

文章编号: 1000-5692(2006)01-0070-05

# 不同施肥雷竹林土壤微生物量碳的动态变化

杨 芳<sup>1</sup>, 吴家森<sup>1</sup>, 钱新标<sup>1</sup>, 吴丽君<sup>2</sup>

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市农业技术推广中心, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 雷竹 *Phyllostachys praecox* 是笋用竹种。近十几年来, 雷竹的早产高效栽培技术在生产上实施后, 使竹笋产量大幅度上升, 从而产生了可观的经济效益, 但早产高效栽培技术的连年实施, 暴露出了竹林退化、土壤质量下降的现象。为研究不同施肥对雷竹土壤微生物量碳的影响, 在雷竹主产区布置了肥料试验, 设了 6 个处理, 即猪栏肥+化肥(处理 1), 菜籽饼+化肥(处理 2), 1/2 猪栏肥+1/2 化肥(处理 3), 纯化肥(处理 4), 2/3 纯化肥(处理 5), 1/2 化肥(处理 6)。各处理肥料用量按氮素总投入量设定, 6 个处理氮素总投入量比例为 2.0 : 2.0 : 1.0 : 2.0 : 1.5 : 1.0。试验从 2002 年 5 月开始至 2003 年 4 月结束, 全过程中共采集了 5 次土样, 分析了土壤的微生物量碳、总有机碳及其他养分指标。结果表明, 6 个处理土壤微生物量碳质量分数均表现为 2002 年 10 月和 12 月份最高, 2002 年 8 月和 2003 年 2 月次之, 2003 年 4 月最低。从不同处理间比较来看, 3 个有机肥化肥混合处理(处理 1, 2, 3)土壤微生物量碳动态全过程中始终高于对照和 2 个纯化肥处理(处理 5, 6), 有机肥用量较多的处理 1 和处理 2, 土壤微生物量碳也高于用量较少的处理 3。比较覆盖与不覆盖区发现, 土壤微生物量碳质量分数覆盖区明显高于不覆盖区, 2003 年 2 月土壤微生物量碳覆盖区是不覆盖区的 1.60 倍, 4 月则是 1.52 倍。相关分析表明, 土壤总有机碳与微生物量碳之间存在着显著相关; 微生物量碳与土壤全氮和水解氮质量分数的相关性也达显著水平。表 4 参 20

**关键词:** 土壤学; 雷竹; 化肥; 有机肥; 土壤微生物量碳

**中图分类号:** S154.3; S714      **文献标识码:** A

雷竹 *Phyllostachys praecox* 是中国长江以南地区广泛分布的优良笋用竹种。由于雷竹易栽培, 竹笋营养丰富, 味鲜美, 因而雷竹栽培面积不断扩大。为了获得更高的经济效益, 在最近十几年来, 通过科技人员和广大笋农的共同努力, 雷竹早产高效栽培技术日益成熟, 并已在生产上大面积推广<sup>[1]</sup>。早产高效栽培技术的核心一方面是竹林地表冬季覆盖稻草、竹叶和砻糠等有机物质, 通过有机物料隔绝冷空气侵入土壤和有机物料腐烂中产生热量来使土壤保持较高温度, 从而达到提前出笋的目的; 另一方面, 在雷竹林地大量施用肥料特别是化肥, 从而增加竹笋产量<sup>[2]</sup>。提前反季出笋使笋价上升, 大量施用肥料使产量增加, 因而采用早产高效栽培技术后, 雷竹的经济效益大幅度上升<sup>[1]</sup>。在雷竹早产高效栽培技术中, 推荐施用化肥超过  $3.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 有机肥达  $100.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[3,4]</sup>。雷竹林长期大量施用肥料特别是化肥已造成竹林提前退化, 土壤酶活性异常<sup>[3,4]</sup>, 过多施用化学氮肥也造成了雷竹笋硝酸盐

---

收稿日期: 2005-01-24; 修回日期: 2005-09-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30271072); 浙江省自然科学基金资助项目(301250)

