

南亚热带森林群落演替过程中 林下土壤的呼吸特征

杨清培^{1,3}, 李鸣光², 王伯荪²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁沈阳 110015; 2. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275; 3. 广州职工大学图书馆, 广东广州 510900)

摘要: 采用 CI-310 便携式光合作用系统及其附件, 测定了广东省黑石顶自然保护区南亚热带森林演替系列中的马尾松林和松阔混交林林下土壤的呼吸速率。测定结果显示: 在自然条件下, 马尾松林土壤呼吸速率在 $1.650 \sim 4.0 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 松阔混交林土壤呼吸速率在 $1.70 \sim 3.950 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间。林下土壤呼吸速率与温度和土壤空气相对湿度可用拟合, 据此并结合当地气象资料推算出马尾松林和松阔混交林的年均土壤呼吸量分别为 $31.027, 36.629 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$, 后者高于前者。

关键词: 土壤呼吸; 南亚热带; 演替群落

中图分类号: Q948.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)05-0443-07

Study on soil respiration of the lower subtropical successive forest communities

YANG Qing-pei^{1,3}, LI Ming-guang², WANG Bo-sun²

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110015, China; 2. School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 3. Library office, Guangzhou Worker's University, Guangzhou 510900, China)

Abstract: The measurement of soil respiration rate was carried out by CD-310 portable photosynthesis system and its appendixes in two successive forests serial, coniferous forest (*Pinus massoniana* forest) and coniferous broad-leaved mixed forest (*P. masoniana-Schima surperba-Castanopsis kawakamii* forest), of the lower subtropical vegetation in Heishiding Natural Reserve, Guangdong, China. The results showed that soil respiration rate of coniferous forest was $1.650 \sim 4.0 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and $1.70 \sim 3.950 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for coniferous broad-leaved mixed forest under natural conditions. The relationship among the soil respiration rate (SRR), soil temperature and soil relative humidity were obtained as. And this function was used to estimate annual soil respiration amount of these two forests according to local meteorological records. As a result, the annual soil respiration amount was estimated as $31.027 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$ for coniferous forest, and $36.629 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$ for coniferous broad-leaved mixed forest, the later was higher than the former.

Key words: soil respiration; subtropical forest; successive community

CO₂ 是引起全球变化的最重要的温室气体, 监测 CO₂ 在陆地生态系统中的吸收与排放过程和浓

收稿日期: 2003-09-22 修订日期: 2003-12-24

基金项目: 国家自然科学基金重大项目资助(39899370)

作者简介: 杨清培(1970-), 男, 湖南新晃县人, 博士, 讲师, 主要从事群落生态学, 能量生态学方向的研究。E-mail: yangqingpei@Tom.com

度变化规律,可以明确陆地生态系统在全球碳循环过程中的作用及对全球变化的贡献(陈庆强等,1998;孙向阳等,2001)。土壤特别是森林土壤在全球碳平衡中起着极其重要的作用,占陆地面积很大比例的森林土壤不仅是 CO₂ 重要的源,而且支持着地球上最大的 C 贮存库——森林(吴仲民等,1997)。森林土壤中的碳占全球土壤有机碳的 73% (Sedjo,1993),由此可见,精确测定森林土壤与大气之间的 CO₂ 交换,进而通过人工调节来减少其释放或促进其吸收具有重要的理论和现实意义。近几十年来,在这方面人们进行了大量的研究工作,但大多数的工作进行是多在温带和热带地区进行(Andrew 等,1987;Ivan 等,1993;Kucera 等,1971;刘绍辉等,1998;Raich 等,1992;孙向阳等,2001;Toland 和 Zak,1994;吴仲民等,1997),而在其他地方,特别是中国南亚热带森林生态系统很少开展这项工作,为此本研究试着增补全球系统观测低纬度数据的目的,测定了广东省黑石顶自然保护区马尾松针叶林和松阔混交林的林下土壤的呼吸速率和年呼吸量,为进一步推动我国乃至世界全球气候变化的预测提供参考。

