

# 林内二氧化碳浓度与光合作用关系的研究

邓瑞文 冯咏梅 陈天杏

(中国科学院华南植物研究所)

植物光合作用所需的二氧化碳绝大部分来自空气。由于空气中的二氧化碳含量很低, 约只有300ppm, 而一些生长旺盛的植物, 如水稻、甜菜、大豆等, 在适宜条件下, 群体的光合强度为5—6克CO<sub>2</sub>/米<sup>2</sup>·地面/时(田中等, 1969; 玖村, 1968; Sakamoto和Shaw, 1967; 伊藤, 1965), 玉米单叶的光合强度可达15克CO<sub>2</sub>/米<sup>2</sup>·地面/时。因此, 光合作用会降低植物周围空气中的二氧化碳浓度。据我们的观测, 林内最低可降到230ppm左右。植物除了进行光合作用以外, 还必须进行呼吸。有资料报道, 热带雨林由于晚间温度高, 呼吸消耗可达总光合量的63—75%<sup>(2,6)</sup>。同时由于林下枯枝落叶的不断分解, 加上人类的各种活动过程, 都会释放出大量的二氧化碳, 使空气中的二氧化碳不断得到补充, 致使多少年来地球表面的二氧化碳浓度变化甚微。由于光照强度及温度的影响, 形成了光合作用的周期性变化, 随之引起二氧化碳浓度的日变化、季节变化以及从地面到林冠上层的垂直变化。本文通过对电白县小良水土保持试验推广站的三种类型人工林光合作用和林内二氧化碳浓度的研究, 探讨二者的变化规律及其相互关系。

## 材料与 方法

试验在广东省电白县小良沿海台地的三组人工林内进行。当地年平均温度23℃, 降雨量1400—1600毫米, 坡向东南, 坡面较平正, 坡度5—10度左右。各种人工林的建群植物状况见表1。

光合作用强度的测定: 用自行设计的半开放叶室进行连体测定。使用北京分析仪器厂生产的QGD-07型红外线二氧化碳气体分析仪测定二氧化碳浓度, 根据其浓度差值及叶面积与空气流量, 计算植物的光合作用强度。每种样品测定3—5次, 日变化取2—3天平均值, 用本法测定光合作用强度的标准差为 $26.4 \pm 1.4$ 。

二氧化碳浓度测定: 将6×8毫米的塑料管分别装在距地面0.2、2、4、6、8、10、15米处, 通过塑料管依次将各层空气通入红外线二氧化碳分析仪, 以测定各层的二氧化碳浓度。

