

# 盆栽荷木、肖蒲桃和黄果厚壳桂幼苗对土壤 温室气体排放影响的培育实验研究

欧阳学军<sup>1,2</sup>, 周国逸<sup>1\*</sup>, 黄忠良<sup>1</sup>, 李林<sup>1,2</sup>, 史军辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 通过对土壤 65 d 的室内培养, 比较研究了种上荷木、肖蒲桃和黄果厚壳桂幼苗并受模拟酸雨淋洗 42 月的盆栽土壤温室气体 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排放的差异。结果发现, 种植肖蒲桃的土壤 CO<sub>2</sub> 排放显著大于种植荷木和黄果厚壳桂的土壤, 种植肖蒲桃和黄果厚壳桂的土壤 CH<sub>4</sub> 吸收显著大于种植荷木的土壤, 而树种对土壤 N<sub>2</sub>O 的排放影响不明显。分析表明, 土壤 CO<sub>2</sub> 的排放和对 CH<sub>4</sub> 的吸收的树种间差异并不完全由树种导致的土壤碳氮性质差异引起的, 而导致树种对 N<sub>2</sub>O 的排放无差异的原因则很复杂。

**关键词:** 温室气体; 培育实验; 荷木; 肖蒲桃; 黄果厚壳桂

**中图分类号:** Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)01-0100-06

## Effects of seedlings in pots on soil greenhouse gases emission during incubation

OUYANG Xue-Jun<sup>1,2</sup>, ZHOU Guo-Yi<sup>1\*</sup>, HUANG Zhong-Liang<sup>1</sup>,  
LI Lin<sup>1,2</sup>, SHI Jun-Hui<sup>1,2</sup>

(1. South China Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Based on 65 days indoor incubation, potential emissions of three greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O from pot soils, which were under *Acmera acuminatisima*, *Schima superba* and *Cryptocarya concinna* seedling and caught in acid rain for 42 months were studied. It was found that soil emission of CO<sub>2</sub> under *A. acuminatisima* was significantly higher than that under *S. superba* and *C. concinna*. Soil uptake of CH<sub>4</sub> under *A. acuminatisima* and *C. concinna* was significantly higher than that under *S. superba*. No statistics on species effect had been detected for N<sub>2</sub>O emission. The analysis showed that the species differences on soil emission of CO<sub>2</sub> and soil uptake of CH<sub>4</sub> did not completely come from the soil properties. And why there were no species differences on N<sub>2</sub>O emission was complicated.

**Key words:** greenhouse gases; incubation; *Schima superba*; *Acmera acuminatisima*; *Cryptocarya concinna*

土壤是大气中 3 种主要温室气体 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 最主要的源和汇。全球每年由土壤释放的 CO<sub>2</sub> 量为 68 × 10<sup>15</sup> gC, 远远高于由于燃烧而释放的 CO<sub>2</sub> 量 (5.2 × 10<sup>15</sup> gC) (Fernandez 等, 1993), 而排放

到大气中的 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 分别约有 1/3 和 2/3 来自土壤 (Houghton 等, 2001; Prather 等, 1995)。因此, 土壤对大气 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 浓度的调控起着十分重要的作用 (Mooney 等, 1987; Melillo 等, 1989)。

收稿日期: 2005-04-04 修回日期: 2005-12-28

基金项目: 中国科学院创新工程重要方向项目 (KSCX2-SW-120); 中国科学院创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01) [Supported by Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (KSCX2-SW-120; KZCX1-SW-01)]

作者简介: 欧阳学军 (1973-), 男, 湖南桂阳人, 博士生, 助理研究员, 从事森林生态系统的研究, (E-mail) ouyxj@scib.ac.cn.

\* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: gyzhou@scib.ac.cn)

土壤 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 的吸收或排放受许多土壤和环境因子包括湿度、降水、温度、通气状况、土壤质地和结构、土壤生物活性、土壤碳氮及养分状况等直接或者间接的影响。植物作为土壤形成及其物质循环的重要驱动因素,也是众多影响因素之一。已有的研究显示不同植被类型下土壤 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排放存在很大差异(杜睿等,2004;易志刚等,2003;莫江明等,2006)。然而,有关植被影响土壤 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 排放的作用以及机制的研究则很少报道。研究显示不同的树种对树冠下土壤酸度、养分状况、碳和氮的分布与矿化等改变有不同的作用(Finzi 等,1998a,b),然而有关不同树种对土壤温室气体排放影响方面的知识仍然很少。本文用室内土壤培养的方法,比较研究了种上不同树木种类幼苗的盆栽土壤温室气体 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 潜在排放的差异,为探讨植被影响温室气体排放的作用和机制提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地概况

试验在广东省肇庆市鼎湖山自然保护区(112°34' E,23°10' N)内进行,该区面积 1 145 hm<sup>2</sup>,属南亚热带季风气候,年平均气温 21.0 °C,年平均相对湿度为 80%,年平均降雨量为 1 927.3 mm,干湿季明显,4~9 月为雨季,10~次年 3 月为旱季。最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均气温分别为 12.6 °C 和 28.0 °C(黄展帆等,1982)。土壤由不同颜色、硬度与质地的砂岩、砂页岩、页岩和石英砂岩发育而成,主要土壤类型为赤红壤和红壤(何金海等,1982)。本次试验所取的土壤和幼苗均来自分布于该区内的季风常绿阔叶林,土壤为酸性强的赤红壤(何金海等,1982)。

### 1.2 土壤和幼苗的准备及盆栽处理

在季风常绿阔叶林挖取 0~10 cm 土壤,混合均匀,并称取 6 kg 装盆,共装 60 盆。在该林挖取大小相近的荷木(*Schima superba*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、肖蒲桃(*Acmera acuminatisima*)幼苗,移栽在装土的瓦盆中,每盆 1 株。幼苗成活后,各选 20 盆用于试验,按每组每种 4 盆分 5 组放置在空旷的平地上。

每种树种均有四盆分别用天然湖水及其配制成的模拟酸雨(pH 值分别为 4.40、4.00、3.52、3.05)

直接淋洗盆中的土壤,每周 1 次,每次淋洗量为 800 mL。鉴于鼎湖山污染来源状况和污染来源发展状况,模拟酸雨用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub>=1:1 的混合酸液调配而成。淋洗共进行 42 个月。

### 1.3 土壤的取样和培养

土壤用淋洗液淋洗 42 个月以后,用土钻在盆内取新鲜土约 400 g,混合均匀后挑出肉眼可见的石头和根,并过 2 mm 筛。过筛的新鲜土壤分成两份,一份用于测定土壤活性炭、氨态氮、硝态氮和土壤培养,另一份风干用于土壤 pH 值、有机碳和全氮测定。每盆一个土样。

取新鲜土壤 60 g 放入塑料小烧杯中,用蒸馏水调节土壤的含水率约为土壤饱和持水量的 60%。装土的小烧杯和一个装 10 mL 蒸馏水的小烧杯直接放入 1 200 mL 的直筒瓶(PVC 材料)中,用塑料薄膜盖口,并用橡皮圈箍紧,以保证密封不透气。装水的小烧杯放入是保证瓶内土壤的含水量比较稳定。直筒瓶密封好后,送入保温在 25 °C 左右的暗室培养。同时用 8 个直筒瓶作为空白。空白用的直筒瓶内同样放入装有 60 g 玻璃珠和 10 mL 蒸馏水的小烧杯各一个。在培养的第 5、12、20、30、45、65 d 用医用塑料注射器从直筒瓶边引出的塑料管抽取气体以测定直筒瓶内温室气体的浓度。每次抽取气体后打开塑料薄膜,同时打开暗室的门窗和开着风扇 2 h,以保证直筒瓶内的气体与外界完全交换。透气完后,密封并继续培养,其过程与开始时一样。

### 1.4 样品分析

土壤活性炭用 0.02 mol/L KMnO<sub>4</sub> 氧化比色法测定(Weil 等,2003)。氨态氮、硝态氮用 2 mol·L<sup>-1</sup> 氯化钾提取,用比色法测定(Anderson 等,1989)。土壤 pH 值用 1 mol·L<sup>-1</sup> 氯化钾浸提(水土比为 2.5:1)后用 pH 值计测定。土壤有机碳用重铬酸钾外加热氧化法(GB 7857-87)测定。土壤全氮用半微量开氏法(GB 7173-87)测定。