1 研究地区的自然概况

黑石顶自然保护区位于广东省西部的封开县境内,毗邻广西梧州,地处南亚热带北缘,地理位置 23°27' N,110°53' E,面积 4 000 hm²。地质构造以泥盆纪花岗岩为主,地形起伏较大,东南高西北低,属低山山地地貌。一般海拔在 150~700 m 之间,主峰黑石顶海拔高度为 927 m(施苏华,1987;王伯荪等,1987),研究样地保护区管理处(七星附近)海拔 250~280 m。年平均气温 19.6 °C,最冷月(1月)平均气温 10.6 °C,最热月(7月)平均气温 28.4 °C,极端最低和最高气温分别为-6.1 °C 和 38.8 °C;无霜期 297 d,年降雨量 1 743.88 mm,其中 4~9 月为雨季,占全年降雨量的 79%,10~3 月为旱季,降雨量仅占 21%;蒸发量为 1 329.8 mm。全年大部分时间相对湿度大于 80%,因此,该地气候属南亚热带湿润季风气候。土壤主要是红壤和山地黄壤,红壤分布在海拔高度 750 m 以下,海拔 750 m 以上为山地黄壤。因植被覆盖好,水土流失少,枯枝落叶多,腐殖质丰富,土层较厚,土壤发育良好。海拔 880 m 以上分布着山地草甸土。黑石顶自然保护区

的地带性植被为南亚热带低山常绿阔叶林,部分地段分布有马尾松林、松阔混交林,局部分布次生性灌丛(侯庸等,1997;王伯荪等,1987)。

2 研究方法

2.1 实验方法

本实验在 2000 年 5、12 月,采用 CI-310 型便携式光合作用系统及其附件,分夏、冬两季分别对广东黑石顶自然保护区南亚热带森林群落演替系列中的马尾松针叶林(*Pinus massoniana* forest)和松阔混交林(*Pinus masoniana-Schima surperba-Castanopsis kawakamii* forest)土壤呼吸速率进行测定,两样地每次分别随机选择 5 个样点,每个样点连续测定 3 min,然后取其均值,从上午 7:00 到下午 19:00,基本上每间隔 2 h 测定 1 次。

测定前,首先剪去地表草本和灌木的地上部分,再将土壤呼吸室慢慢插入土层 5 cm,砸实壁外土壤以防漏气(刘绍辉等,1998)。测定工作采用封闭式气路测定林下土壤呼吸速率、土壤温度和林下气温,同时采用开放式气路测定,它可测定土壤呼吸速率、土壤空气相对湿度、林下空气相对湿度、土壤 CO₂ 浓度和林下 CO₂ 浓度、土壤温度和林下气温。土壤呼吸室为不锈钢制成,室内还内置两个微型电风扇散热,认为土壤呼吸室内的温度就是被测土壤温度。通过多次实验也证明封闭式气路测定结果较为稳定,这时测到的呼吸速率为土壤微生物、地表植物的根、土壤小动物的呼吸以及非生物学含碳物质的化学氧化作用所释放 CO₂ 的总速率(刘绍辉等,1998;Neilson 和 Pepper,1990;吴仲民等,1997)。

2.2 数据处理

实验数据用 EXCEL、SPSS 和 MATLAB 软件处理。

3 结果与讨论

3.1 演替群落林下土壤呼吸的日进程

因 CI-310 便携式光合作用系统不能接触雨水,在 2000 年 5、12 月,选择晴天,分别采用封闭式气路测定马尾松林和松阔混交林的土壤呼吸速率及土壤温度和采用开放式气路测定了土壤空气相对湿度的日进程(图 1)。

土壤呼吸速率与土壤温度变化的一致性,即土

壤呼吸速率的最高峰值大致发生在土壤温度的最高时刻,一般出现在下午 14:00~15:00 左右,其最低点也是土壤温度的最低点,因没有晚上测定,所以早上 7:00 土壤温度最低,此时土壤呼吸速率也最低。尽管如此,不同林型的土壤呼吸速率和土温的日进程还存在些差异:7:00~13:00 马尾松林的土温和呼吸速率比松阔混交林要低,在夏季,马尾松林土温和土壤呼吸速率的平均最小值分别为 20.8 °C 和 2.70 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,松阔混交林土温和土壤呼吸速率的平均最小值分别为 21 °C 和 3.00 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,但到了下午 15:00 左右前者的土温和呼吸速率一般反而比后者高,前者分别为 24.5 °C 和 4.0 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,后者分别为 24.3 °C 和 3.95