叶面积的测定: 用Li-3000面积仪分别测定平均木各层的叶面积, 由此再算出各高度的叶面积数。

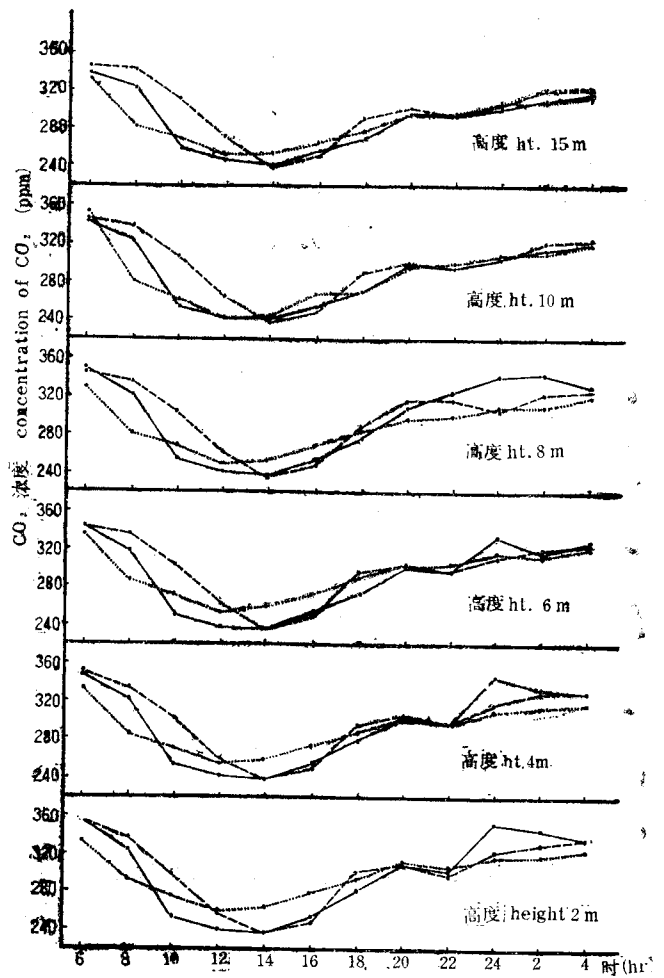
表1 各种人工林的状况

Table. 1 The character in the different artificial forests

林型	建群植物	株/亩	年龄 (年)	树高 (米)	胸径 (厘米)	冠幅 (米)
(I)	大叶相思 <i>Acacia auriculaeformis</i>	22	9	9.90	11.0	6.5×4.90
	白格 <i>Albizia procera</i>	22	9	7.4	11.6	3.45×3.14
	铁刀木 <i>Cassia siamea</i>	22	8	8.29	9.4	4.58×4.29
	檀香 <i>Santalum album</i>	22	5	6.30	7.1	/
	沙椴 <i>Aphanamixis polystachya</i>	22	10	9.60	13.2	3.46×3.14
	益智 <i>Alpinia oxyphylla</i>	110	5	1.65	/	1.33×1.45
	鸡藤 <i>Calamus tetradactylus</i>	55	5	10.50	/	1.80×2.50
(I)	大叶相思 <i>Acacia auriculceformis</i>	27	7	7.00	8.9	/
	麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	27	7	4.75	6.0	2.62×2.65
	白木香 <i>Aquilaria sinensis</i>	27	7	4.70	9.0	2.56×2.55
	越南鸡藤 <i>Calamus bonianus</i>	55	5	9.30	/	/
	黄栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	110	5	1.98	1.65	0.95×0.81
桉林	窿缘桉 <i>Eucalyptus exserta</i>	225	9	11.63	8.0	3.33×3.75

图1. 混交林(I), (II)以及桉林中CO<sub>2</sub>浓度的昼夜变化  
 Fig. 1 Changes of CO<sub>2</sub> concentration in day and night in the forests

— · 混交林(I) Mixed forest (I)  
 - - - 混交林(II) Mixed forest (II)  
 ····· 桉林 Eucalypt forest



## 实验结果

### 一. 群落内二氧化碳浓度的变化

**日变化:** 随着植物光合作用周期性的变化(日变化以及年变化), 林内二氧化碳浓度也出现规律性的变化。图1分别是混交林 I、混交林 II 及桉林10月份的二氧化碳浓度昼夜变化曲线。从形状来看, 三条曲线极其相似。由上午8时开始, 随着太阳能辐射不断增强, 二氧化碳浓度从350—360ppm逐渐下降到240ppm左右。下午14时后, 太阳辐射开始减弱, 二氧化碳浓度即逐渐增加, 到次日4—6时上升到最大值, 呈现出明显的日变化规律。从图1还可以看出, 混交林 I 及 II 晚间的二氧化碳浓度较桉树林高, 而日间则比桉树林低, 这可能是由于混交林的叶子密度较大, 光合作用同化吸收的和夜间呼吸释放的二氧化碳较多的缘故。混交林 I 元月份二氧化碳浓度的日变化与10月份很相似, 但午前

浓度的降低稍缓慢,午后则回升较快。这是由于冬季气温较低,日照时间短,光合作用较弱所致。

**垂直变化:** 植物群落内的二氧化碳浓度常随叶层发生变化。图2、3、4是混交林 I、II 及桉林内的二氧化碳浓度垂直变化图。这与Tama和Krzyszch<sup>(2)</sup>,内岛<sup>(4)</sup>,以及Saeki<sup>(1)</sup>, Sarjose<sup>(8)</sup> 等的实验结果很相似。白天,最低的二氧化碳浓度出现在冠层内或冠层下部。由于土壤动物及微生物的活动,致使土壤表面的二氧化碳浓度很高。这样就出现冠层上面的二氧化碳向下流动进入冠层内,以及从土壤和茎干呼吸释放的二氧化碳向上流动的两个过程。晚间,因为只有呼吸作用,林内一般二氧化碳浓度较高,故只存在向上的流动。从图2—4凌晨2时的曲线可以看出,在这三种人工林中,土壤表面的二氧化碳浓度都是最高,越向上浓度越低。

