

# 尖峰岭热带山地雨林群落呼吸量初步测定\*

李意德 吴仲民 曾庆波 周光益 陈步峰 方精云

**摘要** 用密闭吸收法测定了海南岛尖峰岭热带山地雨林主要树种的树干、树枝、树叶、树根等组分的呼吸速率,根据 Pipe Model 理论,测出了主要树种木质器官的直径频度分布模型;树干、树枝及树根的呼吸速率与直径呈良好的幂函数关系;求出了单株林木呼吸总量与胸径之间的经验公式,计算森林群落(乔木层)月呼吸量 $[t/(hm^2 \cdot 月)]$ :树干 1.69~1.73、树枝 0.78~0.79、树叶 0.81~0.83、树根 0.24~0.25,总计为 3.5~3.6  $t/(hm^2 \cdot 月)$ ,由此而推算年呼吸量约为 42.2~43.1  $t/(hm^2 \cdot a)$ ,需消耗干物质约为 22.7~23.2  $t/(hm^2 \cdot a)$ 。

**关键词** 热带山地雨林 直径分布 呼吸速率 呼吸量 干物质消耗量

研究森林的  $CO_2$  排放、吸收等过程及其数量指标,无疑对解决当今全球性的气候变化和大气  $CO_2$  浓度不断增加等生态问题具有重要的意义,并且在森林生产力生态学中也是极其重要的因子。测定森林群落的呼吸速率和呼吸总量尤其是对树木木质器官呼吸速率及呼吸量的测定和计算是一个非常困难的工作,而热带林由于其组成种类繁多更给呼吸的测定和研究增添了难度。

目前国外有关森林群落呼吸量的测定和计算已有一些可利用的资料,并且工作开展得也比较早<sup>[1~6]</sup>。但我国对森林群落呼吸的测定目前尚未见报道,仅有学者在近年对辽东栎的群落呼吸作了测定<sup>1)</sup>,然而在我国热带地区到目前为止仍为空白。本研究旨在通过对海南岛热带山地雨林群落呼吸的初步测定,一则为热带林的产量生态学提供呼吸方面的资料,另外也为森林大气  $CO_2$  平衡方面提供一些研究点上基础数据,以弥补我国在森林呼吸研究上的空白。

## 1 试验地概况

试验地位于海南岛西南部的乐东与东方县交界处的尖峰岭林区,研究对象为热带山地雨林。有关生态背景和群落的基本特征等已有报道<sup>[7,8]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

在尖峰岭保护区林分结构好的地段设置  $1\text{ hm}^2$  的样地,对样地内  $5\text{ cm}$  的所有乔木进行

1996—03—18 收稿。

李意德副研究员,吴仲民,曾庆波,周光益,陈步峰(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520);方精云(中国科学院生态环境研究中心)。

\* 本研究是国家“八五”攻关项目子专题“热带山地雨林二氧化碳排放通量测定(85-913-01-02-01)”的一部分,同时也是林业部重点项目“尖峰岭热带林生态系统定位站(90-08-11)”的研究内容。参加野外工作的还有杜志鹄、林明献、陈焕强等,尖峰岭热带林保护区管理站的张振才站长对野外工作给予了大力支持,特致谢意!

1) 方精云. 辽东栎群落呼吸量的测定. 1994.

每木调查, 包括种名、准确量测胸径、目测树高等有关因素, 以此样地材料为基础计算整个群落呼吸量。

## 2.2 群落生物量的计算

根据样地每木调查的结果, 配合现有的生物量回归模型<sup>[9]</sup>, 对群落的生物现存量进行计算。由于推算群落呼吸总量需要以鲜重为基础, 而模型计算的生物量值为干重, 根据在尖峰岭作生物量测定时的材料, 确定各器官的干鲜比的平均值, 然后将干重除以干鲜比即得群落生物量的鲜重。

## 2.3 呼吸速率样木的选取

由于热带森林的组成很复杂, 种类繁多, 不可能对每个树种的呼吸速率进行测定, 只能根据样地的种类组成特征, 按照种的优势度(或重要值)大小来选取作呼吸速率测定的样木。然后对所选的样木分树干、树枝、树根和树叶等四个组分, 用密闭吸收法<sup>[5]</sup>(即在密闭不透光的容器中放置植物样品, 用 KOH 来吸收样品释放的 CO<sub>2</sub>) 来测定, 样木选取是根据样地中各种群的重要值大小而定的, 共选取了 13 株有代表性的样木; 并对其中 7 株的木质器官直径频度分布进行精确的测量。

