

# 湖南会同林区杉木人工林呼吸量测定

肖复明<sup>1,2</sup>, 汪思龙<sup>1\*</sup>, 杜天真<sup>3</sup>, 陈龙池<sup>1</sup>, 于小军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 江西省林业科学院, 南昌 330032; 3. 江西农业大学, 南昌 330045)

**摘要:**对杉木人工林的 CO<sub>2</sub> 排放动态和杉木各木质器官呼吸量进行了测定, 结果表明, 杉木树干呼吸的季节变化规律为 3~7 月份随着树木生长和气温的升高, 树干呼吸呈上升的趋势, 在 7 月份达年呼吸速率的最大值, CO<sub>2</sub> 为 0.376 mg/(m<sup>3</sup>·min)。8 月至 12 月呈逐渐递减的趋势, 在 1~3 月份树干呼吸基本上维持在一定数值上, 并且杉木树干呼吸在杆材生长时期随着年龄的增大而减小; 杉木树干呼吸的日变化规律为: 一天中杉木树干呼吸基本上随着温度升高而增大, 随着温度降低而减小, 中午前后出现午休现象。在杉木树干呼吸日变化曲线中出现两次高峰期, 一次是在 12:00~16:00 时, 另一高峰出现在 24:00。根据测出的有关参数, 用积分方法推导出杉木树干、树枝和树根的年呼吸量 CO<sub>2</sub> 分别为 9.67 t/(hm<sup>2</sup>·a)、2.21 t/(hm<sup>2</sup>·a) 和 2.12 t/(hm<sup>2</sup>·a), 结合叶片呼吸速率测定, 计算出杉木林年呼吸量 CO<sub>2</sub> 为 21.523 t/(hm<sup>2</sup>·a), 其中, 叶片年呼吸量 CO<sub>2</sub> 为 7.523 t/(hm<sup>2</sup>·a)。并初步确定杉木树干的维持呼吸占年呼吸的 39.7%。

**关键词:**杉木人工林; 群落呼吸; 测定

文章编号:1000-0933(2005)10-2514-06 中图分类号:Q945.1, Q948, S718.5 文献标识码:A

## Respiration of chinese fir in plantations in Huitong, Hu'nan Province

XIAO Fu-Ming<sup>1,2</sup>, WANG Si-Long<sup>1\*</sup>, DU Tian-Zhen<sup>3</sup>, CHEN Long-Chi<sup>1</sup>, YU Xiao-Jun<sup>1</sup> (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016; (2. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032; 3. Jiangxi Agriculture University, Nanchang 330045). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2514~2519.

**Abstract:** Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) is a native and major commercial tree species in South China. Because of its high quality in timber and hence its high commercial value, Chinese fir has been widely planted in the subtropical area of China. The plantations of Chinese fir account for approximately one fourth of the total plantation forests in the area. In addition to its economic values, Chinese fir plantations are important to environmental protections in South China.

Researches on the productivity of Chinese fir plantations have been conducted since the 1960s. However, the respiration of Chinese fir plantations hasn't been studied until recently. In this article, we examined the respiration of Chinese fir. The total respiration of Chinese fir plantations in Huitong was measured using CID-301 Portable Photosynthesis System. Following the theory of the Pipe model we established the models of diameter frequency distribution and the relation of the respiration to its diameter for woody organs. Our results showed that the respiration rate of woody organs of Chinese fir was negatively correlated with diameter. The patterns of annual and diurnal changes in stem respiration in relation to temperature were reported according to age of Chinese fir. The respiration of Chinese fir stem increased from March till July, and it peaked at 0.376 mg/(m<sup>3</sup>·min). Then, the respiration of Chinese fir stem decreased towards November. The daily stem respiration positively correlated with stem temperature. However, the diurnal stem respiration had two peaks in a day, one being 12:00~16:00, the other being 24:00. The respiration consumptions by stems, branches and roots were 9.67 t/(hm<sup>2</sup>·a), 2.21

基金项目:中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX3-SW-4);国家自然科学基金资助项目(30270268)