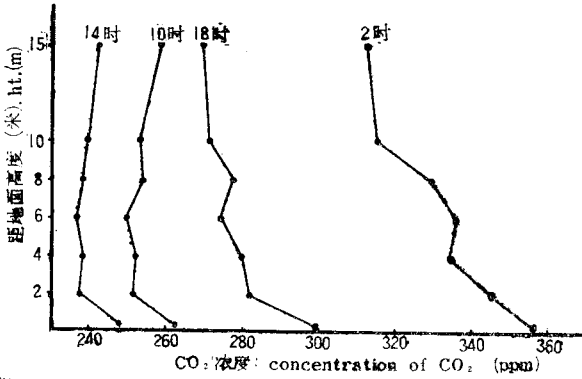


图2 混交林(I)CO<sub>2</sub>浓度的变化(1983.10.15—16)

Fig. 2 Changes of CO<sub>2</sub> concentration in the mixed forest (I)

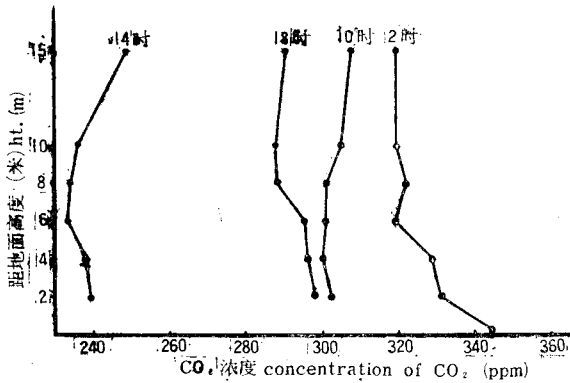


图3 混交林(II)CO<sub>2</sub>浓度的变化 (1983.10.12—13)

Fig. 3 Changes of CO<sub>2</sub> concentration in the mixed forest (II)

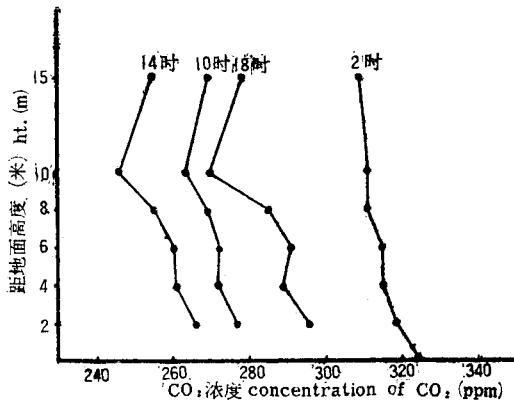


图4. 桉树林CO<sub>2</sub>浓度的变化 (1983.10.18-19)

Fig. 4 Changes of CO<sub>2</sub> concentration in the eucalypt forest

## 二. 光合作用与群落内二氧化碳浓度变化的关系

图5—7是三种人工林光合作用强度的日变化曲线。从图中可以看出，混交林I各种植物光合作用的峰值多在10—12时，平均最高值是中午。混交林II光合作用强度的平均最高值也在中午，但曲线不象混交林I那样陡，而是比较平缓。这可能是由于混交林I在坡脚，中午仍有较充足的水分供应。而混交林II在坡腰，水分状况不如I，因而有些植物中午光合作用强度有所下降。窿缘桉林的光合强度有两个峰值，分别在10时、14时。在建群植物中，光合作用强度较高的是大叶相思、窿缘桉和白格，其日平均光合作用强度分别是8.11、8.02和7.89毫克CO<sub>2</sub>/分米<sup>2</sup>·时。益智是一种阴生植物，光合作用强度最低，日平均只有1.34毫克CO<sub>2</sub>/分米<sup>2</sup>·时。