直筒瓶中 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 浓度用整机进口的 HP4890D 气相色谱仪测定。该仪器经中国科学院大气物理研究所专利技术改造后,可同时测定这三种气体。CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 检测器为氢焰离子化检测器(FID),检测器和分离柱的温度分别为 200 °C 和 55 °C,载气为高纯氮气,流速为 30 mL/min;N<sub>2</sub>O 检测器为电子捕获检测器(ECD),检测器和分离柱的温度分别为 330 °C 和 55 °C,载气为高纯氮气,流速为 27 mL/min。取样后 24 h 内测定完。直筒瓶中气

体的浓度减去空白直筒瓶中气体的浓度即为培养期间气体增加或减少的浓度。增加或减少表示释放或吸收该气体。所有结果以 105 °C 恒重为基准。

### 1.5 统计分析

用 SPSS11 软件进行相关分析和单因素方差 (ANOVA) 统计分析, 然后用 LSD 或 Games-Howell 多重检验法检验温室气体排放速率和累积排放量在不同时段和不同树种间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同幼苗种类的盆栽土壤性质

不同幼苗种类的盆栽土壤, 其 pH 值和碳、氮含量呈现显著性差异 (表 1)。种植荷木的土壤 pH 值显著高于 ( $P < 0.05$ ) 种植肖蒲桃和黄果厚壳桂的土壤, 活性碳、有机碳、硝态氮和全氮含量则是种植荷木的土壤显著低于 ( $P < 0.05$ ) 种植肖蒲桃和黄果厚

壳桂的土壤。土壤的氨态氮含量和碳氮比不受树种的影响。而土壤有效氮的含量显著性差异只存在于种植荷木与种植黄果厚壳桂的土壤间。这说明同样受酸雨胁迫, 种植荷木要比种植肖蒲桃和黄果厚壳桂更能减缓土壤酸化的进程, 从而促进土壤碳、氮的减少。

### 2.2 培养过程中不同幼苗种类的盆栽土壤 CO<sub>2</sub> 排放差异

在培养过程中, 种植不同幼苗种类的土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率基本上随培养时间的延长均呈不断下降的趋势 (图 1)。种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤最初 5 d (第 1 次取样) 的平均排放速率分别为 1.306、1.051 和 0.936 mg C · kg<sup>-1</sup> 干土 · d<sup>-1</sup>, 而到培养的第 46~65 天 (第 6 次取样), 其平均排放速率分别为 0.141、0.121 和 0.118 mg C · kg<sup>-1</sup> 干土 · d<sup>-1</sup>, 前后相差达 8~9 倍。CO<sub>2</sub> 排放速率随培养时间的延长而降低, 反映了培养土壤中易分解有机物

表 1 种植不同幼苗种类的盆内土壤 pH 值和碳、氮库状况

Table 1 pH value, carbon and nitrogen characteristics in soil under different seedling species

幼苗种类 Species	pH 值 pH value	活性碳 Active C (mg · kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic C (%)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg · kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效氮 Available N (mg · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (%)	C/N
肖蒲桃 <i>Acmera acuminatissima</i>	3.11 b (0.12)	1015.4 a (81.0)	2.81 a (0.33)	3.30 a (2.86)	2.80 a (1.92)	6.10 ab (2.89)	0.137 a (0.013)	20.62 a (2.32)
荷木 <i>Schima superba</i>	3.26 a (0.17)	810.4 b (570.1)	1.64 b (0.35)	3.01 a (1.31)	1.55 b (0.79)	4.56 b (1.40)	0.092 b (0.028)	18.65 a (4.76)
黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	3.15 b (0.13)	1040.0 a (80.4)	2.75 a (0.29)	3.77 a (2.71)	3.52 a (1.90)	7.29 a (3.52)	0.136 a (0.014)	20.36 a (2.55)
平均 Mean	3.17 (0.16)	955.3 (126.6)	2.40 (0.63)	3.36 (2.38)	2.62 (1.80)	5.98 (2.93)	0.122 (0.028)	19.87 (3.45)

注: 同一列标记不同字母为差异显著 ( $P < 0.05$ ), 有相同字母为差异不显著; 括号内为标准差。

Note: Values in the same column followed by different lowercase letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ), and that followed by same lowercase letters mean no differences. Data in parentheses mean S. E.