收稿日期:2004-06-17;修订日期:2004-10-30

作者简介:肖复明(1972~),男,江西泰和人,博士生,副研究员,主要从事森林资源培育和森林生态研究. E-mail: jxxiaofuming@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: slwang@iae.ac.cn

**Foundation item:** Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX3-SW-4) and National Natural Science Foundation of China (No. 30270268)

**Received date:** 2004-06-17; **Accepted date:** 2004-10-30

**Biography:** XIAO Fu-Ming, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in forest silviculture and forest ecology. E-mail: jxxiaofuming@163.com

t/(hm<sup>2</sup>·a) and 2.12 t/(hm<sup>2</sup>·a), respectively. Combined with the respiration rate of needles, which was 7.523 t/(hm<sup>2</sup>·a), the total annual respiration of 20-year-old Chinese fir plantation forest was 21.523 t/(hm<sup>2</sup>·a). The maintenance respiration of stem was 39.7% of its total annual respiration.

**Key words:** Chinese fir plantation; community respiration; measurement

对于森林群落呼吸量的研究,尤其是木质器官呼吸的测定,国外开展了比较多的研究,其中最经典的是 Goodwin 等对红花槭(*Acer rubra*)呼吸测定方法的研究<sup>[1]</sup>。所涉及的方法主要有碱吸收法、红外 CO<sub>2</sub> 分析仪测定法等,但最近的研究表明,碱吸收法可能导致测定结果偏大,同时研究方法缺少科学的严谨性<sup>[2]</sup>,红外 CO<sub>2</sub> 分析仪测定法因其测量方便,结果准确,并且可测定其动态变化过程而成为测定森林群落呼吸的主导方向。国内近几年才有学者对北京地区的辽东栎、海南岛山地雨林及广东马占相思林的呼吸进行测定<sup>[3~5]</sup>,同时,方精云系统地分析了其研究方法及其应用,为国内开展相关研究起到了很好的借鉴作用<sup>[6]</sup>。但是,对这些植物的测定现都是采用离体的测定方法,而且对于我国中亚热带杉木人工林呼吸量的研究尚不多见。

杉木(*Cunninghamia lanceolata* Hook)是我国特有的优良速生针叶树种,也是我国亚热带地区最主要的用材树种之一,分布地域广阔,栽培历史悠久,不仅为我国提供了大量的商品用材,而且在维护生态平衡方面发挥了明显的作用。本研究采用 CID-301 红外线光合测定仪在完全活体状态下,对 20 年生的杉木树干呼吸进行了测定,结合其它器官的呼吸测定,对杉木人工林的呼吸进行估算,揭示杉木人工林 CO<sub>2</sub> 释放量的生态因子,为该地区森林大气 CO<sub>2</sub> 平衡和森林生态系统模拟提供基础数据。

## 1 试验地概况

本研究样地位于中国科学院会同森林生态实验站(109°30'E,26°48'N),海拔 200~500m,为低山丘陵地貌类型,气候属亚热带湿润气候,年均温度 16.5℃,极端最高温和最低温分别为 36.4℃和-4.4℃,年均降雨量为 1200~1400mm,年均相对湿度在 80%以上,土壤为红黄壤。

研究对象为 20 年生(1983 年营造)的杉木纯林。林地灌木主要以杜茎山(*Maesa japonica*)、格药柃(*Eurya muricata*)、草本以狗脊(*Woodwardia japonica*)、中华里白(*Dipcopterygium chinensis*)等为优势种的生态系统。

## 2 研究方法

### 2.1 树干呼吸的测定

在树干胸高位置上用密闭的盒子套上一段树干(约 40~50cm),只留一个进气口和一个出气口,采用开路系统,测定进出口 CO<sub>2</sub> 浓度差,即可计算树干的呼吸速率<sup>[7~9]</sup>。在 20 年生的杉木林样地内分不同径级固定 7 株样木,在 17 年生和 13 年生的杉木林中分别固定 2 株标准木进行呼吸测定。