$\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。在冬季,晴天的情况与夏季基本一样,马尾松林土壤呼吸速率最小值和最大值分别为 1.65 和 1.85 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,松阔混交林的最小值和最大值分别为 1.70 和 2.0 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,说明林地土壤呼吸速率受群落结构的影响。在夏季马尾松林和松阔混交林全天的呼吸速率为 3.17 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 3.29 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,冬季二者分别为 1.75 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 1.85 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。另外,随时间进程土壤空气相对湿度的最大值一般出现在早晨,有时竟高达 100%,到 12:00 左右降到最低,下午又再慢慢增加。不论是夏季晴天还是冬季晴天,松阔混交林的土壤空气平均相对湿度都比马尾松针叶林的要高。

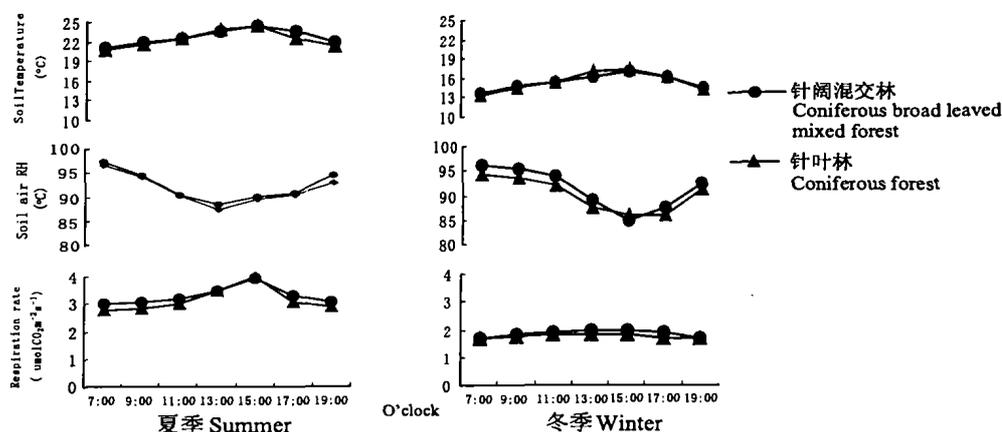


图 1 黑石顶自然保护区马尾松林和松阔混交林土温(T_{soil})、土壤空气相对湿度($RH_{\text{soil air}}$)和土壤呼吸速率(R)分别在夏季(左)和冬季(右)的日变化

Fig. 1 Daily changes of soil temperature, soil air relative humidity and soil respiration rate during summer (left) and winter (right) under coniferous forest and coniferous broad-leaved mixed forest in Heishiding Natural Reserve

3.2 土壤呼吸速率与环境因子的关系

将针叶林和松阔混交林夏、冬两季各时实测数据收集汇总,用 SPSS、Matlab 等软件,分别统计分析两群落样地的土壤呼吸速率与土壤温度和土壤空气相对湿度,以及土壤呼吸速率与林下气温和林下空气相对湿度之间的关系(Ivan 等,1993;Reiners,1968),并绘制成散点图(图 2、3)。

土壤呼吸速率与温度、土壤空气相对湿度之间的关系点构成一条有规律的曲线,土壤温度 $<15^{\circ}\text{C}$ 或林下气温 $<18^{\circ}\text{C}$ 时,呼吸速率随温度增加不很明显,但 $>15^{\circ}\text{C}$ 或林下气温 $>18^{\circ}\text{C}$ 过后,可能是温度较高时土壤湿度会增加(Reiners,1968),呼吸速率

随温度增加的趋势就异常突出,这很符合指数增长规律,用最速下降法,可按非线性函数拟合得出土壤呼吸速率与土壤温度和土壤空气相对湿度的关系以及土壤呼吸速率与林下气温和林下空气相对湿度的关系及其各项参数(表 1)。