随培养的进行而减少。

培养过程中, 种植肖蒲桃的土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率基本保持最大 (除了第 6~12 天略小于种植荷木的土壤), 其次是荷木, 黄果厚壳桂最小 (图 1)。除了在第 6~12 天和第 46~65 天土壤 CO<sub>2</sub> 排放速率在不同幼苗种类间不存在显著差异外, 在第 0~30 天的 CO<sub>2</sub> 排放速率都是种植肖蒲桃的土壤显著的 ( $P < 0.05$ ) 高于荷木和黄果厚壳桂, 而第 31~45 天种植肖蒲桃和荷木的土壤都显著的 ( $P < 0.05$ ) 高于种植黄果厚壳桂的土壤。65 d 的培养, 种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤 CO<sub>2</sub> 累积排放总量分别为 28.20、23.91 和 21.00 mg C · kg<sup>-1</sup> 干土。种植肖蒲桃土壤的 CO<sub>2</sub> 累积排放量一直显著的 ( $P < 0.05$ ) 大于种植黄果厚壳桂

或种植黄果厚壳桂和荷木土壤 ( $P < 0.05$ ) (图 1)。这说明种植不同植物种类的土壤 CO<sub>2</sub> 排放不同, 种植肖蒲桃比种植黄果厚壳桂和荷木的土壤更容易释放 CO<sub>2</sub>。

### 2.3 培养过程中不同幼苗种类的盆栽土壤 CH<sub>4</sub> 排放差异

培养过程中, 种植不同幼苗种类的土壤 CH<sub>4</sub> 排放速率随培养时间变化均为 (图 2): 在培养的最初 5 d 负排放 (吸收) 速率最大 (肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂分别为 -1.195、-0.370 和 -1.540 μg · kg<sup>-1</sup> 干土 · d<sup>-1</sup>), 之后负排放 (吸收) 速率逐渐减小, 到培养第 21~30 天转为正排放, 种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤 CH<sub>4</sub> 排放速率分别为 0.301、0.223 和 0.276 μg ·

$\text{kg}^{-1}$ 干土 $\cdot\text{d}^{-1}$ ,随后又转为负排放,并逐渐减弱。

种植不同种类幼苗的土壤  $\text{CH}_4$  排放速率差异在培养最初的三个取样时段里最为明显,种植荷木的土壤  $\text{CH}_4$  吸收速率均最小,种植黄果厚壳桂的土壤吸收均最大,而种植肖蒲桃的土壤吸收速率在两者之间,且在种植荷木与肖蒲桃和黄果厚壳桂的土壤之间

呈显著性差异( $P<0.02$ )(图 2)。而在最后的三个取样时间段,虽然大小顺序发生变化,但几乎不存在统计上差异。仅在第 31~45 天,种植荷木与种植肖蒲桃的土壤存在差异显著性( $P<0.03$ )。65 d 的培养,种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤  $\text{CH}_4$  累积排放总量分别为-12.012、-0.819 和-15.360  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干