树干呼吸测定试验的时间从 2002 年 5 月始至 2003 年 4 月,每月测定 2 次,每次测定时间为 24h,测定时间间隔为 2h。

### 2.2 树枝、树根的呼吸的测定

样木伐倒后立即按树枝和树根的不同直径大小截取 12 个待测样品,每个样品的长度不超过 20cm,为防止水分损失,样品锯后立即用白色凡士林将两端断面封严。随即用 CID-301 红外线光合测定仪测定 3~5 min,仪器采样速率为 30s。

### 2.3 树叶呼吸测定

将不同高度、不同层次的叶片混合,置于叶室遮光测定其呼吸速率。

### 2.4 不同器官的呼吸速率计算公式为<sup>[3, 10]</sup>

$$R = (\Delta C \times V/A)(44/22.4) [273/(273 + T)](P/101325)$$

式中, $\Delta C$  为测前、后气体交换室内 CO<sub>2</sub> 浓度差( $\times 10^{-6}$ ); $V$  为气体流量(L/min); $A$  为体积(cm<sup>3</sup>)或重量(g);44 为每 mol CO<sub>2</sub> 重量(g);22.4 为标准状态下,每 mol CO<sub>2</sub> 气体体积(L); $T$  为测定时温度(℃); $P$  为测定时大气压(Pa);101325 是标准大气压(Pa); $R$  为呼吸速率 CO<sub>2</sub>(mg/(m<sup>3</sup>·min))或(mg/(kg·min))。

### 2.5 杉木人工林生物量计算模型

根据中国科学院会同森林生态试验站已有的资料,选择杉木人工林的生物量模型为<sup>[11]</sup>:

$$W = A(D^2H)^B$$

式中, $D$  为林木的胸径(cm); $H$  为树高(m); $W$  为生物量(kg)。

### 2.6 树干、树枝和树根直径频度分布

木质器官的呼吸速率与其粗度密切相关,因此,为了推算整个林木呼吸量,必须测定每个粗度(径级)的呼吸速率,而不能简单地用某一平均值去推算<sup>[5]</sup>。对杉木木质器官具体分级标准参考<sup>[12]</sup>,研究表明,林木木质器官的直径级与其总长度的关系遵从幂函数方程<sup>[13]</sup>,即:

$$f(x) = kx^{-a} \quad (1)$$

式中,  $f(x)$  为直径级  $x$  的总长度,  $k$  和  $\alpha$  分别为常数。

## 2.7 单株杉木呼吸量的计算

根据单株杉木的胸径、各器官的生物量、直径频度分布、呼吸速率、木质器官的最大和最小直径等有关因子推算单株杉木的呼吸量。即根据已测出的有关参数,以管道模型理论为基础,用积分方法推导出杉木各木质器官呼吸量的计算公式为<sup>[14]</sup>:

$$R = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} AD^B K' \Phi(D) D^2 dD = KK' A \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^{2-a+B} dD = \frac{W(3-a)}{D_{\max}^{3-a} - D_{\min}^{3-a}} \times \frac{A}{3-a+B} \times D^{3-a+B} \Big|_{D_{\min}}^{D_{\max}} \quad (2)$$

式中,  $W$  为木质器官的鲜重值(kg/株),  $D$  为各木质器官的直径(cm),  $A$ 、 $B$  和  $\alpha$  分别为常数,  $R$  为 kg/(株·a)。

单株杉木叶片呼吸量可由下式计算:

$$R = R_2 W_L \quad (3)$$

式中,  $R$  为叶片的年呼吸量(kg/(株·a)),  $R_2$  为叶片的呼吸速率(mg/(kg·min)),  $W_L$  为单株杉木叶片总鲜重(kg/株)。

## 2.8 杉木群落呼吸量的计算

根据林分中立木调查资料算出立木各器官的鲜重、木质器官的最大和最小直径,连同已算出的  $A$ 、 $B$  和  $\alpha$  等参数,由(2)式、(3)式计算出整个杉木林的总呼量。