作者简介: 杨芳, 讲师, 硕士, 从事环境科学等研究。E-mail: yangfang@zjfc.edu.cn

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

含量严重超标<sup>[5]</sup>, 随着连年大量施用肥料, 竹林土壤重金属含量也出现了升高趋势<sup>[6]</sup>。为进一步明确不同施肥数量、不同习惯对土壤品质的影响结果, 有必要研究生产上较为普遍施肥习惯下土壤性质的变化。土壤碳库平衡是土壤肥力保持的重要内容<sup>[7]</sup>, 不同的农业经营技术, 特别是不同的人为耕作、施肥等措施将对土壤碳库产生不同影响<sup>[8]</sup>。在研究土壤碳库中, 对土壤活性碳的研究尤为重要<sup>[9]</sup>。土壤活性碳是指土壤中移动快, 稳定性差, 易氧化、矿化, 并对植物和土壤微生物活性较高的那部分有机碳, 常可用水溶性碳、微生物量碳、易氧化态碳和矿化态碳来表征<sup>[9]</sup>。土壤活性碳是土壤微生物活动能源和土壤养分的驱动力<sup>[10]</sup>, 因而, 它们是评价土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持的重要指标<sup>[11]</sup>。作者在雷竹林设计了不同肥料类型和不同施用数量处理, 研究不同施肥对雷竹土壤微生物量碳的动态影响, 旨在揭示施肥对雷竹土壤品质的影响, 为雷竹林可持续经营提供决策依据。

## 1 样品与方法

### 1.1 研究区概况

试验地设在浙江省临安市三口乡, 地理坐标为  $30^{\circ}14'N$ ,  $119^{\circ}42'E$ 。该地是浙江省雷竹主产区之一。试验点海拔为 150 m, 年平均气温  $15.8^{\circ}C$ , 年降水量 1420 mm, 无霜期 236 d。土壤为发育于粉砂岩的红壤土类, 地形地貌为丘陵。该试验地雷竹建园历史 6 a, 2001 年已覆盖 1 a。试验地土壤 pH 值为 5.02, 有机质质量分数为  $44.35 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $135.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $16.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $115.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 2002 年 5 月布置试验。按目前雷竹生产中施肥习惯不同, 设置 6 个处理(表 1)。3 次重复, 随机区组设计, 小区面积  $120 \text{ m}^2$ 。施肥时间分 3 次。即 5 月 12 日、9 月 22 日和 12 月 5 日, 每次肥料用量占全年比例分别为 35%, 30% 和 35%。有机肥在 5 月 12 日和 12 月 5 日 2 次施入, 并结合施肥进行翻耕, 9 月 22 日只施化肥。2002 年 12 月 10 日开始冬季地表覆盖, 先在地表盖 15 cm 稻草和竹叶混合物, 上再覆盖 10 cm 厚的砻糠。各小区 2/3 面积覆盖, 其余 1/3 面积不覆盖。2002 年 8 月 1 日、10 月 1 日、12 月 1 日和 2003 年 2 月 1 日、4 月 1 日分别多点采集覆盖各小区中 0~25 cm 土层中混合土壤样品, 2003 年 2 月 1 日和 4 月 1 日 2 次采样中同时也采集未覆盖各小区中土壤样品。

1.2.2 分析方法 土样采集后过 2 mm 钢筛, 后分成 2 份: 1 份鲜样供土壤微生物量碳测定; 另 1 份风干再处理后供土壤总有机碳质量分数和常规养分测定用。分析方法如下: 土壤微生物量碳, 氯仿熏蒸法<sup>[12]</sup>, 熏蒸后土壤用  $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硫酸钾浸提(水土比为 5:1)滤液在有机碳分析仪上测定。土壤总有机碳, 重铬酸钾外加热法, 土壤养分含量常规法<sup>[13]</sup>。

### 1.3 数据分析

数据统计分析采用 Excel 和 Dps 软件<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理土壤微生物量碳的动态变化

从表 2 可以看出, 6 个处理土壤微生物量碳均表现为当年 10 月、12 月质量分数最高, 8 月和次年 2 月次之, 次年 4 月份最低。研究点处于亚热带地区, 8 月初温度较高, 常可超过  $35^{\circ}C$ , 而 10 月上旬一般在  $35^{\circ}C$  以下,  $20^{\circ}C$  以上。由于土壤微生物主要属中温性微生物, 因而气温在  $35^{\circ}C$  以上时, 对微生物生长有抑制作用, 而  $20\sim35^{\circ}C$  是土壤微生物的最适活动温度<sup>[15]</sup>, 所以 10 月 1 日土壤微生物量碳质量分数高主要是由适宜的气温决定的。一般情况下, 进入秋季直至冬季, 随着气温下降, 土壤微生物量会明显降低<sup>[16]</sup>, 该研究却表现为 12 月初土壤微生物量碳处于很高水平。笔者