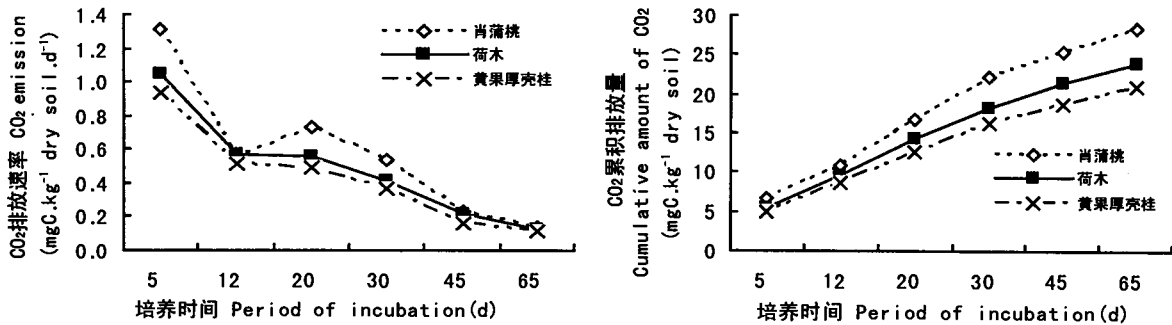


图 1 培养过程中种植不同幼苗种类的土壤  $\text{CO}_2$  排放速率和累积排放量的变化  
Fig. 1  $\text{CO}_2$  emission and cumulative release from soils under different species seedling during incubation

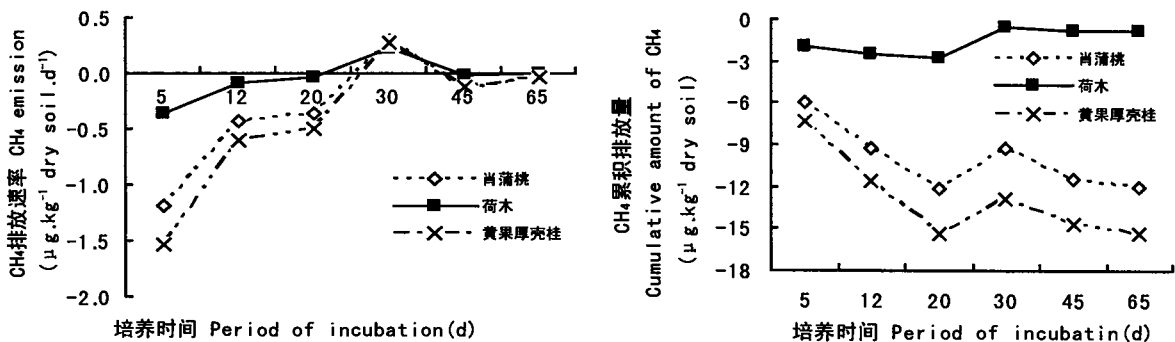


图 2 培养过程中种植不同幼苗种类的土壤  $\text{CH}_4$  排放速率和累积排放量的变化  
Fig. 2  $\text{CH}_4$  emission and cumulative release from soils under different species seedling during incubation

土,种植荷木土壤的  $\text{CH}_4$  累积排放量(负排放)一直显著大于种植黄果厚壳桂和肖蒲桃土壤( $P<0.05$ )(图 2)。这说明种植不同植物种类的土壤  $\text{CH}_4$  的排放不同,种植肖蒲桃和黄果厚壳桂比种植荷木更能促进土壤对  $\text{CH}_4$  的吸收。

#### 2.4 培养过程中不同幼苗种类的盆栽土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放差异

种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率在最初的 5 d 最大,分别为 0.329、0.209 和 0.234  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土 $\cdot\text{d}^{-1}$ ,随着培养时间的延长, $\text{N}_2\text{O}$  排放速率波动下降,到 46~65d 其排放速率分别下降到 0.057、0.033 和 0.054  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土 $\cdot\text{d}^{-1}$ ,分别为最初 5d 速率的 1/4~1/6(图 3)。其中,种植肖蒲桃的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率波动幅度最大,其在第 6~12

天的速率是第 0~5 d 排放速率的 1/23,而到第 31~45 d 的速率又上升到 0.302  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土 $\cdot\text{d}^{-1}$ ,与最初 5 d 的速率接近。而种植荷木和黄果厚壳桂的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率波动幅度较小(图 3)。

对于  $\text{N}_2\text{O}$  的排放,在整个培养过程中(除第 6~12 天外),种植肖蒲桃的土壤排放速率一直保持最大,而种植荷木和黄果厚壳桂的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  的排放速率则各有大小。但三者间  $\text{N}_2\text{O}$  的排放速率始终不存在统计上的差异性( $P>0.05$ )(图 3)。65 d 的培养,种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  累积排放总量分别 7.815、4.390 和 3.971  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土,三者间  $\text{N}_2\text{O}$  的累积排放量始终不存在统计上的差异性( $P>0.05$ )(图 3)。可见,树种对土壤  $\text{N}_2\text{O}$  的排放影响不明显。造成本实验树种间土壤  $\text{N}_2\text{O}$  的排放无差

