

文章编号: 1001-1498(2006)04-0523-04

## 不同森林植被下土壤微生物量碳和易氧化态碳的比较

朱志建<sup>1</sup>, 姜培坤<sup>2</sup>, 徐秋芳<sup>2</sup>

(1. 浙江省湖州市林业局, 浙江 湖州 313000; 2. 浙江林学院环境科技学院, 浙江 临安 311300)

关键词: 森林土壤; 总有机碳; 微生物量碳; 易氧化态碳  
中图分类号: S714 文献标识码: A

### Study on the Active Organic Carbon in Soil under Different Types of Vegetation

ZHU Zhi-jian<sup>1</sup>, JIANG Pei-kun<sup>2</sup>, XU Qiu-fang<sup>2</sup>

(1. Huzhou Forestry Bureau, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstracts:** Soils under broad-leaved, masson pine, Chinese fir and bamboo forests in the area of Huzhou, Zhejiang were collected and analyzed in January 2000. Soil total organic carbon (TOC) under broad-leaved and bamboo forests were considerably higher than ( $P < 0.01$ ) those under masson pine and Chinese fir. There was no significant differences in microbial biomass carbon (MBC) in soils among various types of vegetation, however, the bamboo stands constituted a lower ( $P < 0.05$ ) proportion of MBC compared with broad-leaved forest, masson pine and Chinese fir were similar in MBC to TOC, indicating that intensive management in bamboo stand reduced the proportion of soil MBC in TOC. MBC in soils under broad-leaved forest, masson pine forest and Chinese fir forest had strong positive relationships with the corresponding TOCs, the correlation coefficients were respective 0.744 4, 0.648 4 and 0.552 1. It was found that soil easily oxidizable carbon (EOC) in bamboo forest was much higher than those in the other 3 forests. The higher percentages of EOC were detected from soils under bamboo forest (52.40%) and Chinese fir forest (50.50%) compared with broad-leaved forest (48.90%) and masson pine forest (45.74%). Soil EOC for all 4 forests were closely correlated ( $P < 0.01$ ) with the correspondent TOCs.

**Key words:** forest soil; soil total organic carbon (TOC); microbial biomass carbon (MBC); easily oxidizable carbon (EOC)

土壤碳库平衡是土壤肥力保持的重要内容<sup>[1]</sup>。不同森林类型,由于其凋落物数量、类组及分解行为不同,因而形成的土壤碳库大小与特征将存在较大差别。常绿阔叶林、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamp.)林、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林和毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)林是我国亚热带最主要的4种森林类型。

长期以来,对这4种森林植被下土壤的理化性质,土壤腐殖质品质等已进行了较多的研究<sup>[2~5]</sup>,但有关这4种森林类型下土壤碳库特别是土壤活性碳的研究几乎是空白。土壤活性碳是指土壤中移动快、稳定性差、易氧化、矿化,对植物和土壤微生物来说活性较高的那部分有机碳,常可用微生物量碳和易氧化碳等来进行表征<sup>[6]</sup>。土壤活性碳虽然只占土壤全

收稿日期: 2005-09-26

基金项目: 国家自然科学基金资助 (30271072)

作者简介: 朱志建 (1956—),男,浙江湖州人,高级工程师,从事营林、森防工作。

碳的较小部分,但它们可以在土壤全碳变化之前反映土壤微小的变化,同时它们直接参与了土壤生物化学转化过程,又是土壤微生物生命活动的能源,对土壤养分的有效化也有着十分重要的作用<sup>[7,8]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在浙江省湖州市,地处浙江省西北部,位于 30°20′~30°58′N, 119°10′~120°29′E。属于亚热带季风气候,年平均气温 16℃,极端最高气温 39℃,极端最低气温 -10.6℃,年降水量 1350 mm,大于 10℃有效积温 2750℃,无霜期 239 d。全市林业用地面积 27.02 万 hm<sup>2</sup>,其中 90%以上属于丘陵、低山地貌。土壤成土母岩主要有砂岩、粉砂岩、凝灰岩、流纹岩和花岗岩等。林地土壤类型以红壤土类、黄壤土类为主。本次研究样点全部设在红壤土类上。土壤基本性质见表 1。

表 1 4类森林植被下土壤的基本性质

林分	全 N /	水解 N	有效 P	蔗糖酶 /
	(g · kg <sup>-1</sup> )	(mg · kg <sup>-1</sup> )		(mg(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) · kg <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )
阔叶林	1.23	148.4	16.58	20.59
马尾松	0.75	94.6	4.86	16.75
杉木林	0.75	109.1	3.69	13.09
毛竹林	1.01	107.0	7.56	19.13