光合作用的周期性变化导致森林内二氧化碳浓度的规律性变化。若将图1与图5—7进行比较，可以看出在三种类型的人工林中，无论那一高度，二氧化碳浓度都是早晚较高，中午则较低。植物的光合作用强度则早晚比较低，午间前后最高。为了更好地说明它们之间的关系，我们取不同高度的二氧化碳浓度平均数和各种植物光合作用强度的平均数作图，得出图8的结果。从图8可见，光合作用对林内二氧化碳浓度影响极大，二者呈负相关。以数学统计进行分析<sup>3</sup>，求得混交林I、II和桉树林的光合作用强度与林内二氧化碳浓度的相关系数分别是：

$$r(\text{I}) = 0.505 (n = 42), p < 0.01$$

$$r(\text{II}) = 0.393 (n = 36), p < 0.02$$

$$r_{\text{桉}} = 0.676 (n = 18), p < 0.01$$

叶子在群落内的垂直分布状况与二氧化碳浓度的垂直变化关系密切。从图9可见，混交林I的叶子分布在距地面1—10米的范围内，7—8米处密度最大，主要为大叶相思、沙椴、白格和铁刀木。鸡藤和益智比较耐荫，叶子主要分布在1—2米处。混交林

I 的叶子基本上均匀分布在距地面 1—9 米的地方,只是 3—4 米处略多。上层主要是阳性植物大叶相思和麻楝的叶子,中层是半耐荫的白木香,下层是比较耐荫的越南鸡藤和黄栀子。桉林的叶子主要分布在 8—11 米处, 5 米以下几乎没有叶子。

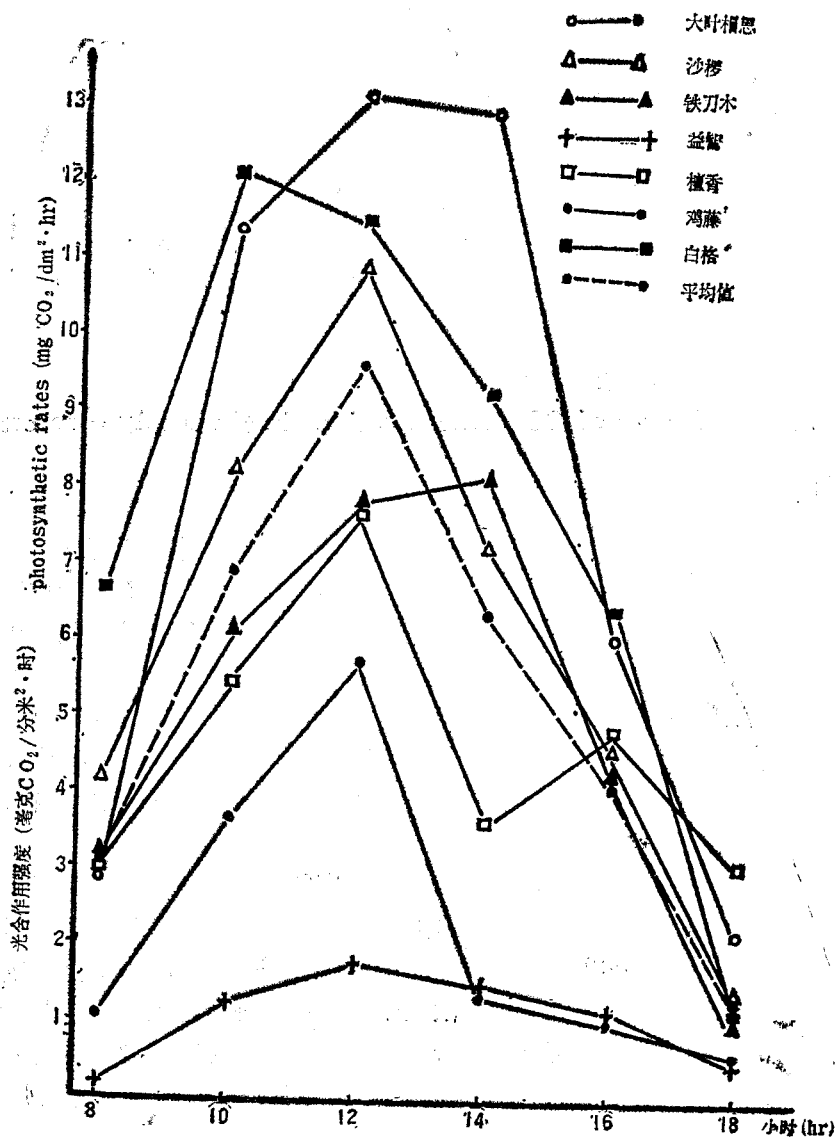


图 5 混交林(I)光合作用强度的日变化 (1983.10)

