的光合特性及其群落学意义)[J]. *Acta Phytocool Sin*(植物生态学报), 23(5): 393—400
- Deng Y(邓艳), Jiang ZC(蒋忠诚), Cao JH(曹建华), et al. 2004. Characteristics comparison of the leaf anatomy of *Cyclobalanopsis glauca* and its adaption to the environment of typical karst(弄拉典型峰丛岩溶区叶片形态特征及对环境的适应)[J]. *Guihaia*(广西植物), 24(4): 317—322
- Deng Y(邓艳), Jiang ZC(蒋忠诚), Luo WQ(罗为群), et al. 2006. Study on water physiology of *Cyclobalanopsis glauca* on different karst drought stress(不同岩溶干旱胁迫下水分生理对比研究)[J]. *Res Agric Modern*(农业现代化研究), 27(3): 238—240
- Durand LZ, Goldstein G. 2001. Photosynthesis, photoinhibition, and nitrogen use efficiency in native and invasive tree ferns in Haw aii[J]. *Oecologia*, 126(3): 345—354
- 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(青冈栎净光合速率与环境因子的关系)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 19(5): 683—688
- Guo ZH(郭志华), Zhang HD(张宏达), Li ZA(李志安) et al. 1999. The photosynthetic characteristics in leaves of *Liriodendron chinense*(鹅掌楸苗期光合特性研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 19(2): 164—169
- He CX(何成新), Huang YQ(黄玉清), Li XK(李先琨), et al. 2007. The ecophysiological traits of three karst rocky desert restoration species(岩溶石漠化地区几种生态恢复植物的生理生态学特征)[J]. *Guihaia*(广西植物), 27(01): 53—61
- Huang YQ(黄玉清), Wang XY(王晓英), Lu SH(陆树华), et al. 2006. Studies of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of some dominant species in rocky desert area, Guangxi, China(岩溶石漠化治理优良先锋植物种类光合、蒸腾及水分利用效率的初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), 26(2): 171—177
- Hu G(胡刚), Liang SC(梁士楚), Zhang ZH(张忠华), et al. 2007. Quantitative relationships of intraspecific and interspecific competition in *Cyclobalanopsis glauca* in karst hills in Guilin(桂林岩溶石山种内与种间竞争的数量关系)[J]. *J Northwest For Univ*(西北林学院学报), 22(5): 32—36
- Jiang GM(蒋高明), He WM(何维明). 1999. Species and habitat variability of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of different plant species in Maowusu sand area(毛乌素沙地若干植物光合速率、蒸腾作用和水分利用效率种间及生境间差异)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), 41(10): 1114—1124
- Jin ZX(金则新), Ke SS(柯世省). 2002. The photosynthetic characteristics of the main species of the *Heptacodium micronioides* community in Tiantai Mountain of Zhejiang Province, China(浙江天台山七子花群落主要植物种类的光合特性)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 22(10): 1645—1652
- Ke SS(柯世省), Chen MS(陈模舜). 2004. Study on diurnal variation of photosynthesis for *Cercis chinensis* and its relation to environmental factors(紫荆光合日变化及其与环境因子的关系)[J]. *J Tianjin Norm Univ*(天津师范大学学报), 24(3): 30—33
- Li XG(李新国), Xu DQ(许大全), Meng QW(孟庆伟). 1998. Response of photosynthesis to strong light in *Ginkgo biloba* leaves(银杏叶片光合速率对强光的响应)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 24(4): 354—360
- Osmond CB, Grace SC. 1995. Perspectives on photoinhibition and photorespiration in the field; quintessential inefficiencies of the light and dark reactions of photosynthesis[J]. *J Experiment Bot*, 46: 1351—1362
- Song JM(宋建民), Tian JC(田纪春), Zhao SJ(赵世杰), et al. 1999. Photosynthetic characteristics in flag leaves of high protein wheat cultivars under strong irradiance stress around noon(中午强光胁迫下高蛋白小麦旗叶的光合特性)[J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 25(3): 209—213
- Wang HY(王海燕), Yang FT(杨方廷), Liu L(刘鲁). 2006. Comparison and application of standardized regressive coefficient & partial correlation coefficient(标准化系数与偏相关系数的比较与应用)[J]. *J Quantitative & Technical Economics*(数量经济技术经济研究), (9): 150—155
- Xu DQ(许大全). 1997. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis(光合速率气孔限制分析中的一些问题)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), 4: 241—244
- Zelitch I. 1992. Control of plant production by regulation of photorespiration[J]. *Bioscience*, (42): 510—516
- Zozaki A, Takeba G. 1992. Photorespiration protects C3 plant from photo oxidation[J]. *Nature*, (384): 557—560