异的原因可能是:(1)树种间本身差异不明显;(2)受不同 pH 值模拟酸雨处理的影响,树种内的差异大于树种间的差异。数据显示,在 6~12 d 和 21~30 d 种植三种树种的土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率的变异系数均大于 200%,在 46~65 d 大于 100%,而且在各个时段树种间土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率的变异系数差异也很大。

### 3 讨论

在实验中,种植肖蒲桃、荷木和黄果厚壳桂幼苗的盆栽土壤均来自季风常绿阔叶林,经过相同的模拟酸雨处理,提供了一致的培养条件,如温度、湿度和通

风等,因此,种植着不同植物种类的土壤在培养过程中温室气体排放的差异反映了植物种类对土壤温室气体潜在排放影响的差异。培养过程中,土壤产生或吸收 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等温室气体是一系列土壤微生物活动的结果,如 CO<sub>2</sub> 的产生几乎全部是土壤微生物分解土壤中的有机成分产生的(Lavelle 等,2001),土壤排放或吸收 CH<sub>4</sub> 直接与土壤产甲烷菌或甲烷氧化菌的活动紧密相关(丁维新等,2002,2003),N<sub>2</sub>O 主要来源于微生物的硝化和反硝化过程(Houghton 等,1996)。因此,土壤温室气体潜在排放的差异最终反映植物种类影响土壤性质的差异,体现出植物种类通过影响土壤性质进而影响土壤温室气体排放的实质。

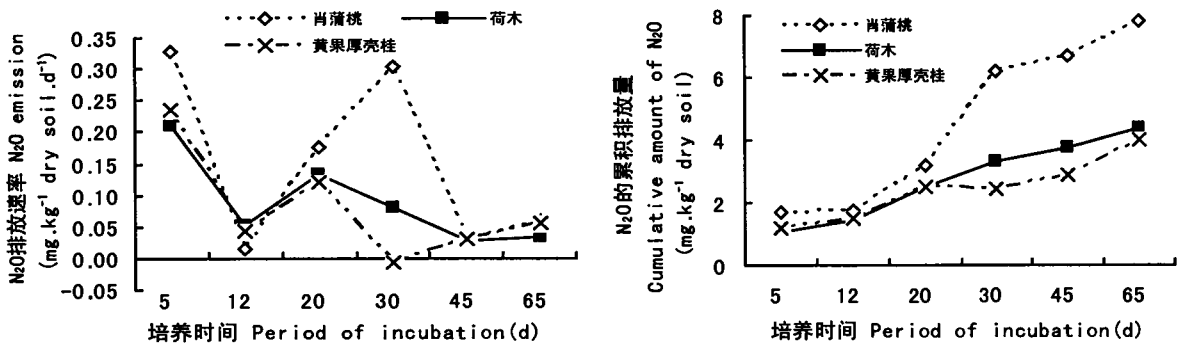


图 3 培养过程中种植不同幼苗种类的土壤 N<sub>2</sub>O 排放速率和累积排放量的变化

Fig. 3 N<sub>2</sub>O emission and cumulative release from soils under different species seedling during incubation

表 2 土壤性质与温室气体排放速率和累积排放量的相关系数 (n=60)

Table 2 Correlation coefficient between soil properties and emission as well as cumulative release of greenhouse gases (n=60)

气体排放指标 Gases emission index	气体种类 Gas species	pH 值 pH value	有机碳 Organic C	全氮 Total N	C/N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	有效氮 Available N	活性碳 Active C
第 1~5 天的排放速率 Emission rate during the first 5 d	C <sub>2</sub> O	0.186	0.314*	0.190	0.238	-0.391*	-0.192	-0.432**	0.205
	CH <sub>4</sub>	-0.204	-0.568**	-0.420**	-0.284*	0.313*	-0.599**	-0.102	-0.605*
	N <sub>2</sub> O	-0.082	0.272*	0.217	0.090	-0.043	-0.263*	-0.202	0.254
培养 65 d 的累积排放量 Cumulative amount during 65 d incubation	C <sub>2</sub> O	0.014	0.270*	0.197	0.169	-0.311*	-0.262	-0.411**	0.097
	CH <sub>4</sub>	-0.287*	-0.461**	-0.345**	-0.215	0.409*	-0.648**	-0.052	-0.524*
	N <sub>2</sub> O	-0.383*	0.057	0.129	0.113	0.262	-0.390**	-0.042	-0.006