表 1 试验各处理肥料用量

Table 1 Fertilizer rate of different treatments

处理号	全年施肥量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	氮素用量相对值
1	尿素 975 复合肥 1500, 猪栏肥 112 500	2.0
2	尿素 975 复合肥 1500, 菜籽饼 18 750	2.0
3	尿素 487 复合肥 750, 猪栏肥 56 250	1.0
4	尿素 1 950, 复合肥 3 000	2.0
5	尿素 1 300, 复合肥 2 000	1.5
6	尿素 975 复合肥 1 500	1.0

说明: 复合肥为  $\text{N} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{K}_2\text{O} = 15:15:15$ 。

认为,这是由于11月至12月正是雷竹笋芽分化的高峰期<sup>[1]</sup>,竹鞭中物质代谢极为旺盛,鞭根可产生大量的代谢分泌物,分泌物对微生物活动有强烈刺激作用,从而造成了土壤微生物活动旺盛<sup>[17]</sup>,这和一般林木不同。进入2月份后,虽然地表有覆盖物质,但气温太低,土壤温度常低于15℃<sup>[1]</sup>,因而土壤微生物量碳就下降。

比较不同处理可以发现,3个有机肥化肥混合处理土壤微生物量碳质量分数始终高于纯化肥处理,并差异均达显著水平。研究表明,施用有机肥料可提高土壤微生物量碳<sup>[18]</sup>;施用有机肥或植物残体能很好激发土壤微生物,使土壤微生物量碳远远高于施用矿质肥料处理<sup>[19]</sup>。本项研究在这一点上和前人有相同的结果。化肥的施用特别是长期超量施用会造成土壤微生物量碳下降<sup>[20]</sup>,本项结果也显示了这种趋势。但方差分析发现,试验全过程中,处理6与处理4和处理5间,土壤微生物量碳均无显著差异。说明尽管化肥用量较大,1a的施用时期不足以使土壤微生物量碳有明显下降,但如果连年大量使用就有可能出现显著下降的现象,从而使竹林土壤品质低劣,这是雷竹生产中必须注意的问题。

## 2.2 覆盖与不覆盖区土壤微生物量碳质量分数比较

表3列出了2003年2月和4月初土壤微生物量碳质量分数的分析结果。从表3看,6个处理覆盖区土壤微生物量碳均明显高于不覆盖区,2月初覆盖区平均是不覆盖区的1.60倍,4月是不覆盖区的1.52倍,其中纯化肥处理区覆盖与不覆盖差异更大,2月纯化肥处理土壤微生物量碳质量分数平均是不覆盖区的2.01倍,3个有机肥化肥混施处理平均只是1.23倍;4月也同样,纯化肥处理是不覆盖区的1.78倍,而3个有机肥化肥混施处理平均只是不覆盖区

的1.29倍。有机肥混施处理,由于5月和12月2次使用了有机肥料,使土壤中有机物料明显增加,已大大激活了土壤微生物;而化肥处理全年来施用有机肥,到12月初进行地表覆盖后,随着稻草、竹叶和砻糠等有机物料的输入并慢慢腐烂,土壤微生物激发效应快速增加,使微生物数量增加迅猛,因而相对有机肥化肥混施处理来说,纯化肥处理在2月份后有机物料的微生物激发作用要大。

## 2.3 土壤碳之间及其与土壤养分质量分数的相关分析

12月初雷竹未覆盖前是土壤相对稳定时期。由于5月和9月施用的肥料经过夏秋季高温、雨水等因素作用已在土壤中分布吸附均匀,因而选择12月初研究土壤微生物量碳与其他肥力指标关系较为合理。对12月土壤碳及养分质量分数进行了相关分析。结果表明(表4),土壤总有机碳与微生物量碳之间存在显著相关性,微生物量碳与土壤全氮和水解氮质量分数的相关性也达显著水平。土壤微生物量碳常与土壤有机质质量分数呈显著正相关,土壤有机质丰富,土壤微生物数量多,微生物对土壤有机物分解改造作用也强烈,与此同时,土壤中有机含氮化合物也分解,因而土壤简单有机氮化合物

表2 不同施肥处理土壤微生物量碳的动态变化

Table 2 Seasonal dynamics of soil MBC of the different treatments.