## 2.4 单株林木和群落呼吸量的计算

根据单株林木的胸径、各器官的生物量、直径频度分布、呼吸速率、木质器官的最大最小直径等有关因子推算单株林木的呼吸量, 并根据样地立木资料计算林分的呼吸总量。

# 3 测定过程与结果分析

## 3.1 群落生物量

计算热带山地雨林群落生物量的模型为<sup>[9]</sup>:

$$\left. \begin{aligned} \text{树干: } W_{st} &= 0.022\ 178(D^2H)^{1.005\ 174} \\ \text{树皮: } W_{tk} &= 0.004\ 412(D^2H)^{0.943\ 871} \\ \text{树枝: } W_{br} &= 0.011\ 633(D^2H)^{0.892\ 514} \\ \text{树叶: } W_{lf} &= 0.007\ 247(D^2H)^{0.750\ 386} \\ \text{树根: } W_{rt} &= 0.026\ 4(D^2H)^{0.775} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中,  $D$  为林木的胸径,  $H$  为树高。  $H$  与  $D$  的关系可用下列幂函数的回归来估计:

$$\frac{1}{H} = 0.026\ 048 + \frac{0.772\ 186}{D} \quad (2)$$

胸径  $D$  的取值范围为 4 ~ 150 cm, 相关系数 0.95。

根据生物量模型的计算结果, 热带山地雨林乔木层的生物总量为(不含棕榈科植物——高山蒲葵和木质藤本植物、寄生植物; 按干物质计, 单位: t/hm<sup>2</sup>): 树干 301.920 3, 树皮 30.792 1, 树枝 46.758 3, 树叶 6.590 7 及树根 30.916 9, 总计为 416.978 3。各器官的干鲜比分别为: 树干 0.581 974(样本数  $n=101$ ), 树皮 0.513 266( $n=85$ ), 树枝 0.519 728( $n=101$ ), 树叶 0.415 175( $n=101$ ) 及树根 0.512 159( $n=20$ ), 由此可计算林木单株和群落生物量的鲜重。

## 3.2 树干、树枝和树根直径频度分布

日本学者 Shinozaki 等于 1964 年提出了林木的管道模型(Pipe Model)理论<sup>[10,11]</sup>, 即林木

的木质器官(干、枝、根)的直径大小与总长度能用幂函数很好地表示,每个直径级的频度 $f$ (此处用总长度表示)与直径 $D$ 的函数关系式为:

$$f = KD^{-\alpha} \quad (3)$$

式中, $K$ 为取决于林木大小和直径段长度的因子,为直径段的区间, $\alpha$ 为取决于不同木质器官的常数。对于树干部分,由于其原木的形状近似于锥形体,所以 $\alpha$ 值近似于0,而枝和根则在1~2之间,如Yoda等1965年测定了北海道的云杉和冷杉<sup>[5]</sup>,其枝的 $\alpha$ 值为1.5~2,根的 $\alpha$ 值为2.0。然而在海南岛热带山地雨林的测定中,枝的值约为2.2781,根约为1.4539,为了方便计算,我们取枝的 $\alpha$ 值为2.0,根的 $\alpha$ 值为1.5。各样木的测定值详见表1。

表1 热带山地雨林部分树种枝和根的 $\alpha$ 值

树种	毛荔枝		中华厚壳桂		红稠	大叶白颜	九节木	平均
树枝	1.9396	1.7138	1.5176	2.3505	3.0450	2.9575	2.4250	2.2781
树根	1.4195	-	1.4458	1.2479	1.5532	-	1.6030	1.4539

注:表中拉丁学名:毛荔枝 *Nephelium lappaceum* (Merr.) H. S. Lo; 中华厚壳桂 *Cryptocarya chinensis* (Hance) Hemsl; 红稠 *Lithocarpus fenzelianus* A. Camus; 大叶白颜 *Gironniera subaequalis* Planch; 九节木 *Psychotria rubra* (Lour.) Poir.