Fig. 5 Daily variation of photosynthetic rates in the mixed forest (I)

为了阐明群落内二氧化碳浓度的垂直变化与叶层密度的关系，将图2—4和图9进行比较。不难看出，混交林I与混交林II的叶子主要分布在2—8米的地方，而日间二氧化碳浓度的最低值也在2—8米处。桉树林的叶子主要在8—11米处，日间二氧化碳浓度的最低值在10米处。以上说明，叶子的分布对二氧化碳浓度的垂直变化影响很大，叶子分布密度大的地方，往往日间二氧化碳比较低，反之则较高。

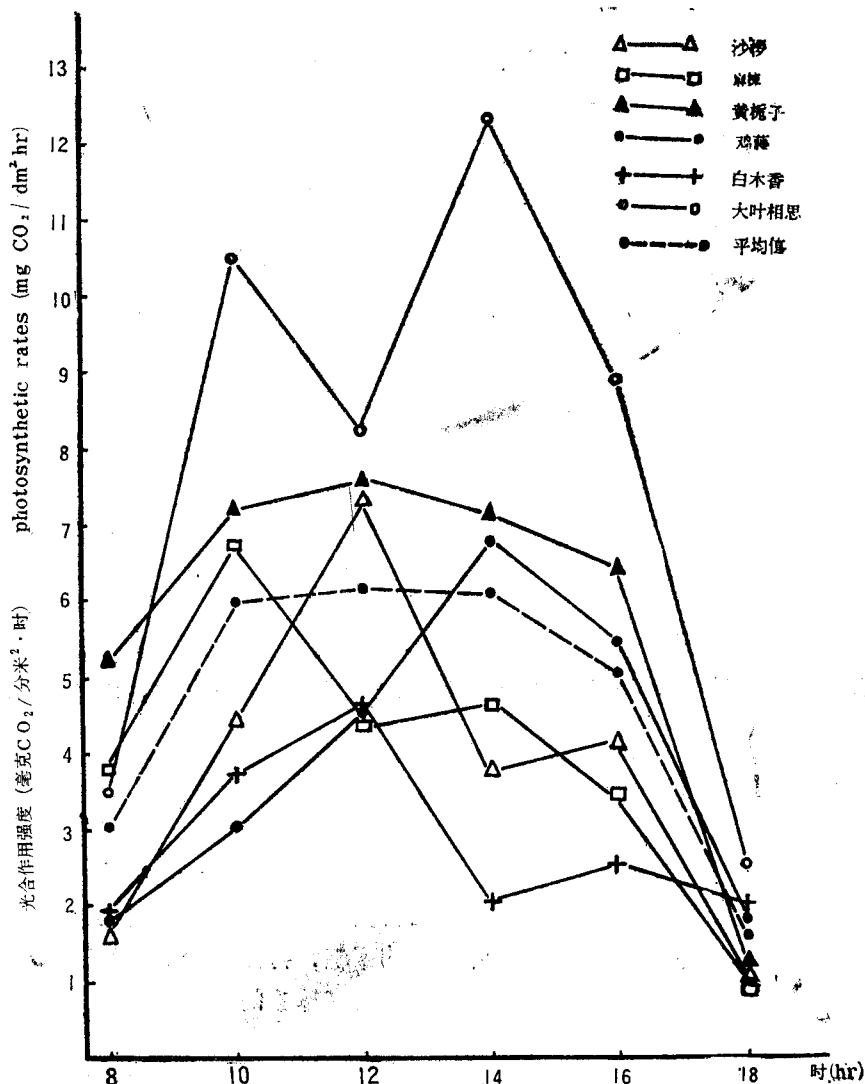


图6 混交林(II)光合作用强度的日变化 (1983.10)

Fig. 6 Daily variation of photosynthetic rates in the mixed forest (II)