处理	土壤微生物量碳/(mg·kg <sup>-1</sup> )				
	2002年8月	2002年10月	2002年12月	2003年2月	2003年4月
1	350.17 a	409.37 a	394.31 a	238.61 a	160.20 a
2	292.30 a	407.28 a	398.00 a	228.88 a	140.56 a
3	224.13 b	338.84 b	374.00 b	219.87 a	141.80 a
4	125.23 c	255.89 c	259.91 c	188.90 b	93.67 b
5	121.87 c	295.92 c	256.33 c	172.93 b	95.14 b
6	144.05 c	314.00 c	291.23 c	192.57 b	111.60 b

说明:表中数据为3个重复的平均值;同列中不同英文字母表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

表3 覆盖与不覆盖区土壤微生物量碳比较

Table 3 Comparison of soil MBC between mulched and non-mulched sites

处理	土壤微生物量碳/(mg·kg <sup>-1</sup> )			
	2003年2月		2003年4月	
	覆盖	不覆盖	覆盖	不覆盖
1	238.61 a	203.74 b	160.20 a	121.74 b
2	228.88 a	187.38 b	140.56 a	108.66 b
3	219.87 a	169.99 b	141.80 a	111.73 b
4	188.90 a	91.33 b	93.67 a	50.65 b
5	172.93 a	88.64 b	95.14 a	55.79 b
6	192.57 a	99.86 b	111.60 a	67.03 b

说明:表中数据为3个重复的平均值;同一时间同行中不同英文字母表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

增加, 从而使土壤水解氮质量分数上升。

### 3 结论

不同施肥雷竹林土壤微生物量碳质量分数表现为10月和12月最

高, 次年4月最低。冬季覆盖使土壤微生物量碳明显增加, 从分析的2次样品(2003年2月和4月)6个处理平均值来看, 土壤微生物量碳覆盖区是不覆盖区的1.56倍。

土壤总有机碳与土壤微生物量碳间有显著相关性, 微生物量碳与土壤全氮及水解氮相关性也达显著水平。

表4 土壤微生物量碳与土壤养分质量分数的相关系数

Table 4 Coefficients of correlation between soil MBC and soil nutrients content

	总有机碳	全氮	水解氮	有效磷	速效钾
微生物量碳	0.473 <sup>*</sup>	0.667 <sup>**</sup>	0.490 <sup>*</sup>	0.313	0.218

说明:  $r_{0.01} = 0.590$ ,  $r_{0.05} = 0.468$ 。

### 参考文献:

- [1] 汪祖潭, 方伟, 何钧潮, 等. 雷竹笋用林高产高效栽培技术[ M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 5—56.
- [2] 方伟, 何钧潮, 卢学可, 等. 雷竹早产高效栽培技术[ J]. 浙江林学院学报, 1994, 11(2): 121—128.
- [3] 金爱武, 周国模, 郑炳松, 等. 雷竹保护地栽培林地退化机制的初步研究[ J]. 福建林学院学报, 1999, 19(1): 94—96.
- [4] 姜培坤, 俞益武, 张立钦, 等. 雷竹林地土壤酶活性研究[ J]. 浙江林学院学报, 2000, 17(2): 132—136.
- [5] 姜培坤, 徐秋芳. 雷竹笋硝酸盐含量及其与施肥的关系[ J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(1): 10—14.
- [6] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林地土壤重金属含量的分析研究[ J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 61—63.
- [7] LEFRY R D B, BLAIR G J, STRONG W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic C fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance[ J]. *Plant Soil*, 1993, 156: 399—402.
- [8] 沈宏, 曹志洪, 徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[ J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166—173.
- [9] 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.
- [10] WANDER M M, TRAINA S J, STINER 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.
- [11] SRARLING G P. Ratio of microbial biomass C to soil organic C as a sensitive of changes in soil organic matter[ J]. *Aust J Soil Res*, 1992, 30: 195—207.
- [12] VANCE E D, BROOKES P C, JENKISON D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[ J]. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19: 703—707.
- [13] 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.
- [14] 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: 15—70.
- [15] 杨颐康. 微生物学[ M]. 北京: 高等教育出版社, 1986: 147—156.
- [16] 陈珊, 张常钟, 刘东波, 等. 东北羊草草原土壤微生物生物量的季节变化及其与土壤生境的关系[ J]. 生态学报, 1995, 15(1): 91—94.
- [17] 姜培坤, 蒋秋怡, 董林根, 等. 杉木檫树根际土壤生化特性比较分析[ J]. 浙江林学院学报, 1995, 12(1): 1—5.
- [18] ANDERSON T, DOMSCH K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils[ J]. *Soil Biol Biochem*, 1989, 21: 471—479.
- [19] LIANG B C, MacKENZIE A F, SCHNELLER M, et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils[ J]. *Biol Fertil Soils*, 1998, 26: 88—94.
- [20] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[ J]. 土壤, 1997, 29(2): 61—69.