3.3 年土壤呼吸量的计算

3.3.1 月均土壤呼吸速率 因土壤温度或林下气温和林外气温不能同步测定,而我们在讨论全球各地区的土壤呼吸量时,一般是在本地区的大气候而不是系统小气候,因此为了利用有关气象部门的气象资料,推算黑石顶自然保护区各森林类型的土壤呼吸量,我们找出林外气温与林下气温(或土温)的关系,

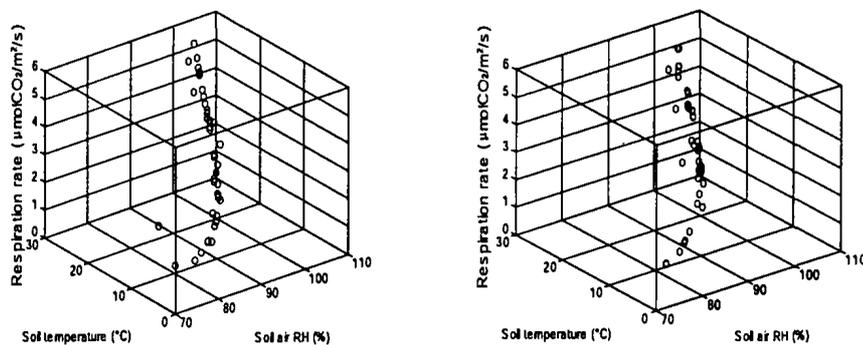


图 2 黑石顶自然保护区森林土壤呼吸速率与土壤温度、土壤空气相对湿度的关系
 Fig. 2 Relationship among the soil respiration rate, soil temperature and soil air relative humidity in Heishiding Natural Reserve
 a. 马尾松林 Coniferous forest; b. 松阔混交林 Coniferous broad-leaved mixed forest.

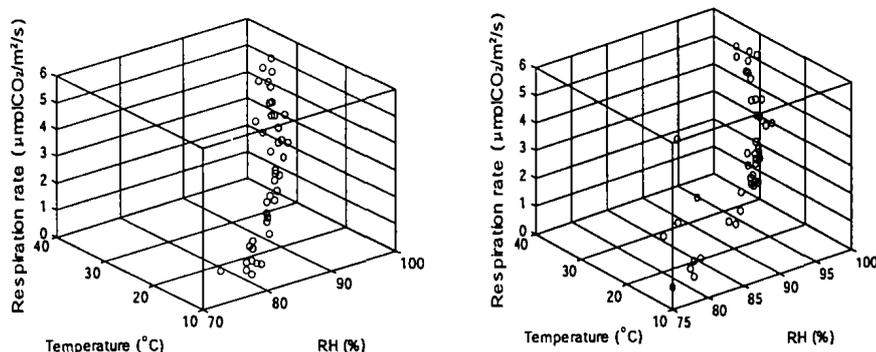


图 3 黑石顶自然保护区马尾松林土壤呼吸速率与林下温度和林下空气相对湿度的关系
 Fig. 3 Relationship among the soil respiration rate, air temperature and air relative humidity in coniferous forest in Heishiding Natural Reserve
 a. 马尾松林 Coniferous forest; b. 为松阔混交林 Coniferous broad-leaved mixed forest.

表 1 黑石顶自然保护区马尾松林和松阔混交林土壤呼吸速率与土壤温度、土壤空气相对湿度或林下气温、林下空气相对湿度的多元回归结果
 Table 1 Results of multiple regression analysis on soil respiration rate of two forests in Heishiding Natural Reserve

表达式 Models	林型 Forests	参数 Parameters			相关系数 Coefficients (R ²)
		A	B	C	
$R = EXP(A + B \times T_{soil} + C \times RH_{soil})$	马尾松林 C. F	-3.779 1	0.071 8	0.035 1	0.852 4**
	松阔混交林 M. F	-1.980 7	0.071 6	0.017 1	0.885 5**
$R = EXP(A + B \times T_{air} + C \times RH_{air})$	马尾松林 C. F	-7.335 6	0.014 6	0.088 5	0.826 5**
	松阔混交林 M. F	-2.528 0	0.056 6	0.025 3	0.814 2**

注: ** P < 0.01 极显著 Significantat; 表中, R 为土壤呼吸速率 Soil respiration (µmolCO₂ m⁻² s⁻¹); T_{soil} 为土壤温度 Soil temperature (°C); RH_{soil} 为土壤空气相对湿度 Soil air relative humidity (%); T_{air} 林下气温 Temperature in forest (°C); RH_{air} 林下空气相对湿度 Relative humidity in forest (%); A, B, C 为各项常数 Constants; C. F is coniferous forest; M. F is coniferous broad-leaved mixed forest.