## 3 结果与分析

### 3.1 木质器官直径分布规律

对杉木树干、树枝和树根的直径进行分级并测定各径级的总长度,利用公式(1),计算出杉木枝和根的  $\alpha$  值(表1)。树干部分,由于其原木形状近似于圆锥体,所以  $\alpha$  值近似于 0,枝的  $\alpha$  值为 1.87,根的  $\alpha$  值为 1.52。为计算方便,取枝的  $\alpha$  值为 2,根的  $\alpha$  值为 1.5。

### 3.2 杉木树干呼吸

#### 3.2.1 杉木树干呼吸的季节变化规律

森林与大气的  $\text{CO}_2$  交换过程是通过光合作用和呼吸作用来实现的。不同的季节,树木的这种交换能力不一样。从其呼吸作用来看(图1):20年生杉木树干呼吸速率的季节变化表现为3~7月份随着树木生长和气温的升高,树干呼吸呈上升的趋势,在7月份达年呼吸速率的最大值,为  $0.376 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ 。8月至12月呈逐渐递减的趋势,在1月份至3月份树干呼吸基本上维持在一定数值上。

对于树木的呼吸,很多学者试图从生理上把它分为生长呼吸(由于树木的生长活动所引起)和维持呼吸(由于树木体内活细胞的生理活动所引起),并探讨不同的方法来区分不同森林类型的生长呼吸和维持呼吸的大小<sup>[8, 15~17]</sup>。目前,较为常用的一种方法是认为树木在每年的10月底以后树木基本上停止生长,此时至来年的2月份的树干呼吸基本上是由于树木体内现有活细胞的生理活动所引起的,把这时的呼吸,看成为树木的维持呼吸<sup>[17]</sup>。因此,采用这种方法来区分树干的两种呼吸大小的话,杉木的生长呼吸最低值在10月,为  $0.136 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ ,杉木树干的维持呼吸为  $0.065 \text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ ,占年呼吸的 39.7%。

#### 3.2.2 杉木树干呼吸的日变化规律

图2描述了20年生杉木在6月、8月和11月份3个月树干呼吸的日变化规律:一天中杉木树干呼吸基本上随着温度升高而增大,随着温度降低而减小,中午前后出现午休现象。在树干呼吸日变化曲线中出现两次高峰期,一次是在12~16h,另一高峰出现22~24h,这与杉木叶片中叶绿素含量一日内有两个高峰极为相似<sup>[11]</sup>。

从6月份的曲线来看,其日变化图要比11月份复杂,并且其出现第一次峰值的时间也相应的比其它月份要早。这可能与这一时期杉木的生理活动状况有关。6月份是杉木生长的活跃时期,有较强的光合作用能力,并且需要把光合产物运输到树木最大的碳贮存库——根中,在这一过程中,树干韧皮部无疑扮演着非常重要的角色,这一部分的呼吸,既辅助物质运输,同时又为树干的增粗、新枝的伸长和增粗运输大量的能量。实际上这一时期的呼吸,不仅有生长呼吸,而且维持呼吸的量也不少,因此,此

表1 会同杉木样本的测树因子及与呼吸计算有关的参数

Table 1 Parameters of every organs of present tree in Huitong

器官 Organs	$D_{\min}$	$D_{\max}$	$\alpha$ 值 $\alpha$ Value	湿干比 Fresh/Dry	生物量(kg) Biomass
树干 Stem	0.5	20.6	0	$2.742 \pm 0.04$	58.98
树枝 Branch	0	2.2	1.8706	$1.926 \pm 0.02$	30.66
树根 Root	0	3.6	1.5204	$2.88 \pm 0.01$	17.80
树叶 Leaf				$2.518 \pm 0.02$	8.45
球果 Fruit				$2.568 \pm 0.03$	0.66
树皮 Bark					9.44