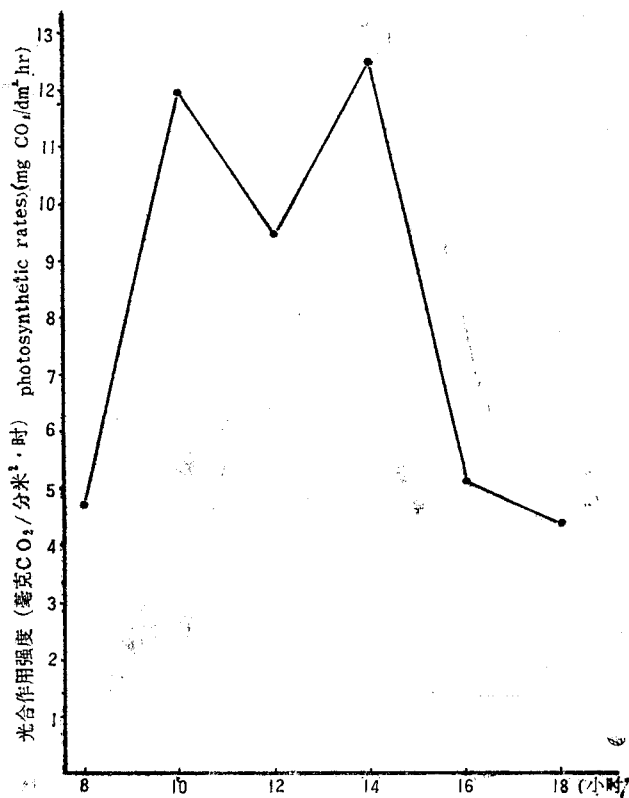


图7 窿缘桉林光合作用强度的日变化 (1983.10)

Fig. 7 Daily variation of photosynthetic rates of eucalypt forest

在图1中,虽然二氧化碳浓度变化的曲线很相似,但白天植物吸收二氧化碳的能力并不相同。为了进一步分析光合作用与二氧化碳浓度之间变化的关系,我们取上午8时至晚上20时二氧化碳浓度的平均值作标准,对照这个标准算出每一时间的偏差(绝对值),取其平均数,表示这一点二氧化碳浓度的日变化幅度,得到表2的结果。再取每种植物的日平均光合作用强度与每一高度叶面积的乘积,得出每一高度叶子的光合生产量,其结果见表3。对照表2和表3,混交林I和混交林II的最高光合生产量都是在7—8米处,二氧化碳浓度垂直变化的最大值也是在8米处,它们分别是27.3ppm和31.2ppm。桉树林最高光合生产量是在10—11米处,与此相对应的,在10米处也有一个二氧化碳浓度变化的峰值13.8ppm。说明二氧化碳浓度的垂直变化与叶子的分布和光合作用能力密切相关。白天,叶子分布较多的地方,二氧化碳浓度可能较低,光合作用越强的地方,二氧化碳浓度的变幅就越大。