### 3.3 林木各器官的呼吸速率测定

3.3.1 密闭吸收法简述 将植物测试样品置于一个密闭(树叶还要求不透光)的容器中,同时在容器中放置事先准备好的碱性溶液KOH,植物试样经呼吸作用而释放的CO<sub>2</sub>被容器中的碱性溶液吸收,然后再用HCl进行滴定,其过程和反应式为<sup>[5]</sup>:

植物试样释放的CO<sub>2</sub>与KOH进行反应而形成K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,即:CO<sub>2</sub>+2KOH=K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O  
用HCl进行滴定的第一个反应是:K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+HCl=KCl+KHCO<sub>3</sub>。这个反应可根据酚酞由红色变为无色而得到确定。

为了校验第一个反应式,还要进行第二个反应的测定,此时加入甲基橙继续滴定,被吸收的CO<sub>2</sub>再次成为气体而释放出去,其反应可根据甲基橙由黄色变成橙黄色而得到判定:



为了校正容器中空气的CO<sub>2</sub>量,在对每个植物试样测定的同时应作同容器容积的空白对照实验。CO<sub>2</sub>量的计算公式如下:

$$\text{CO}_2(\text{mg}) = 44N(V_2 - A_2) \quad (4)$$

式中, $N$ 为HCl溶液摩尔浓度, $V_2$ 为第二个反应式的HCl用量(mL); $A_2$ 为空白试验中第二个反应式的HCl用量(mL)。如果根据第一个反应式进行计算,则为:

$$\text{CO}_2(\text{mg}) = 44N(A_1 - V_1) \quad (4)$$

式中 $V_1$ 为第一个反应式的HCl用量(mL); $A_1$ 为空白试验中第一个反应式的HCl用量(mL)。要求(4)和(4)式的结果误差在±5%以内,用两式的平均值作为样品CO<sub>2</sub>的释放量。

3.3.2 树叶呼吸速率的测定与计算 样木伐倒后立即摘取不同部位的树叶进行混合,按一定的重量等级(如<10g、10~30g、30~50g...等)选取样品进行现场测定,将样品置于已准备好KOH溶液(用玻璃皿)、温度计及三角架的容器中,然后立即将容器用凡士林封住,KOH浓度可根据叶量的多少而定,测定中一般用浓度为0.05~0.5mol/L的KOH,用量为10~25mL,测定时间为2~4h<sup>[5]</sup>,记录样品重量(g)、KOH浓度和体积(mL)及试验开始、试验中和试验结束时的容器内温度,并求算平均温度。

吸收了  $\text{CO}_2$  的  $\text{KOH}$  溶液从容器中取出后马上进行滴定, 经计算可获得一组树叶鲜重  $W_t$  与  $\text{CO}_2$  量的数据, 而  $\text{CO}_2$  量被样品重量和测定时间除就可得到一组呼吸率  $R_t$ 。  $R_t$  与  $W_t$  存在着下列关系:

$$\frac{1}{R_t} = A + B W_t \quad (5)$$

式中  $A$  和  $B$  是与试验条件和树种有关的参数。但式(3)中的  $R_t$  并不是真正的呼吸速率, 真正的呼吸速率应当为  $W_t = 0$  时的  $R_t$ , 即  $1/A$ 。

根据对 13 株样木的叶呼吸进行测定和计算, 得出了如下的经验式(混合种):

$$1/R_t = 0.014\ 16 - 0.000\ 05 W_t \quad (5)$$

根据(5)式, 当  $W_t = 0$  时, 树叶真正的呼吸速率<sup>[5]</sup>的平均值(混合种)为:  $R_t = 1/A = 70.640\ 631\ \text{mg CO}_2/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 。

3.3.3 非同化器官(树干、树枝、树根)呼吸速率的测定与计算 样木伐倒后立即按树干、树枝和树根的不同直径大小选取 4 个待测样品, 长度约为 20 cm 左右, 为防止水分损失, 样品锯下后立即用白色凡士林将两断面封上, 并进行现场测定, 测定时间为 3~5 h。滴定的要求与树叶相同,  $\text{KOH}$  浓度和用量范围也与叶测定基本相同, 但可根据样本体积大小适当增加浓度至 1 mol/L 和 50 mL 的用量。最后将所有样品的测定结果按直径级求算一组平均呼吸速率, 并以此拟合各器官的直径  $D$  与呼吸速率  $R$  的回归方程。其关系均可用幂函数

$$R = A D^B \quad (6)$$

很好地表示。根据滴定的结果, 拟合的经验方程如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{树干: } R_{st} &= 25.150\ 99 D^{-0.502\ 774} \\ \text{树枝: } R_{tr} &= 23.918\ 22 D^{-0.721\ 542} \\ \text{树根: } R_{rt} &= 14.034\ 06 D^{-0.284\ 971} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