林分	脲酶 /	蛋白酶 /	磷酸酶 /
	(mg(NH <sub>3</sub> - N) · kg <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	(mg(NH <sub>2</sub> - N) · kg <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	(mg(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) · kg <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )
阔叶林	0.819	0.158	9.14
马尾松	0.896	0.154	12.95
杉木林	0.730	0.150	8.87
毛竹林	0.832	0.159	13.72

注: (1)表中数据为所有 20 个样地的平均值; (2)土壤全 N,凯氏法;水解 N,碱解扩散法;有效 P, Bray 法;土壤酶全部采用关松荫等<sup>[9]</sup>方法。

湖州市常绿阔叶林、马尾松林、杉木林和毛竹林均有较大面积分布,并且每一种森林类型在全市范围林地中均有不同面积出现,因而是比较研究这 4 种森林土壤状况的理想场所。本次在湖州市调查的常绿阔叶林、马尾松林、杉木林和毛竹林的基本情况如下:

常绿阔叶林:一般树龄在 20 a 以上,植被种类主要有麻栎 (*Quercus acutissima* Carruth)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* Oerst)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla* Schottky)、枫杨 (*Platycarya strobilacea* Sie-

bold)、石栎 (*Lithocarpus glabra* Nakai)、香樟 (*Cinnamomum camphora* L. Presl)。林分乔木层盖度在 50%~80%,优势树种平均胸径为 8~12 cm。

马尾松林:树龄也在 20 a 以上,马尾松平均胸径为 10~13 cm,盖度为 55%~75%,林下植被有槲木 (*Loropetalum chinensis* R. Br. Oliver)、木荷 (*Schima superba* Gardn. & Champ.)、青冈、连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、乌饭 (*Vaccinium bracteatum* Thunb)、老鼠矢 (*Symplocos stellaris* Brand)。

杉木林:主要是人工杉木林,林龄 15~25 a,平均胸径 12~18 cm,盖度 80%~100%。

毛竹林:经营历史 20 a 以上,竹子平均胸径在 10~15 cm,林分盖度在 85%以上,林下植被有:青冈栎、乌饭、木荷等。

### 1.2 采样及分析方法

2000 年 7 月中旬,在湖州市境内确定研究区 20 个,在每个研究区内分别选择常绿阔叶林、马尾松林、杉木林和毛竹林样点各 1 个,样点选好后,先初步调查地上部分植被类型、林分盖度、平均胸径等,再在每个样点典型地段采集 0~20 cm 土层土壤样品(每个样品采 3 个点,混合后作为该点样品)。土壤样品带回实验室后,分成 2 份,1 份鲜样去杂、过 2 mm 钢筛后贮藏于 4℃ 的冰箱内,采样结束后进行土壤微生物量碳测定;另 1 份风干、去杂、过筛后供土壤总有机碳、易氧化态碳含量测定。测定方法如下:土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸法<sup>[10]</sup>,熏蒸后土壤用 0.5 mol · L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液浸提,过滤后滤液在 TOC-V<sub>CPH</sub> 有机碳分析仪上测定。土壤易氧化态碳测定采用 5 mL 66.7 mmol · L<sup>-1</sup> 重铬酸钾和 5 mL 1 的硫酸溶液在 130~140℃ 的外加热条件下氧化并测定易氧化态碳,用硫酸亚铁滴定。土壤总有机碳含量采用重铬酸钾外加热法<sup>[11]</sup>。

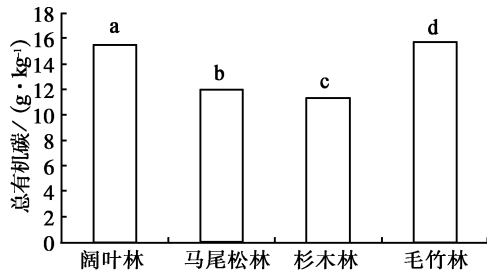
利用 Excel 和 DPS<sup>[12]</sup> 统计软件对测定结果进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤总有机碳含量的比较

图 1 显示,常绿阔叶林和毛竹林土壤总有机碳含量显著高于马尾松林和杉木林。森林土壤总有机碳含量主要决定于植被每年的归还量和分解速率,归还量大、分解速率缓慢会造成土壤积累较多有机碳。研究表明,常绿阔叶林由于生物归还量大,常使土壤有机碳含量较高,而针叶林(例如杉木、马尾松