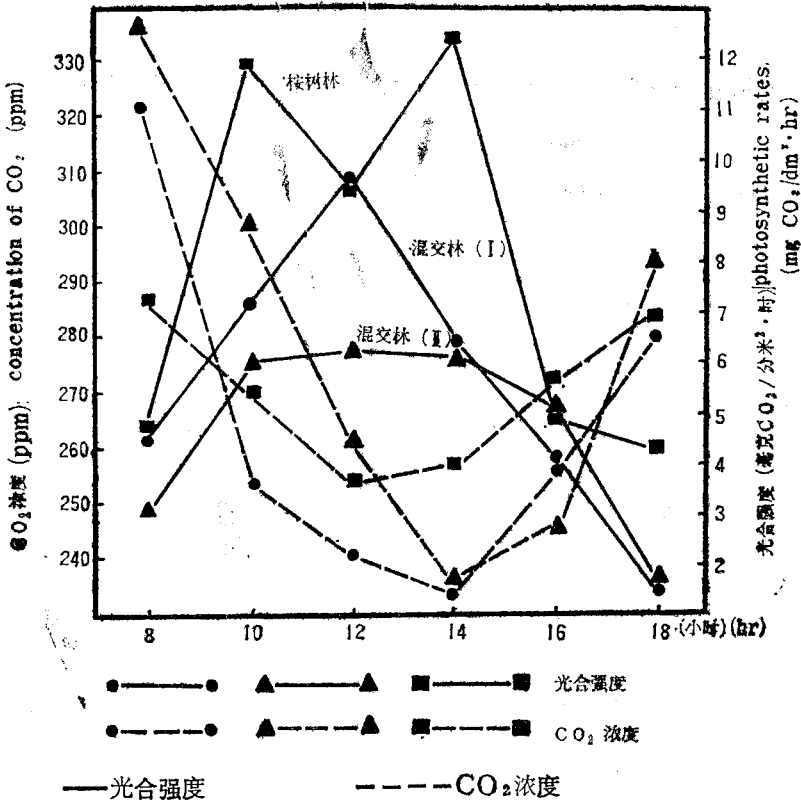


图 8 混交林(I)、(II)以及桉缘桉林光合作用强度与CO<sub>2</sub>浓度之间的关系

Fig. 8 Correlation between photosynthetic rates and CO<sub>2</sub> concentration

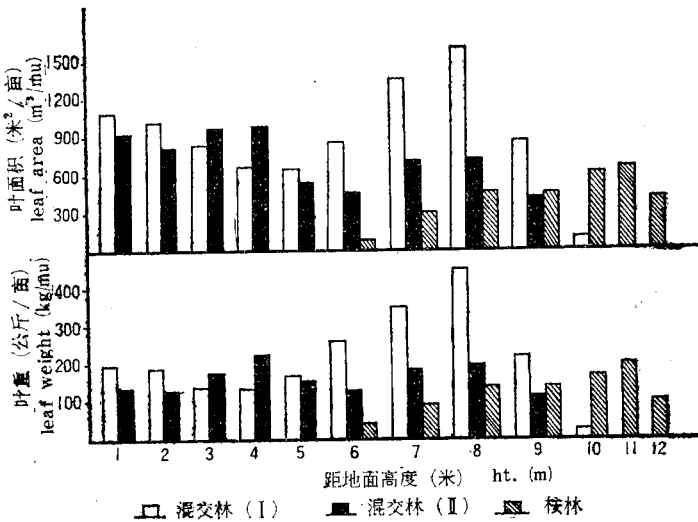


图 9 混交林(I)、(II)以及桉缘桉林叶子的密度分布

Fig 9 The vertical distribution of leaf area and leaf weight

表2 不同植物群落的CO<sub>2</sub>浓度变化值 (ppm)

Table 2 Changes of CO<sub>2</sub> concentration in different artificial communities

距地面高度 (米) height (m)		15	10	8	6	4	2
混交林 (I)	平均值	270.2	268.4	270.7	266.9	268.7	270.6
	变化值	22.3	24.6	27.3	26.1	26.8	24.4
混交林 (II)	平均值	285.9	282.4	282.9	282.2	282.0	283.5
	变化值	24.8	28.7	31.2	29.9	29.3	30.7
桉林	平均值	271.8	266.6	273.0	277.5	277.1	283.6
	变化值	12.8	13.8	13.0	14.0	12.8	14.3

表3 不同高度叶子的光合生产量 (克CO<sub>2</sub>/亩·日)

Table 3 Photosynthetic productivity of leaves in different heights  
(gCO<sub>2</sub>/mu·day)

高度(米) ht(m)	混交林 (I)	混交林(II)	桉林
12	0	0	675.3
11	0	0	1071.0
10	52.8	0	998.0
9	580.6	334.2	748.7
8	1073.4	558.2	748.7
7	965.1	505.3	499.1
6	741.2	341.9	225.5
5	450.0	311.0	0
4	333.0	481.8	0
3	321.8	428.5	0
2	249.2	356.1	0
1	259.5	387.2	0

## 讨 论

林内空气中二氧化碳浓度的变化往往不是我们想象那样有规律,因为在林地上分布着各式各样的植物、动物和微生物,它们的分布并不均匀,在局部地方,有时会有许多枝和叶,这样就会影响二氧化碳的对流和扩散,而在另外一些地方又会形成不规则的湍流。因此就可能造成表2那样个别的不规则现象。如混交林Ⅰ除8米处有一变化峰值外,2米处还有一个变化的峰值;桉树林除10米有一变化峰值外,6米、2米处还出现变化峰值。Lemon等认为,在群体内,由于湍流作用,二氧化碳浓度会有起伏,起伏的幅度朝地面方向增大<sup>[6]</sup>。因此,混交林Ⅰ和桉林下的变化是可以理解的。