林外空气相对湿度与林下空气相对湿度(土壤空气相对湿度)的关系,及其各关系式的各参数结果(表 2)。

由表 1,2 得出黑石顶自然保护区马尾松林和松阔混交林各自的土壤呼吸速率表达式,如(1),(2)

$$R'_C = EXP(-8.133 6 + 0.064 6 \times T_{air} + 0.088 5 \times RH_{air}) \dots\dots\dots (1)$$

$$R'_M = EXP(-2.428 0 + 0.056 6 \times T_{air} + 0.025 3$$

$\times RH_{out}$) (2) 阔混交林呼吸速率, T_{out} 林外温度, RH_{out} 林外空气相
 在(1)、(2)式中, R'_C 马尾松林呼吸速率, R'_M 松 对湿度。

表 2 黑石顶自然保护区林下气候因子与林外气候因子的关系
 Table 2 Relationships between outside forest meteorological factors and inside ones

环境因子 Environmental factors	林型 Forests	表达式 Function	参数 Parameters		相关系数 Coefficients (R ²)
			A	B	
温度 Temperature	针叶林 C, F	$T_{in} = A \times T_{out} + B$	0.815 5	2.561 5	0.882 6**
	混交林 M, F		0.798 2	2.896 3	0.910 4**
相对湿度 R. H.	针叶林 C, F	$RH_{in} = RH_{out} A \times RH_{out} + B$	0.004 0	0.583 0	0.921 5**
	混交林 M, F		0.002 2	0.777 0	0.897 7**

注: ** $P < 0.01$ 极显著 Significantat; 表 2, T_{in} 为林下温度 Temperature in forest(°C); T_{out} 为林外温度 Temperature out of forest(°C); RH_{in} 林内空气相对湿度 Air relative humidity in forest(%); RH_{out} 为林外空气相对湿度 Air relative humidity out of forest(%); A, B 为各项系数 Constants C, F is coniferous forest; M, F is coniferous broad-leaved mixed forest.

由 1995~1999 年封开县气象局 5 年的气象资料结合(1),(2)式计算得到黑石顶自然保护区马尾松针叶林与松阔混交林土壤各月平均气温和平均相对湿度条件下的平均呼吸速率(图 4)。

高,究其原因可能是因为松阔混交林林下微气候比马尾松林温暖潮湿,土壤有机质丰富,凋落物数量多,阔叶落叶比针叶落叶更易分解,土壤微生物和土壤小动物的活动较强(刘文耀等,2000;Reiners,1986;Weber,1990;徐小牛等,1997;张家武等,1993)。

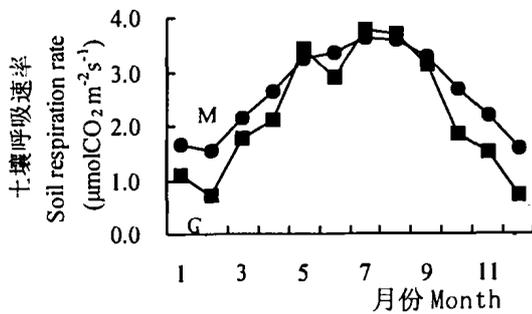


图 4 黑石顶自然保护区针叶林和松阔混交林土壤月平均呼吸速率

Fig. 4 Mean soil respiration rates against month on coniferous forest and coniferous broad-leaved mixed forest in Heishiding Natural Reserve
 M-针阔混交林 Mixed forest; C-马尾松针叶林 Coniferous forest.