林)土壤有机碳含量较低<sup>[2,13]</sup>。毛竹林土壤总有机碳含量高是由于毛竹特有的地下鞭系统生物量大,分布较浅,并每年都有老鞭死亡、腐烂,从而补充了土壤碳库,使表层土壤总有机碳含量增加。从这一点上讲,毛竹林土壤的自肥能力强于一般针叶林土壤。



(图中不同小写英文字母表示差异达显著水平 ( $p < 0.05$ ))

图 1 不同森林植被下土壤总有机碳含量比较

## 2.2 土壤微生物量碳含量的比较

土壤微生物量碳的高低是衡量土壤生物肥力的重要指标,地上植被类型被认为是影响土壤微生物活动的重要因子<sup>[14]</sup>。4类森林植被下土壤微生物量碳含量从平均值看是:常绿阔叶林 > 马尾松林 > 毛竹林 > 杉木林(表 2),并且阔叶林下土壤微生物明显高于其它 3 种林分,但方差分析发现,阔叶林与其它 3 种林分间无显著差异。这可能是阔叶林立地条件差异较大所致,阔叶林下土壤微生物量碳的变异系数达 57.46%,掩盖了阔叶林与其它林型的差异性。

表 2 不同森林植被下土壤微生物量碳的比较

林分	微生物量碳 / (g·kg <sup>-1</sup> )	(微生物量碳 / 总有机碳) / %	微生物量碳与总有机碳相关系数
常绿阔叶林	0.338 a	2.17 a	0.744 3**
马尾松林	0.293 a	2.46 a	0.648 4**
杉木林	0.260 a	2.30 a	0.552 1*
毛竹林	0.282 a	1.80 b	0.328 4

注: \*\*表示相关性极显著; \*表示相关性显著。表中同列数字不同字母表示差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。

研究表明,土壤微生物量碳含量常与土壤总有机碳含量关系密切,并往往是呈现显著正相关<sup>[15]</sup>。从本次研究结果看(表 2),常绿阔叶林和马尾松林土壤微生物量碳与土壤总有机碳含量相关性均达到了极显著水平,相关系数分别为 0.744 3\*\* 和 0.648 4\*\*;杉木林土壤微生物量碳与总有机碳的相关系数为 0.552 1\*,达到显著水平;而毛竹林土壤微

生物量碳与总有机碳含量的相关性不显著。常绿阔叶林和马尾松林属天然林分,无人干扰,因而土壤微生物量碳含量与总有机碳的关系体现了森林土壤的本质,即两者关系密切。杉木林虽为人工商品林,但生产上除了造林头 5 a 常有抚育、除草、施肥等人为活动外,成林后也无人干扰,因而经过 10 至 20 多年的自然生长后,林分物质循环行为逐渐接近天然林分。毛竹林则不同,除了每 2 a 1 次的采伐作业外,许多竹林每年有挖笋习惯,并近年来为了提高竹材和竹笋产量,常有去除林下灌木、杂草和深翻施用化肥等习惯,有的竹林施肥和耕作强度很大,本次采集的 20 个样地中就有近半是人为施肥经营的。人为干扰特别是强度经营会造成土壤有机质分解加快,土壤微生物活动变化,本次结果中毛竹林土壤微生物量碳与土壤总有机碳相关性不显著就说明了上述情况。

从表 2 中不同林分土壤微生物量碳占总有机碳比率来看,毛竹林土壤显著低于常绿阔叶林、马尾松林和杉木林,而常绿阔叶林、马尾松林和杉木林之间无明显差异。毛竹林土壤微生物量碳占总有机碳比率明显降低,可能与本次研究的竹林地有近半是集约经营有关。去除林下灌木,特别是连年施用化肥将造成土壤微生物量碳减少<sup>[16,17]</sup>。由于毛竹林土壤总有机碳含量较高(图 1),因而,微生物量碳下降一定量后,并没有反映出微生物量碳绝对含量的显著降低,但微生物量碳占全碳比率明显减少(表 2)。

## 2.3 土壤易氧化态碳含量比较

土壤易氧化态碳含量及其与土壤总有机碳的比值是反映土壤碳稳定性的指标,土壤全碳中易氧化态碳所占比例越高,说明土壤碳的活性越大,稳定性越差。表 3 显示,4 类森林植被中毛竹林土壤易氧化态碳明显高于马尾松林和杉木林 ( $p < 0.05$ ),阔叶林也低于毛竹林土壤,但差异未达到显著水平,马尾松林与杉木林土壤易氧化态碳相近。不同林地土壤易氧化态碳含量顺序基本与土壤的总有机碳含量相似,说明土壤总有机碳含量的高低决定了易氧化态碳的丰缺,两者的相关关系(表 3)均达到极显著水平。易氧化态碳占土壤总有机碳的比率以毛竹林和杉木林较高,说明人为干扰使这两种林地土壤有机碳活性较强而稳定性下降。调查区马尾松林的密度最大,林下灌木丛生,可能是其有机碳活性低的主要原因。