研究证明,林内二氧化碳浓度与光合作用呈显著负相关。但图8中,它们的峰值并非在同一时间,平均光合作用强度的峰值是在中午12时,而二氧化碳浓度的最低值是在午后14时。这种时间差是由于光合作用强度达到最大值以后,而周围空气中二氧化碳浓度不可能同时降到最低值的缘故。另外也可能受平流的影响,使被植物吸收的二氧化碳得到不断补充。因为Monteith(1968)认为,要排除平流的影响,距森林边界迎风面至少是树高的50倍<sup>[7]</sup>,而我们的试验距林缘还不足20倍。因而可能存在平流的影响。

## 结 论

通过电白县小良三种人工林的二氧化碳浓度变化及光合作用的观测结果表明:

1. 三种人工林的林内二氧化碳浓度的昼夜变化曲线形状都很相似,即从早上开始,二氧化碳浓度逐渐下降,12—14时之间达到最低值,以后又逐渐增加,凌晨4—6时左右达到最大值。
2. 林内二氧化碳浓度曲线表明,白天最低值是在林冠层的下部;夜间最低值是在林冠上方,越往下浓度越高,最大值是在土壤表面。
3. 植物的光合作用强度随太阳辐射逐渐增强而增加,午间前后达到最大值。以后随太阳辐射不断减弱而有所下降。
4. 林内二氧化碳浓度的变化与光合作用强度呈显著负相关。
5. 二氧化碳浓度的垂直变化与叶子的分布和光合作用能力密切相关。白天叶子较多的地方,二氧化碳浓度比较低;光合作用越高的地方,浓度的变幅就越大。

## 参 考 文 献

- [1] 马钦彦, 1982: 研究森林与大气CO<sub>2</sub>交换的微气象学法。北京林学院学报, 第1期, 56—86页。
- [2] 中国林业科学院科技情报研究所(编译), 1982: 树木生理与生化。林业译丛, 第5集, 1—12, 中国林业出版社。
- [3] 童一中, 1979: 作物育种常用的统计分析法。上海科学技术出版社。
- [4] 户刘义次(主编), 1973: 作物的光合作用与物质生产。149—267页。科学出版社。

- [5] 佐伯敏郎, 1975: 辐射能和CO<sub>2</sub>在陆生植物群落中的分布。光合作用与作物生产译丛(4), 25—34页。农业出版社。
- [6] Kira, T. 1968: 一种估计树木和森林林分总呼吸量的合理方法。植物生态学译丛, 第3集, 158—166页。科学出版社。
- [7] Monteith, J. J. 1968: 从二氧化碳的垂直流动分析田间作物的光合作用和呼吸作用。植物生态学译丛, 第3集, 101—113页。科学出版社。
- [8] Sanjose J. J. and M. Cabrera, 1983: Energy and gas exchange within a sunflower canopy. *photosynthetica*, 17(3): 412—421.

THE STUDIES ON THE CORRELATION BETWEEN  
PHOTOSYNTHETIC RATE AND CO<sub>2</sub> CONCENTRATION IN  
THREE TYPES OF FOREST

Deng Rui-wen Feng Yong-mei Chen Tian-xing

(*South China Institute of Botany, Academia Sinica*)

Abstract

In this paper, we studied the photosynthetic rates and the changes of CO<sub>2</sub> concentration, delved the coerrlations between both parameters of the photosynthetic rates and CO<sub>2</sub> concentrations within three types of forest. The results are summarized as follows:

1. CO<sub>2</sub> concentration in the air for three artificial forests had obvious changes, in the morning and late afternoon CO<sub>2</sub> concentrations were higher, but lower in afternoon. CO<sub>2</sub> concentration were highest in early morning.
2. In the morning and late afternoon photosynthetic rates were lower. Photosynthetic rates were higher in midday.
3. In day-time, CO<sub>2</sub> concentration is lowest in the canopy, and highest in the soil surface.
4. CO<sub>2</sub> concentration in the air had a negative significant correlation with the photosynthetic rates of plant.
5. The vertical changes of CO<sub>2</sub> concentration are correlated to the photosynthetic productivity and the density of leaves.