由图 4 可以发现,不同月份两群落样地土壤的呼吸速率是不同的,二月因月均温度最低,湿度最小,所以土壤平均呼吸速率最小,马尾松林为 0.707 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,松阔混交林为 1.558 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,后者大于前者。随着季节的变化、雨季的来临,气温逐渐升高,降水逐渐增加,土壤含水量不断增多,土壤呼吸不断增强,到 7、8 月份达到峰值,此时二者分别为 3.755、3.716 和 3.634、3.603 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$,如按年均计算,二者平均呼吸速率为 2.225 和 2.634 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

松阔混交林土壤平均呼吸速率要比马尾松林要

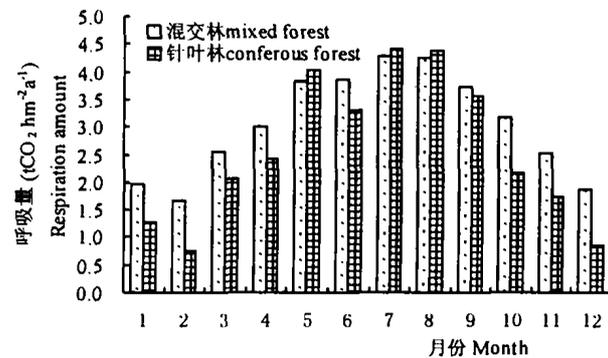


图 5 黑石顶自然保护区马尾松林和松阔混交林土壤各月平均呼吸量

Fig. 5 Mean soil respiration amount from needle forest and mixed forest against in Heishiding Natural Reserve

3.3.2 月平均土壤呼吸量 各月平均呼吸速率再与时间相乘得到各月土壤呼吸量(图 5)。土壤月平均呼吸量随时间的变化规律与呼吸速率的变化规律基本一致,即 2 月份呼吸速率最低,时间最短(28 d),土壤呼吸量最少,马尾松林和松阔混交林土壤呼吸量分别仅为 0.753 $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$ 和 1.658 $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$,分别只占全年呼吸量的 2.43%和 4.53%,而 7、8 月份呼吸速率大增,时间也最长(31 d)所以其呼吸量也就最大,马尾松林和松阔混交林土壤呼吸量分别为 4.426、4.379 $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$ 和 4.282、4.246 $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$,

分别占全年呼吸量的 14.27%、14.12% 和 11.69%、11.59%。黑石顶自然保护区马尾松针叶林年均土壤呼吸量 $31.017 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$, 月均 $2.585 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$, 同理, 可得松阔混交林样地的年均土壤呼吸量为 $36.629 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$, 月均 $3.052 \text{ tCO}_2\text{hm}^{-2}$ 。在一年 12 个月里, 不论是松阔混交林还是马尾松林土壤的呼吸速率的变化趋势基本一致, 最高峰值出现在热湿的 7、8 月份, 7 月二者分别为 ($\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$) 4.282、4.426, 8 月分别为 4.246、4.379, 最低值出现在干冷的 2 月份, 分别为 1.658 和 0.753, 说明 7、8 月份的高温高湿条件有利于土壤微生物和根系的生命活动, 而低温干燥容易抑制他们的生命活动。但两个群落土壤呼吸量的变化趋势又有差别, 即马尾松林土壤呼吸速率随时间的波动比松阔混交林剧烈, 一直比混交林低的马尾松土壤呼吸速率在 7、8 月份反而超过了松阔混交林。这种波动还可以通过其最大

值与最小值的比来反映, 马尾松林的最大值/最小值为 5.3, 而松阔混交林仅为 2.3, 相差较大。同样说明马尾松林的土壤呼吸更容易受到外界气候因子的影响 (Reiners, 1968)。

3.3.3 南亚热带与其他地区土壤呼吸的比较 本实验测得的数据与其他已发表的数据进行比较 (表 3), 为了便于比较, 我们将其他单位都转化为 $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$ 。结果发现, 随着纬度由高到低, 森林群落土壤的年呼吸量逐渐增加的趋势, 只是因为测定方法的不同或样地的选择的原因 (刘绍辉等, 1998; 孙向阳等, 2001; Kudeyarov 和 Kurganova, 1998), 这种趋势出现波动, 如本实验的松阔混交林的年呼吸量就略大于测定的海南岛热带森林的呼吸量 (吴仲民等, 1997)。但我们仍认为本研究结果比较合理。当然, 各生态系统的土壤呼吸及其规律有待进一步研究。

表 3 世界范围内一些陆地生态系土壤的年呼吸量 (单位: $\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$)