\* 表示显著(P<0.05), \*\* 表示极显著(P<0.01)。

\* Significant differences at 0.05 level, \*\* Significant differences at 0.01 level.

通常认为,土壤有机碳和全氮含量直接或间接地决定生态系统 CO<sub>2</sub> 排放通量的变化(李明峰等,2004)。对气体排放与土壤性质作相关分析显示,CO<sub>2</sub> 前 5 d 的排放速率和 65 d 的累积排放量与有机碳含量显著正相关,与氨态氮和有效氮含量显著负相关。然而,本研究中种植肖蒲桃的土壤 CO<sub>2</sub> 排放大于种植荷木和黄果厚壳桂的土壤(图 1),似乎不能完全用表 1 中的土壤性质得到解释。因为种植肖蒲桃的土

壤有机碳含量显著高于种植荷木的土壤,但与种植黄果厚壳桂的土壤没有差异;种植肖蒲桃的土壤有效氮含量也均与种植荷木和黄果厚壳桂的土壤没有差异。这可能与树种导致土壤微生物群落组成的差异有关。Giardina 等(2001)研究发现,尽管杨树土壤碳含量高于松林土壤,但是由于松林土壤碳支持更高的真菌/细菌比,导致松林土壤释放的碳多于白杨土壤。

土壤中产 CH<sub>4</sub> 过程与消耗 CH<sub>4</sub> 过程往往同时

存在(Chan等,2000),土壤 $\text{CH}_4$ 通量是两个过程的综合。由于本次培养的土壤pH值远低于产甲烷菌发挥作用最适宜的pH值,为6.9~7.2(Wang等,1993),因此,土壤以消耗甲烷为主。虽然 $\text{CH}_4$ 前5d的排放速率和65d的累积排放量与土壤有机碳、全氮、硝态氮、活性碳含量显著负相关,与氨态氮含量显著正相关(表2),但是种植肖蒲桃和黄果厚壳桂的土壤 $\text{CH}_4$ 吸收大于种植荷木的土壤(图2)也不能由表1的土壤性质得到完全的解释。这可能也与树种导致土壤微生物群落组成的差异有关。

$\text{N}_2\text{O}$ 主要来源于硝化和反硝化等微生物过程(Houghton等,1996),其过程必然受到土壤pH、有机碳、有效氮、全氮等土壤性质的影响。相关分析显示, $\text{N}_2\text{O}$ 前5d的排放速率和65d的累积排放量与硝态氮含量显著负相关,前5d的排放速率与有机碳含量显著正相关,65d的累积排放量与土壤pH显著负相关(表2)。相关分析结果和表1中的土壤性质的差异与荷木、肖蒲桃和黄果厚壳桂幼苗栽培下土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放的相似性并不一致。本试验中的土壤性质不能清楚地解释幼苗种类栽培下土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放的相似性。这说明影响土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放的因素十分复杂。