上述三方程的相关系数分别为 0.90、0.95、0.76。

### 3.4 单株树木中木质器官最大直径 $D_{\max}$ 和最小直径 $D_{\min}$ 的确定

树干的直径定义为树干基部的直径, 最小直径则为近树冠下部的某处, 根据 Marklund 对热带树木各组分的分类<sup>[12]</sup>及在海南岛热带林生物量研究中的应用<sup>[13, 14]</sup>, 将树干视为一截顶的圆锥体。根据 120 余株样木资料求算, 最小和最大直径与胸径  $DBH$  的关系为:

$$D_{\max} = 1.132\ 8\ DBH; \quad D_{\min} = 0.468\ 5\ DBH \quad (7)$$

树枝的最小直径定义  $D_{\min}$  为 0, 根据 31 株样木的资料, 最大直径与  $DBH$  的关系为:

$$D_{\max} = 0.414\ 0\ DBH \quad (8)$$

热带林中林木的树根可利用的资料不多, 并且情况也较为复杂, 例如许多乔木种的个体有一较大的根头(可能与板根的形成有关)。树根的最小直径  $D_{\min}$  定义为 0, 最大直径为(根据 7 株样木资料统计):

$$D_{\max} = 1.517\ 8\ DBH \quad (9)$$

### 3.5 单株林木呼吸量的计算

3.5.1 树叶呼吸量的计算 计算过程较为简单, 只要将 3.3.2 节中求出的平均呼吸速率与单株林木的树叶总鲜重相乘就可, 其公式为:

$$R_t = 70.640\ 631[\text{mgCO}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})] \times W_t(\text{kg/株}) = 0.000\ 619 \times W_t[\text{t}/(\text{株} \cdot \text{a})] \quad (10)$$

3.5.2 木质器官呼吸量的计算 树干、树枝、树根等木质器官(非同化器官)的呼吸量的计算比较复杂。简述如下:将式(3)展开可得:

$$\Phi(D) dD = KD^{-\alpha} \quad (3)$$

式中,  $\Phi(D) dD$  等价于(3)式中的  $f$ 。

木质器官的直径由  $D$  到  $D + dD$  之间的总重量被定义为:

$$dW(D) = K \Phi(D) D^2 dD \quad (11)$$

式中  $K$  为与木材密度有关的参数。因此木质器官的总重量  $W$  可根据(11)式中的  $D$  的最小值至最大值进行积分而求得:

$$W = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} dW(D) = KK \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^{2-\alpha} dD = \frac{KK}{3-\alpha} [D^{3-\alpha}]_{D_{\min}}^{D_{\max}} \quad (12)$$

因此有:

$$KK = \frac{W(3-\alpha)}{D_{\max}^{3-\alpha} - D_{\min}^{3-\alpha}} \quad (13)$$

一株树木的木质器官(树干、树枝和树根)的总呼吸量可由下式求得:

$$R = \int r(D) dW(D) \quad (14)$$

根据式(5)、(11)及(14),有:

$$\begin{aligned} R &= \int AD^B K \Phi(D) D^2 dD = KK A \int D^{2-\alpha+B} dD \\ &= \frac{W(3-\alpha)}{D_{\max}^{3-\alpha} - D_{\min}^{3-\alpha}} \times \frac{A}{3-\alpha+B} \times D^{3-\alpha+B} \Big|_{D_{\min}}^{D_{\max}} \end{aligned} \quad (15)$$

以上为计算非同化器官(树干、树枝和树根)呼吸量的通用公式<sup>[5]</sup>。根据式(6)、表1中的  $\alpha$  值和式(7)、(8)、(9),可计算木质器官的呼吸量。对于树干,因  $\alpha=0, A=25.15099, B=-0.502774$ ,其计算公式为:

$$\begin{aligned} R_{st} &= \frac{3W_{st}}{D_{\max}^3 - D_{\min}^3} \times \frac{A}{3+B} \times [D_{\max}^{3+B} - D_{\min}^{3+B}] \\ &= \frac{0.000264681 \times W_{st} \times (D_{\max}^{2.497226} - D_{\min}^{2.497226})}{D_{\max}^3 - D_{\min}^3} \end{aligned} \quad (16)$$