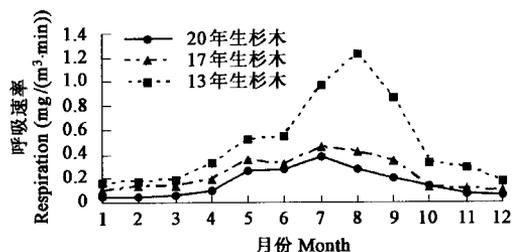


图1 不同年龄杉木树干呼吸变化

Fig. 1 Month changes of stem respiration in different age of Chinese fir

时的变化曲线图就显得相对复杂。

另外,从其白天和夜晚的呼吸比来看,杉木在6、8和11月白天的呼吸分别占一天中总呼吸的62%、56%和54%。平均来看一天树干光呼吸和暗呼吸之比为1.33:1,因此,可以认为树干呼吸速率白天要略大于晚上的呼吸速率。

**3.2.3 杉木不同年龄阶段树干呼吸季节变化** 不同年龄的杉木树干呼吸变化趋势相似(图1):1~2月份为树干呼吸的最低值,3~7月份随着树木生长和气温的升高,树干呼吸呈上升的趋势,8月至12月呈逐渐递减的趋势。但是,不同年龄阶段杉木树干呼吸大小不同,呼吸最大值出现的时间也不同。3种年龄的杉木树干呼吸速率随着年龄的增长而呈现下降的趋势,即13年生、17年生和20年生的杉木依次递减。17年生杉木、20年生的杉木在7月份的树干呼吸达最高,CO<sub>2</sub>分别为0.453、0.376mg/(m<sup>3</sup>·min),而13年生杉木则在8月份最高,达1.227mg/(m<sup>3</sup>·min)。并且,13年生和17年生杉木维持呼吸各占年总呼吸的42.7%和47.4%,分别比20年生杉木大3%和7.7%。

**3.2.4 树干呼吸与树干边材的关系** 对20年杉木树干呼吸进行离体测定,测定的同时量测出每段树干边材占直径的比例(图3)。杉木树干的呼吸速率基本上是与树干边材的比例大小呈递增关系,尤其是边材比例在78%以上时,呼吸速率显著增加(图3)。说明边材所占的比例越大,其呼吸速率越大。同时也说明了边材中的组织活动要比心材明显,树干呼吸主要部位在杉木树干的边材部分,这与松树表现出同样的特征<sup>[18]</sup>。

### 3.3 杉木根系呼吸

根系作为初级生产者的一部分,根系的生理活动是植物进行养分循环和能量交换的重要来源。由表2可以看出,杉木不同径级根系呼吸速率,表现为细根>中根>粗根。细根呼吸速率为CO<sub>2</sub>0.5mg/(kg·min),分别为中根和粗根的2.8倍和7.1倍。说明杉木根系呼吸主要产生在细根部分,这可能与细根有较强的生理活性有关,这也从侧面证明了细根在森林生态系统物质循环和能量流动中是根系中最活跃的部分<sup>[19]</sup>。

### 3.4 杉木人工林呼吸量的计算

**3.4.1 同化器官的呼吸量** 对20年生杉木叶片的呼吸测定(测定温度为25℃)可知,其呼吸速率为1.281mg/(kg·min)。由于温度是影响植物呼吸作用的主要因子之一,植物呼吸作用随着温度等因子的变化而改变,因此,对呼吸速率的测定后,必须换算为会同年均气温条件下的呼吸速率。本文根据Van,t Hoff的反应速度-温度定律(RRT),取温度系数Q<sub>10</sub>=2进行不同温度下呼吸速率的换算<sup>[4,5]</sup>。推算出标准木叶片的年呼吸量(表3)为7.165kg/(株·a)。由此计算出杉木人工林叶片年呼吸量为7.523t/(hm<sup>2</sup>·a)。并且,杉木叶片的呼吸量占杉木年呼吸量的34.95%,根据有关报道,森林群落叶片呼吸量占总呼吸量的30%~60%之间<sup>[20,21]</sup>,本研究的结果与其基本吻合。