表 3 不同森林植被下土壤易氧化态有机碳的比较

林分	易氧化态碳 / ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	(易氧化态碳 / 总有机碳) / %	易氧化态碳与总 有机碳相关系数
常绿阔叶林	7.51 ab	48.90 b	0.865 8**
马尾松林	5.26 b	45.74 b	0.852 5**
杉木林	5.60 b	50.50 a	0.876 7**
毛竹林	8.12 a	52.40 a	0.860 4**

注: \*\*表示相关性极显著; \*表示相关性显著。表中同列数字不同字母表示差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。

### 3 小结

(1) 4类森林植被下土壤总有机碳含量为常绿阔叶林和毛竹林极显著地高于杉木林和马尾松林。

(2) 4类森林植被下土壤微生物量碳含量从数值上虽呈现出常绿阔叶林 > 马尾松林 > 毛竹林 > 杉木林的排序, 但方差分析发现, 它们间无显著性差异, 4类森林植被下土壤微生物碳占总有机碳比率以毛竹林最低, 显著低于其它 3种林分, 而常绿阔叶林、马尾松林和杉木林 3种林分间无显著差异, 常绿阔叶林、马尾松林和杉木林土壤微生物量碳与总有机碳含量间有显著或极显著相关性, 相关系数分别为 0.744 3\*\*、0.648 4\*\* 和 0.552 1\*, 毛竹林土壤微生物量碳与总有机碳的相关性则不显著。

(3) 毛竹林土壤易氧化态碳显著高于其它 3种林分, 土壤易氧化态碳占总有机碳比率为毛竹林 (52.40%) 和杉木林 (50.50%) 显著高于常绿阔叶林 (48.90%) 和马尾松林 (45.74%), 4类森林植被下土壤易氧化态碳与土壤总有机碳相关性均达到极显著水平。

### 参考文献:

[1] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic C fractions and  $^{13}\text{C}$  natural isotope abundance [J]. *Plant and soil*, 1993, 156: 399 ~ 402

[2] 李昌华. 杉木人工林和阔叶杂木林土壤养分平衡因素差异的初步研究 [J]. *土壤学报*, 1981, 18 (3): 255 ~ 261

[3] 刘长怀, 罗汝英. 宁镇丘陵区森林土壤腐殖质的化学特征 [J]. *南京林业大学学报*, 1990, 14 (1): 1 ~ 5

[4] 张万儒. 卧龙山自然保护区森林土壤养分状况 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1993

[5] 张其水. 杉木连栽地营造不同混交林后的土壤生物特性及土壤肥力的研究 [J]. *福建林学院学报*, 1990, 10 (3): 197 ~ 205

[6] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态意义 [J]. *生态学杂志*, 1999, 18 (3): 32 ~ 38

[7] Wander M M, Traina S J, Stinner B R, *et al*. The effects of organic and conventional management on biologically active soil organic matter fraction [J]. *Soil Sci Am J*, 1994, 58: 1130 ~ 1139

[8] Coleman D C, Reid C P P, Cole C. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems [J]. *Advances in Ecological Research*, 1983, 13: 1 ~ 5

[9] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 274 ~ 303

[10] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19: 703 ~ 707

[11] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 146 ~ 226

[12] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997

[13] 姜培坤, 钱新标, 余树全, 等. 千岛湖地区天然次生林地枯落物与土壤状况的调查分析 [J]. *浙江林学院学报*, 1999, 16 (3): 260 ~ 264

[14] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国中亚热带缓丘区红壤肥力的演化. 化学和生物学肥力的演化 [J]. *土壤学报*, 1999, 36 (2): 203 ~ 217

[15] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils [J]. *Soil Biol Biochem*, 1989, 21: 471 ~ 479

[16] 王岩, 沈其荣, 史瑞和. 有机、无机肥料施用后土壤生物量 C、N、P 的变化及 N 转化 [J]. *土壤学报*, 1998, 35 (2): 227 ~ 234

[17] Liang B C, MacKenzie A F, Schnitzer M. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous com in eastern Canadian soils [J]. *Biol Fertil Soils*, 1998, 26: 88 ~ 94