式中,  $W_{st}$  包括树干木质部和树皮的重量。

对于树枝,有:  $\alpha=2.0, A=23.91822, B=-0.721542$ , 计算公式为:

$$R_{br} = \frac{W_{br}}{D_{\max}} \times \frac{A}{1+B} \times (D_{\max}^{1+B}) = \frac{0.000752443 \times W_{br} \times D_{\max}^{0.278458}}{D_{\max}} \quad (17)$$

对于树根,  $\alpha=2.0, A=14.03506, B=-0.284971$ , 计算公式为:

$$\begin{aligned} R_{rt} &= \frac{1.5W_{rt}}{D_{\max}^{1.5}} \times \frac{A}{1.5+B} \times (D_{\max}^{1.5+B}) \\ &= \frac{0.000151783 \times W_{rt} \times D_{\max}^{1.215029}}{D_{\max}^{1.5}} \end{aligned} \quad (18)$$

式(16)~(18)各参数的单位是:  $W$  为  $\text{kg/株}$ ;  $D$  为  $\text{cm}$ ;  $R$  为  $\text{kg CO}_2/(\text{a} \cdot \text{株})$ 。

3.5.3 林分呼吸总量的计算 根据群落中各立木各器官的生物量鲜重、 $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  等参数,按照式(10)、(16)~(18)计算出整个林分的总呼吸量。结果见表2。

表 2 尖峰岭热带山地雨林群落(乔木层)呼吸总量(测定温度 24.5 )

时间	项 目	树干	树枝	树叶	树根	合计
1992 年	月 CO <sub>2</sub> 呼吸量[t/(hm <sup>2</sup> ·月)]	1.690 0	0.776 2	0.811 7	0.241 8	3.519 7
	月干物质消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·月)]	0.830 6	0.455 0	0.483 0	0.122 4	1.891 0
	年 CO <sub>2</sub> 消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]	20.280 2	9.314 3	9.741 1	2.902 3	42.237 9
	年干物质消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]	9.967 7	5.459 8	5.795 9	1.468 5	22.691 9
	各组分干物质消耗占总量(%)	43.93	24.06	25.54	6.47	100
1993 年	月 CO <sub>2</sub> 呼吸量[t/(hm <sup>2</sup> ·月)]	1.727 5	0.791 6	0.829 3	0.246 8	3.595 2
	月干物质消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·月)]	0.849 0	0.464 0	0.493 4	0.124 9	1.931 3
	年 CO <sub>2</sub> 消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]	20.729 6	9.498 9	9.951 4	2.962 0	43.141 9
	年干物质消耗量[t/(hm <sup>2</sup> ·a)]	10.188 5	5.568 0	5.921 0	1.498 7	23.176 2
	各组分干物质消耗占总量(%)	43.96	24.02	25.55	6.47	100

由表 2 可看出,尖峰岭热带山地雨林群落乔木层的呼吸量为 3.5~3.6 t/(hm<sup>2</sup>·月),需消耗约 1.9 t/(hm<sup>2</sup>·月)的干物质。由于本研究未按不同的温度条件来测定树木各组分呼吸量的变化,因此仅以测定温度为 24.5 时的结果来粗略地推算群落的年呼吸量为 42.2~43.1 t/(hm<sup>2</sup>·a) CO<sub>2</sub>,干物质消耗则为 22.7~23.2 t/(hm<sup>2</sup>·a)。这些数值与其他学者的研究结果相比,应当说是在正常范围之内,部分热带群落的呼吸总量在 39~95 t/(hm<sup>2</sup>·a)的范围<sup>[3,6]</sup>。