**3.4.2 木质器官呼吸量** 杉木各木质器官的粗度(D)与其呼吸速率R的关系可用幂函数 $R=AD^b$ 来拟合,结果如表4所示,杉木各木质器官的呼吸速率R均与其直径D的大小呈负

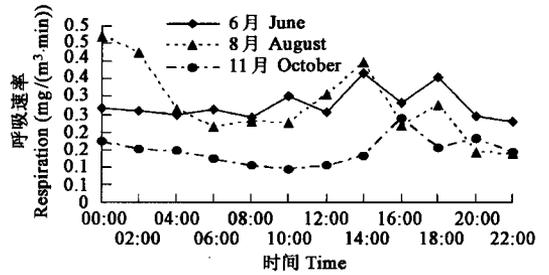


图2 杉木树干呼吸日变化

Fig. 2 Dairy changes of Chinese fir stem respiration

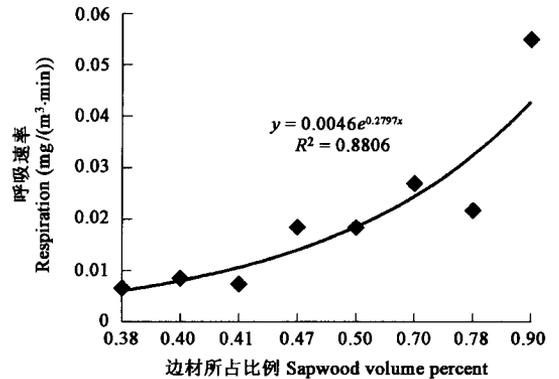


图3 杉木树干呼吸速率与边材材积关系

Fig. 3 Chinese fir stem respiration relate to sapwood volume percent

表2 杉木各径级离体根段的呼吸速率

径级 Root category	呼吸速率 Respiration (mg/(kg·min))
粗根 Large root	0.070
中根 Medium root	0.177
细根 Fine root	0.500

表3 杉木各器官年呼吸量

Table 3 The amount respiration of organs in different tree every year

器官 Organ	年呼吸量 Respiration every year (kg/(tree·a))
树干 Stem	9.208
树枝 Branch	2.106
树根 Root	2.019
树叶 Leaf	7.165
单株合计 Total/tree	20.498
单位面积合计 Total/hm <sup>2</sup> (kg/(hm <sup>2</sup> ·a))	21522.90

相关,即相同年龄木质器官呼吸速率随着木质器官直径的增大而减弱。

根据杉木人工林中各立木各器官的生物量鲜重,  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  等有关参数,计算出整个林分的总呼吸量(表 3)可知:杉木人工林的年呼吸量分别为  $21.523t/hm^2$ ,介于热带山地雨林群落呼吸量与温带辽东柞群落呼吸量之间,低于南亚热带广东马占相思林群落呼吸量<sup>[3~6]</sup>。并且,杉木树干、树枝、树根的年呼吸量分别占杉木年呼吸量的 44.92%、10.92%和 9.85%。

#### 4 结论与讨论

(1)采用开放式气路,用 CID-301PS 光合分析仪对杉木木质器官的呼吸进行了测定,建立了木质器官(树干、树根、树枝)的呼吸速率( $R$ )与其直径( $D$ )之间的回归方程分别为:树干  $R_s = 65.67D^{-2.56}$ ;树根  $R_r = 0.24D^{-0.878}$ ;树枝  $R_b = 0.067D^{-0.959}$ ,说明杉木木质器官呼吸速率( $R$ )与直径( $D$ )呈负相关性。这可能与木质器官的呼吸主要发生在韧皮部和靠近形成层的木质部有关。韧皮部和靠近形成层的木质部所占比例越大,呼吸速率也就越大。