以上分析说明树木种类或植被类型导致其土壤温室气体吸收或排放差异不仅是通过植物影响土壤有机碳和氮含量来实现的,还与其它的因素如微生物的群落组成等紧密相关。

## 参考文献:

- Anderson JM, Ingram JSI. 1989. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods[M]. England: CAB International, Wallingford, Oxford
- Chan AS, Parkin TB. 2000. Evaluation of potential inhibitors of methanogenesis and methane oxidation in a landfill cover soil[J]. *Soil Biol Biochem*, 32(11/12): 1 581-1 590
- Ding WX(丁维新), Cai ZC(蔡祖聪). 2002. Effects of soil organic matter and exogenous organic materials on methane production in and emission from wetland(土壤有机质和外源有机物对甲烷产生的影响)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 22(10): 1 672-1 679
- Ding WX(丁维新), Cai ZC(蔡祖聪). 2003. Effect of plants on methane production, oxidation and emission(植物在 $\text{CH}_4$ 产生、氧化和排放中的作用)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 14(8): 1 379-1 384
- Du R(杜睿), Huang JH(黄建辉), Wan XW(万小伟), et al. 2004. The research on the law of greenhouse gases emission from warm temperate forest soils in Beijing Region(北京地区暖温带森林土壤温室气体排放规律)[J]. *Environ Sci(环境科学)*, 25(2): 12-16
- Fernandez IJ, Son Y, Kraske CR, et al. 1993. Soil dioxide characteristics under different forest types and after harvest[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 1 115-1 121
- Finzi AC, Breemen NV, Canham CD. 1998a. Canopy tree-soil interaction within temperate forests: species effects on soil carbon and nitrogen[J]. *Ecol Appl*, 8(2): 440-446
- Finzi AC, Canham CD, Breemen NV. 1998b. Canopy tree-soil interaction within temperate forests: species effects on soil pH and cations[J]. *Ecol Appl*, 8(2): 447-454
- Giardina CP, Ryan MG, Hubbard RM, et al. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization rates[J]. *Soil Science Soc Am J*, 65: 1 272-1 279
- He JH(何金海), Chen ZQ(陈兆其), Liang YY(梁永奕). 1982. The soils of Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山自然保护区之土壤)[C]// Trop Subtrop Fore Ecosys(热带亚热带森林生态系统研究). 1: 25-38
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al. 2001. The scientific basis contribution of working group[to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change(IPCC)[R]. UK Cambridge: Cambridge University Press
- Houghton JT, Meira Filho LG, Lim B, et al. 1996. Greenhouse Gases Inventory Reference Manual[C]// ICPPWGI Technical Support Unit, Vol. 3. UK Cambridge: Cambridge University Press
- Huang ZF(黄展帆), Fan ZG(范征广). 1982. The climate of Ding Hu Shan(鼎湖山的气候)[C]// Trop Subtrop Fore Ecosys(热带亚热带森林生态系统研究). 1: 11-16
- Lavelle P, Spain AV. 2001. Soil ecology[M]. Netherlands: Kluwer academic publishers
- Li MF(李明峰), Dong YS(董云社), Geng YB(耿元波), et al. 2004. Analyses of the correlation between the fluxes of  $\text{CO}_2$  and the distribution of C & N in grassland soils(草原土壤的碳氮分布与 $\text{CO}_2$ 排放通量的相关性分析)[J]. *Environ Sci(环境科学)*, 25(2): 7-11
- Melillo JM, Steudler P, Aber JD, et al. 1989. Atmospheric deposition and nutrient cycling[C]// Andreae MO, Schimel D(eds). Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. New York: Wiley: 263-280
- Mooney HA, Vitousek PM, Matson PA. 1987. Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere[J]. *Science*, 238: 926-932
- Mo JM(莫江明), Fang YT(方运霆), Li DJ(李德军), et al. 2006. Soil  $\text{CO}_2$  emission and  $\text{CH}_4$  uptake in the main forests of Dinghushan in subtropical China(鼎湖山主要森林土壤 $\text{CO}_2$ 排放和 $\text{CH}_4$ 吸收特征)[J]. *Guihaia(广西植物)*, 26(2): 142-147
- Prather M, Derwent R, Ehhalt D, et al. 1995. Other trace gases and atmospheric chemistry[C]// Houghton L G, Meira Filho J, Bruce H(eds). Climate Change, Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press: 73-126
- Wang ZP, Lindau CW, Delaune RD, et al. 1993. Methane emission and trapment in flooded rice soils as affected by soil properties[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 16: 153-164
- Weil RR, Islam KR, Stine MA, et al. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use[J]. *Ame J Alter Agric*, 18(1): 1-17
- Yi ZG(易志刚), Yi WM(蚁伟民), Zhou GY(周国逸), et al. 2003. Soil carbon effluxes of three major vegetation types in Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山三种主要植被类型土壤碳释放研究)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 23(8): 1 674-1 679