群落呼吸总量在各器官中的分配比例是树干约占 44%,枝 24%,根 6%,木质部分总计达 74%,而同化器官(叶)则仅占 26%左右,但许多研究实例表明叶的呼吸速率一般应高于非同化器官的呼吸速率且占群落呼吸总量的 40%~60%<sup>[2-6,15]</sup>,甚至有的研究结果高达 89%<sup>[4]</sup>,尽管在这些研究报告中一部分实例的非同化器官的呼吸量高于叶的呼吸量。相比之下我们所测定的叶呼吸量所占比例的结果仍然是偏低的,可能与两方面的因素有关:一是叶的生物量被低估,二是叶的呼吸速率测得了较低的估计值,如日本北海道的云杉和冷杉林叶的呼吸速率为 167 mgCO<sub>2</sub>/(kg·a)<sup>[5]</sup>,而我们的测定仅为 70.6 mg CO<sub>2</sub>/(kg·a)。

#### 4 结语和讨论

用密闭吸收法测定森林群落的呼吸量,尖峰岭热带山地雨林群落的呼吸量为 42.2~43.1 t/(hm<sup>2</sup>·a)的 CO<sub>2</sub>,折合成干物质的消耗量为 22.7~23.2 t/(hm<sup>2</sup>·a),其中树干约占 44%、树枝占 24%、树叶占 26%、树根占 6%。

热带山地雨林中林木的非同化器官(树干、树枝和树根)的直径  $D$  与呼吸速率之关系可用幂函数  $R = AD^B$  来表示,其中  $B$  值均小于 0,表明直径越大,呼吸速率越小。树叶和平均呼吸速率测得为 70.6 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h)。

主要林木非同化器官的直径频度分布可用  $\Phi(D) dD = KD^{-\alpha}$  来拟合,其中  $K$  为取决于树木大小(生物量)的因子。本研究中树干的  $\alpha$  值为 0,树枝为 2.0,而树根为 1.5。

树干、树枝和树根的  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  值可由林木的  $DBH$  加以计算,计算式参照文中公式(7)~(9)。根据林木非同化器官呼吸量计算的通用公式(15)可展开树干、树枝和树根呼吸量的计算式。

因此,对于某一森林群落,只要测出了呼吸率  $R$  与直径  $D$  之间的关系,再利用林木胸径  $DBH$  与树高、各组分生物量、 $D_{\max}$ 、 $D_{\min}$  的关系,就可求出林木的呼吸量和整个群落的呼吸总

量。

森林群落特别是热带森林群落的呼吸测定最关键的问题是: (1) 如何能确定好林木取样的代表性问题, 因热带林组成种类繁多, 不可能对每一树种都作测定, 不同树种之间的  $R$  有较大的差异, 构成混合树种的直径级与  $R$  的平均值的一组数据是解决这个问题的方法之一, 但优势种和亚优势种(相对而言)及偶见种类的样木配置是至关重要的, 实际上也是平均值的权重问题; (2) 生物量估测模型一定要选好, 否则造成生物量及其在各组分中的比例不符合实际值而导致呼吸量计算的较大差异; (3) 密闭吸收法测定呼吸的结果在理论上是可靠的, 在实际应用中也得到了令人满意的结果, 但应注意测定时放样和收样要迅速准确, 尽量避免人为呼吸的影响, KOH 测定液中不能进入其它杂质及滴定过程中 HCl 用量的准确性和判断指示液颜色变化的正确性等, 否则其呼吸速率结果相差很大。