(2)对 20 年生杉木树干呼吸速率季节变化和日变化规律进行了探讨,杉木树干呼吸速率的季节变化表现为 4、5、6、7 月份随着树木生长和气温的升高,树干呼吸呈上升的趋势,在 7 月达年呼吸速率的最大值,为  $0.376mg/(m^3 \cdot min)$ 。8 月至 12 月随着气温的下降而呈逐渐递减的趋势,1 月份至 3 月份树干呼吸基本上维持在一定数值上,这一时期杉木基本不生长,此时的呼吸基本上为维持呼吸。从其日变化来看,杉木树干呼吸与温度相关性大,但在一天中会出现两次高峰期,第 1 次是在 12:00~16:00,第 2 次是在 22:00~24:00。在杉木生长季节,尤其是在生长旺盛的 6 月份,树干呼吸的日变化相对要复杂,其出现峰值的时间也要比其它月份早。说明杉木树干呼吸不仅与温度有关,还可能与其生理活动状况(如光合作用、蒸腾作用等)、环境因素(温度、水分等)以及树干的内部构造(细胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度等)等有关。在日光合作用出现高峰时其呼吸作用也出现高峰,日光合作用出现低谷时也出现低谷。6 月份是杉木生长的活跃时期,这一时期有较强的光合作用能力,并且需要把光合产物运输到树木其它器官中,在这一过程中,树干韧皮部无疑扮演着非常重要的角色,这一部分的呼吸,既辅助物质运输,同时又为树干的增粗、新枝的伸长和增粗运输大量的能量。实际上这一时期的呼吸,不仅有生长呼吸,而且维持呼吸的量也不少,因此,此时的变化曲线图也就显得要复杂。

(3)对不同径级的离体根段呼吸速率测定,表现为:细根 > 中根 > 粗根。杉木细根呼吸速率分别为中根和粗根的 2.8 倍和 7.1 倍。说明杉木根系的呼吸主要集中在细根部份,这可能与细根有较强的生理活性有关,也从侧面证明了细根在森林生态系统的物质循环和能量流动中是根系中最活跃的部分。

(4)比较了 20 年生、17 年生、13 年生的 3 种不同年龄阶段的杉木树干呼吸速率,结果表明,树干呼吸速率的大小在杆材生长期随着林龄的增大而减小。说明杉木树干呼吸速率与其温度、生理活动有关外,还可能与树干的生长速率有关,生长速率越大,呼吸速率也越大。

(5)根据 Pipe 模型理论,采用积分方法,计算出 20 年生杉木人工林年呼吸量为  $21.523t/hm^2$ ,其中,树干、树枝、树根和树叶年呼吸量分别占杉木年呼吸量的 44.92%、10.92%、9.85%和 34.95%。由此可知,杉木树干和树叶的呼吸是杉木群落呼吸的重要组成部分。树干和树叶的呼吸不仅是森林生态系统碳平衡估算的一个重要内容,同时也是表明树木活力的一个重要指标,并初步确定 20 年生杉木维持呼吸占年总呼吸的 39.7%。

(6)对速生后期阶段的杉木树干呼吸规律进行了探讨,但对杉木木质器官呼吸规律的原因、不同发育阶段及不同经营措施下的杉木群落呼吸还有待于进一步研究。

#### References:

- [1] Goodwin R H and Gooddard D R. The oxygen consumption of isolated woody tissues. *American Journal of Botany*, 1940, **27**:234~237.
- [2] Koizumi H. Effect of carbon dioxide concentration on microbial respiration in soil. *Ecological Research*, 1991, **6**:227~232.
- [3] Fang J Y, Wang X K, Liu G H. Measurement of respiration rates of *Quercus liaotungensis* in the mountain of Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(3): 235~244.
- [4] Li Y D, Wu Z M, Zeng Q B, et al. Measurement for respiration of tropical mountain rain forest in Jianfengling, Hainan Island. *Forest Research*, 1997, **10**(4): 348~355.
- [5] Zeng X P, Peng S L, Zhao P. Measurement of respiration amount in artificial *Acacia mangium* forest in a low subtropical hill forest region of Guangdong. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(4): 420~424.
- [6] Fang J Y. An approach to estimating respiration of forest community and its application. *Acta Botanica Sinica*, 1999, **41**(1): 88~94.