# Dynamic changes of soil microbial biomass carbon in *Phyllostachys praecox* stand with different fertilizers

YANG Fang<sup>1</sup>, WU Jia-sen<sup>1</sup>, QIAN Xin-biao<sup>1</sup>, WU Li-jun<sup>2</sup>

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300 Zhejiang, China; 2.

Agriculture Technology Extension Center of Lin'an City, Lin'an 311300 Zhejiang, China)

**Abstract:** *Phyllostachys praecox*, a favorite bamboo shoot species, has been widely planted in these years. The practice of surplus fertilizing and winter mulching has been conducted to gain good economic benefits. To study the effects of fertilizing and winter mulching on microbial biomass carbon (MBC) in soil, a trial with different types (manure, oil cake and mineral fertilizer) and rates of fertilizers was conducted from August 2002 to April 2003. The first 3 treatments applied with both fertilizer and manure but with different rate. The highest microbial biomass carbon in soil was measured in October and December, medium one in August and February, and lowest one in April. It was always true that treatments with mixture of fertilizer and manure were detected much more MBC ( $P < 0.05$ ) compared with pure fertilizer treatments, and MBC in soil was increasing with augment of manure amount applied per plot. It was found that winter mulching practice enhanced MBC in soil, and the average ratios of MBC in mulching treatments to non-mulching treatments were 1.60 and 1.52 respectively in February and April. MBC in soil was significantly correlated with total organic carbon, total nitrogen and hydrolysable nitrogen ( $P < 0.05$ ). [Ch, 4 tab. 20 ref.]

**Key words:** soil science; *Phyllostachys praecox*; fertilizer; manure; microbial biomass carbon in soil

## 2005年中国生态旅游国际论坛共识

为了树立正确的生态旅游发展理念与发展模式,使生态旅游的发展达到生态环境与社会经济双赢的目标,浙江省生态学会、绿色环球21和浙江林学院于2005年11月14~16日在浙江林学院共同主办了“2005年中国生态旅游国际论坛”。论坛得到澳大利亚可持续旅游合作研究中心、中国新闻社浙江分社、浙江省森林旅游协会、浙江省旅游协会、浙江省旅游区(点)协会的支持与协助。

该论坛取得了以下共识:①明确了生态旅游的内涵与发展方向,特别是统一了生态旅游是小规模旅游产品还是大众旅游产品的争论。首先,生态旅游是旅游产品的一种,检验一种旅游产品是否是生态旅游不是根据规模,而是根据是否符合生态旅游原则,尤其是是否符合环境影响最小化原则;第二,生态旅游有11项基本原则,主要包括是否以自然为基础,以生态环境保护为前提,是否有环境解说体系,是否带动社区发展,是否对自然保护有所贡献,是否尊重当地的文化及敏感性等;第三,生态旅游可以融合当地文化,但要以了解和欣赏大自然为旅游活动的主体,以满足人们回归大自然的需求;第四,中国发展生态旅游应以国际生态旅游标准为指针,在此基础上,可以根据中国的实际情况制订生态旅游实施细则或指南,使之具有中国或地方特色。②中国完全可以成功地实施符合国际标准的可持续旅游和生态旅游项目,可以达到生态环境与社会经济双赢的经营目标。③中国的旅游学者不应花太多的时间去论证生态旅游的新概念与内涵,而应该就生态旅游的规划、产品设计、环境技术、环境管理与市场培育等实践问题开展有深度的研究和对企业的具体指导。④应加强与国际和国内从事生态旅游研究与发展的专家、学者、企业家之间的交流与合作,增进相互了解,为中国的生态旅游事业作贡献。

(俞)