Table 3 Annual soil respiration amount of major land ecosystems in the world

编号 No.	系统类型 Ecosystems	气候带 Regions	呼吸量 Soil Respiration amount ($\text{tCO}_2\text{hm}^{-2}$)	资料来源 Data source
1	美国田纳西州栎树林 Russian Jaiga	北温带 Noth temperate	1.83~22.00	V. N. Kudeyarov, 1998
2	俄罗斯泰加林 Quercu forest in Tennessee of U. S. U.	温带 Temperate	17.5~39.05	Liu SH(刘绍辉), 1998
3	北京山地温带油松林 Pinus tablaeformis forest in Beijing mountainoustemperate	山地温带 Mountainous temperate	8.66	Liu SH(刘绍辉), 1998
4	北京山地温带白桦林 Betula platyphyila forest in Beijing mountainoustemperate	山地温带 Mountainous temperate	11.32	Liu SH(刘绍辉), 1998
5	北京山地温带辽东栎林 Pucercus liaotungensis forest in Beijing mountainoustemperate	山地温带 Mountainous temperate	14.31	Liu SH(刘绍辉), 1998
6	北京温带森林(平均) Temperate forest in Beijing	温带 Temperate	25.07	Sun XY(孙向阳), 2001
7	广东南亚热带马尾松林 Lower subtropical coniferous forest in Grangdong	南亚热带 Lower subtropical	31.017	This study(本研究)
8	广东南亚热带松阔混交林 Lower subtropical coniferous broad-leaved mixedforest Guangdong	南亚热带 Lower subtropical	36.629	This study(本研究)
9	海南岛尖峰岭热带山地雨林 Tropical forest in Jianfengling of Hainan island	热带 Tropical	33.16	Wu ZM(吴仲民), 1997

4 小结与讨论

(1) 采用美国生产的 CI-310 便携式光合作用系统及其附件, 密闭式气路配合以开放式气路, 测定广东黑石顶自然保护区南亚热带马尾松林和松阔混交林土壤呼吸速率, 测定结果显示, 马尾松林土壤呼吸速率相对小于松阔混交林土壤呼吸速率, 而且前者受外界环境因子的影响要大于后者。

(2) 演替群落土壤呼吸速率 ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 随

时间变化而变化, 2 月份最低为马尾松林为 0.707, 松阔混交林为 1.558, 马尾松林土壤 8 月的平均呼吸速率达到最大值 3.755, 而松阔混交林土壤的月平均呼吸速率最大值 3.634 出现在 7 月, 全年平均计算马尾松林土壤呼吸速率为 2.585, 松阔混交林土壤呼吸速率为 3.052, 后者高于前者。可能是因为马尾松针叶林群落相对简单, 凋落物较少, 有机碳较少, 且受外界环境因子的影响要大于松阔混交林。

(3) 黑石顶自然保护区森林群落土壤呼吸速率受到环境因子的制约, 它与温度和土壤空气相对湿

度可用拟合,再在此基础上推算得出马尾松林的年均土壤呼吸量为 31.027 tCO₂hm⁻²,松阔混交林的年均土壤呼吸量为 36.629 tCO₂hm⁻²。

参考文献:

- Andrew M, Gordon Robert E, Schlentner Keith Van Cleve. 1987. Seasonal patterns of soil respiration and CO₂ evolution following harvesting in the white spruce forest of interior Alaska[J]. *Can J For Res*, (17): 304—310.
- Chen QQ(陈庆强), Shen CD(沈承德), Yi Wx(易惟熙), et al. 1998. Progresses in soil carbon cycle researches(土壤碳循环研究进展)[J]. *Advanced in Earth Science(地球科学进展)*, 13(6): 555—563 (in Chinese).
- Hou Y(侯庸), Wang BS(王伯荪). 1997. Studies on energetic ecology of the lower subtropical evergreen broad-leaved forests in Heishiding Natural Reserve(广东黑石顶自然保护区亚热带常绿阔叶林能量生态学的研究)[M]. Baoding: Hebei University Press, 11 (in Chinese).
- Ivan J. Fernandez, Yowhan Son, et al. 1993. Soil Carbon Dioxide characteristics under different forest types and after harvest[J]. *Soil sci Soc Am J*, 57: 1 115—1 121.
- Kucera CL, Kirkham DR. 1971. Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri[J]. *Ecology*, 52: 912—915.
- Kudryarov VN, Kurganova IN. 1998. Carbon dioxide emissions and net primary production of Russian terrestrial ecosystem[J]. *Biol Fertil Soils*, 27: 246—250.
- Liu SH(刘绍辉), Fang JY(方精云), Makoto Kiyota. 1998. Soil respiration of mountainous temperate forests in Beijing, China (北京山地温带森林的土壤呼吸)[J]. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)*, 22(2): 119—126 (in Chinese).
- Liu WY(刘文耀), Liu LH(刘伦辉), Jing GF(荆桂芬), et al. 2000. Decomposition of leaf litter in *Pinus yunnanensis* forest and evergreen broad-leaved forest in central Yunnan(云南松林与常绿阔叶林中枯落叶分解研究)[J]. *Acta Botanica Yunnanica(云南植物研究)*, 22(3): 298—306 (in Chinese).
- Neilson JW, Pepper IL. 1990. Soil respiration as an index of soil aeration[J]. *Soil sci Soc Am J*, 54: 428—432.
- Raich Jw. Schelesinger WH. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 44(2): 81—99.
- Reiners WA. 1968. Carbon dioxide evolution from the floor of three innesota forests[J]. *Ecology*, 49(3): 471—483.
- Sedjo RA. 1993. The carbon cycle and global forest ecosystem [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, (70): 295—307.
- Shi SH(施苏华). 1987. Studies on the flora of Heishiding Natural Reserve of Guangdong(黑石顶自然保护区植物区系研究)[J]. *Ecologic Science(生态科学)*, (1~2): 44—66 (in Chinese).
- Sun XY(孙向阳), Qiao J(乔杰), Tan X(谭笑). 2001. Flux of Carbon Dioxide (CO₂) in temperate forest soils(温带森林土壤中的 CO₂ 排放通量)[J]. *Journal of Northeast Forestry University(东北林业大学学报)*, 29(1): 34—39 (in Chinese).
- Toland DE, Zak DR. 1994. Seasonal pattern of soil respiration in intact and clear-cut northern hardwood forests[J]. *Can J For Res*, 24(8): 1 171—1 176.
- Wang BS(王伯荪), Liu X'E(刘雄恩). 1987. The characteristics of the vegetation in Heishiding Natural Reserve(黑石顶自然保护区的植被特点)[J]. *Ecologic Science(生态科学)*, (1~2): 1—18 (in Chinese).
- Weber MG. 1990. Forest soil respiration after cutting and burning in immature Aspen ecosystems[J]. *For. Eco Manage*, 31: 1—14.
- Wu ZM(吴仲民), Zeng QB(曾庆波), Li YD(李意德), et al. 1997. A preliminary research on the carbon storage and CO₂ release of the tropical forest soils in the Jianfengling, Hainan Island(尖峰岭热带森林土壤 C 储量和 CO₂ 排放量的初步研究)[J]. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)*, 21(5): 416—423 (in Chinese).
- Xu XN(徐小牛), Li HK(李宏开). 1997. Study on the growth of mixed stands of *Pinus massoniana* and *Liquidambar formosana* and its ecological benefits(马尾松枫香混交林生长及其效应研究)[J]. *Scientia Silvae Sinica(林业科学)*, 33(5): 385—393 (in Chinese).
- Zhang JW(张家武), Liao LP(廖利平), Li JF(李锦芳), et al. 1993. Litter dynamica of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* mixed forest and its effect on soil nutrients(马尾松火力楠混交林凋落物动态及其对土壤养分的影响)[J]. *Chinese Journal of Applied Ecocologl(应用生态学报)*, 4(4): 359—363 (in Chinese).

第四届国家“中文核心期刊”评定 《广西植物》再次入选

《广西植物》继 1996、2000 年连续两届入选国家“中文核心期刊”后,2004 年第四届国家“中文核心期刊”由北京大学图书馆和北京高校图书馆期刊工作研究会共同组织评选,经评定,《广西植物》再次入选,并被编入《中文核心期刊要目总览》(第四版/2004)。