表 4 杉木各木质器官呼吸速率( $R$ )与其直径( $D$ )大小回归关系式

Table 4 The regression equation ( $RE$ ) of respiration rates in woody organs of Chinese fir and their diameters

器官 Organs	回归方程 $RE$	确定系数 $R$ square	$A$	$B$
树干 Stem	$R = 65.67D^{-2.56}$	0.97	65.67	-2.56
树枝 Branch	$R = 0.006D^{-0.959}$	0.82	0.006	-0.959
树根 Root	$R = 0.24D^{-0.878}$	0.93	0.24	-0.878

- [7] Nelson T Edwards, Paul J Hanson. Stem respiration in a closed-canopy upland oak forest. *Tree Physiology*, 1996, **16**: 433~439.
- [8] Xu M, Debiase T A, Qi Y. A simple technique to measure stem respiration using a horizontally oriented soil chamber. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, **30**: 1555~1560.
- [9] Will R E, Barron G A, Burkes E C. Relationship between intercepted radiation, net photosynthesis, respiration, and rate of stem volume growth of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different densities. *Forest Ecology and Management*, 2001, **154**: 155~163.
- [10] Zhang Z P, He D Y, Ao H X. The biomass and solar energy utilization efficiency in *Zenia insignis* forest. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(6): 502~509.
- [11] Chen C Y, Liao L P, Wang S L. *Ecology of Chinese fir plantation*. Beijing: Science Press, 2000.
- [12] Fang X, Tian D L, Xiang W H. Density, storage and distribution of carbon in Chinese fir plantation at fast growing stage. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, **38**(3): 14~19.
- [13] Yoda K. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand III. Community respiration. *Nature & Life in SE Asia*, 1967, **5**: 83~148.
- [14] Yoda K, Shinozak, Ogana H. 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.
- [15] Lavigne M B. Comparing stem respiration and growth of jack pine provenances from northern and southern locations. *Tree Physiology*, 1996, **16**: 847~852.
- [16] Lavigne M B, Franklin S E, Hunt E R. Estimating stem maintenance respiration rates of dissimilar balsam fir stands. *Tree Physiology*, 1996, **16**: 687~695.
- [17] Stockfors J, Linder S. Effect of nitrogen on the seasonal course of growth and maintenance respiration in stems of Norway spruce trees. *Tree Physiology*, 1998, **18**: 155~166.
- [18] Michelet P, Gartner B, Harmon M E. Respiration potential in sapwood of old versus young ponderosa pine trees in the Pacific Northwest. *Tree Physiology*, 2002, **22**: 105~166.
- [19] Fahey T J, Hughes J W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest, NH. *Journal of Ecology*, 1994, **82**: 533~548.
- [20] Yoda K. Estimation of community respiration. In: Kira, T., Y. Ono & T. Hosokawa eds. *Biological production in a warm-temperate evergreen oak forest of Japan: JIBP synthesis*. Tokyo: University of Tokyo Press, 1978. **18**: 112~132.
- [21] Yoda K. Community respiration in a low land rain forest in Pasoh Peninsular Malaysia. *Japanese Journal of Ecology*, 1983, **33**: 183~193.

#### 参考文献:

- [3] 方精云, 王效科, 刘国华. 北京地区辽东栎呼吸量的测定. *生态学报*, 1995, **15**(3): 235~244.
- [4] 李意德, 吴仲民, 曾庆波. 等. 尖峰岭热带山地雨林群落呼吸量初步测定. *林业科学研究*, 1997, **10**(4): 348~355.
- [5] 曾小平, 彭少麟, 赵平. 广东南亚热带马占相思林呼吸量的测定. *植物生态学报*, 2000, **24**(4): 420~424.
- [6] 方精云. 森林群落呼吸量的研究方法及其应用的探讨. *植物学报*, 1999, **41**(1): 88~94.
- [10] 张祝平, 何道泉, 敖惠修. 任豆林的生物量和光能利用率. *植物生态学报*, 1996, **20**(6): 502~509.
- [11] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙. *杉木人工林生态学*. 北京: 科学出版社, 2000.
- [12] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布. *林业科学*, 2002, **38**(3): 14~19.