### 参 考 文 献

- 1 Goodwin R H, Goddard D R. The oxygen consumption of isolated woody tissues. Amer. J. Bot., 1940, 27: 234 ~ 237.
- 2 Kimura M. Primary production of the warm temperate laurel forest in the southern part of Osumi Peninsula, Kyushu, Japan. Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resources. 1960. 52~ 53: 36 ~ 47.
- 3 Moller C M. Untersuchungen uber laubmenge, stoffverlust und stoffproduktion des waldes. Forstl. Forsogsv. Danmark., 1945, 17: 1 ~ 287.
- 4 Tadaki Y. Studies on production structure of forests. . The primary production of a young stand of *Castanopsis cuspidata*. Jap. J. Ecol., 1965, 15: 142 ~ 147.
- 5 Yoda K, Shinozaki K, Ogawa H, et al. Estimation of the total amount of respiration in woody organs of trees and forest communities. Journal of Biology, Osaka City University, 1965, 16: 15 ~ 26.
- 6 Kira T, Ogawa H, Yoda K, et al. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. . Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest. Nature & Life in Southeastern Asia, 1967, 5: 149 ~ 174.
- 7 黄全, 李意德, 郑德璋, 等. 海南岛尖峰岭热带地区植被生态系列研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1986, 10(2): 90 ~ 105.
- 8 蒋有绪, 卢俊培, 等. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 1991.
- 9 李意德. 海南岛热带山地雨林林分生物量估测方法比较分析. 生态学报, 1993, 13(4): 314 ~ 320.
- 10 Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, et al. A quantitative analysis of plant form —— the piper model theory. I. Basic analysis. Jap. J. Ecol., 1964a, 14: 97 ~ 105.
- 11 Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, et al. A quantitative analysis of plant form —— the piper model theory. . Further evidence of the theory and its application in forest ecology. Jap. J. Ecol., 1964b, 14: 133 ~ 139.
- 12 Marklund L C. Wood biomass —— A potential resource for energy and industry, Special study on forest management, afforestation and utilization of forest resource in developing region Asia-Pacific Region. FAO/UN Report, 1986.
- 13 黄全, 李意德, 赖巨章, 等. 黎母山热带山地雨林生物量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 197 ~ 206.
- 14 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(4): 293 ~ 300.
- 15 Muller D, Nielsen J. Production brute, pertes par respiration et production nette dans la foret ombrophile tropicale. Forstl. Forsogsv. Danmark., 1965, 29: 60 ~ 160.

## Measurement for Respiration of Tropical Mountain Rain Forest in Jianfengling, Hainan Island

Li Yide Wu Zhongmin Zeng Wingbo Zhou Guangyi Chen Bufeng Fang Jingyun

**Abstract** The respiration of tropical mountain rain forest in Jianfengling of Hainan Island was measured from 1992 to 1994 by means of chemical method. Based on the pipe model theory, the simulation models of respiration rate of tree's non-assimilation organs (stem, branch and root) and the respiration rates of leaf were conducted. The results indicated that: the respiration rate of fresh leaf was  $70.6 \text{ mg CO}_2 / (\text{kg} \cdot \text{h})$ , the amount of respiration of the forest community (tree layer) at the measurement temperature  $24.5^\circ\text{C}$  were  $3.5 \sim 3.6 \text{ t} / (\text{hm}^2 \cdot \text{month})$ , of which the stem  $1.69 \sim 1.73$ , the branch  $0.78 \sim 0.79$ , the leaf  $0.81 \sim 0.83$ , the root  $0.24 \sim 0.25$ , and yearly respiration was up to  $42.2 \sim 43.1 \text{ t} / (\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ . So the community needed to consume the organic dry-matter up to  $22.7 \sim 23.2 \text{ t} / (\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ .

**Key words** tropical mountain rain forest diameter distribution respiration rate respiration organic dry-matter consumption

Li Yide, Associate Professor, Wu Zhongmin, Zeng Qingbo, Zhou Guangyi, Chen Bufeng (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520); Fang Jingyun (Research Center of Ecology and Environment, Academia Sinica).

## ‘我国主要人工用材林生长模型、经营模型和优化控制’研究取得重要突破

‘我国主要人工用材林生长模型、经营模型和优化控制’是国家自然科学基金 1992 ~ 1997 年重点项目。课题由中国林科院资源信息所唐守正研究员和北京林业大学关毓秀教授主持,组织了科研院、校近 20 名中青年科研骨干和教师参加,经过 5 年团结协作和艰苦努力,超额完成了计划内容。在关键性问题上取得了重要突破。于今年 5 月 5 日由国家基金委组织专家进行了验收。认为该研究与国际同类研究相比,在林分生长经营模型理论研究方面处于国际先进水平,在三类模型耦合及林分密度理论研究方面处于国际领先水平。总体评价为优。

课题以南方杉木、北方长白山落叶松为研究对象,在生长模型的基本理论、人工林生长规律、模型构造、模型间相互关系、模型应用等方面进行了较全面的研究。解决了以下 4 个关键问题: (1) 建立了林分最大密度和自稀疏关系的理论; (2) 建立了林分生长模型(一类模型)和林分结构模型(二类模型)的关系,从而构建了与第一类模型全相容的第二类模型; (3) 在生长模型的基础上推导间伐模型,从而可进行含有间伐的主伐优化控制; (4) 引进度量误差模型进行参数估计的方法,较圆满地解决了模型的构造。

(中国林业科学研究院资源信息研究所 袁凯先)