

长期集约经营条件下雷竹林土壤微生物量的变化

秦 华^{1,2}, 徐秋芳^{1,2}, 曹志洪^{1,2,3}

(1. 浙江林学院 环境科技学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院-中国科学院南京土壤研究所 森林土壤与环境联合实验室, 浙江 临安 311300; 3. 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 雷竹 *Phyllostachys praecox* 是一种优良的笋用竹种, 长期强度经营虽然带来了显著的经济效益, 但是也导致竹林提早退化。在浙江省临安市横畈镇和西天目乡的雷竹样地采样调查, 选取栽植时间分别为 5, 10, 15 a 的雷竹林地土壤, 以及刚由水稻 *Oryza sativa* 田改种为雷竹林的土壤(1 a), 旨在研究长期集约经营对雷竹林土壤微生物量的影响。结果表明, 横畈镇和西天目乡的雷竹林经过长期集约经营之后, 均显著增加了土壤(0~20 cm)中有机碳、全氮、碱解氮、全磷及有效磷的质量分数, 而 pH 值则随着经营年限的延长而降低。长期的集约经营显著降低了土壤微生物量碳、氮质量分数以及微生物量碳/有机碳、微生物量氮/全氮的比值; 土壤微生物量磷呈现出先增加后降低的趋势, 而微生物量磷/全磷的比值则同样随经营年限的延长而逐渐下降。长期施肥和覆盖措施降低了土壤微生物的活性, 使土壤生物学总量衰退, 促使雷竹林提前退化。表 4 参 22

关键词: 森林土壤学; 雷竹林; 集约经营; 土壤微生物量

中图分类号: S714 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)-01-0001-07

Soil microbial biomass in long-term and intensively managed *Phyllostachys praecox* stands

QIN Hua^{1,2}, XU Qiu-fang^{1,2}, CAO Zhi-hong^{1,2,3}

(1. School of Environmental Science and Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Joint Laboratory of Forest Soil and the Environment, Zhejiang Forestry College & ISSCAS, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: *Phyllostachys praecox*, a favorite bamboo species with high economic value from its edible shoots, has often been intensively managed resulting in great gains for the farmers, yet compared to traditional management there is a serious bamboo degradation problem. The objective of this study was to analyze the effects of long-term intensive management on soil microbial biomass in *P. praecox* stands. A field survey was conducted with soil samples taken from 5-, 10-, and 15-year old intensively managed bamboo stands in Hengfan and Xitianmu Towns, along with new, 1-year-old stands on converted paddy fields (control). Results indicated that, after long term intensive management, total organic carbon (TOC), total N(TN), available N, total phosphorus(TP), and available P in soils(0~20 cm) significantly increased ($P<0.05$), whereas pH significantly decreased($P<0.05$) with prolonged plantation times. Compared to the control, soil microbial biomass carbon(MBC) and microbial biomass nitrogen(MBN) significantly decreased ($P<0.05$), and the ratios of MBC/TOC and MBN/TN also decreased from 1 to 15 years. Microbial biomass phosphorus (MBP) increased in the first 5 years after the paddy fields converted to *P. praecox* stands, but

收稿日期: 2009-03-16; 修回日期: 2009-04-15

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y3080337)

作者简介: 秦华, 讲师, 硕士, 从事土壤微生物学研究。E-mail: qinhua@zjfc.edu.cn。通信作者: 徐秋芳, 教授, 博士, 从事森林土壤微生物与生化研究。E-mail: xuqifang@zjfc.edu.cn

with no significant difference, and then decreased gradually with the ratio of MBP/TP from 1 to 15 years gradually decreasing with progressively older plantations. This study showed that long-term fertilization and winter mulch restrained soil microbial activity, decreased soil biological properties, and led to early degradation of *P. praecox* stands. [Ch., 4 tab. 22 ref.]

Key words: forest soil science; *Phyllostachys praecox* stands; intensive cultivation management; microbial biomass

雷竹 *Phyllostachy 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, 味道鲜美, 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, 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^[1]。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, 利用有机物料隔绝冷空气侵入土壤以及有机物料腐烂所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; 另一方面是在雷竹林地大量施用肥料特别是化肥, 从而增加竹笋产量^[2]。但是, 长期集约经营也给雷竹林经营带来了一系列的问题, 如改变了土壤物理、化学和生物学性质, 降低土壤品质, 造成竹林提前退化等等。土壤微生物直接参与了养分循环、有机质分解等诸多生态过程, 是土壤中物质转化和养分循环的驱动力, 微生物量碳、氮、磷也被认为是土壤活性养分的储存库。同时, 微生物量又能灵敏地反映环境因子、土地经营模式和生态功能的变化^[3]。因此, 它又可作为评价土壤品质的重要指标之一。目前, 关于雷竹林土壤微生物量时空变化的系统研究尚不多见。笔者在浙江省临安市西天目乡和横畈镇, 分别选取集约经营时间为5, 10, 15 a的雷竹林, 同时选取刚改种雷竹的田地(第1年)作为对照, 研究了土壤养分以及微生物量碳、氮、磷的时空变化规律, 目的在于揭示长期集约经营对雷竹林土壤微生物学性质及养分转化的影响, 为集约栽培条件下竹林土壤的生物学质量评估提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

采样地点分别为浙江省临安市西天目乡和横畈镇。横畈镇试验采样范围为30°21.354' N, 119°45.844' E与30°21.287' N, 119°45.905' E。西天目乡试验采样范围为30°17.803' N, 119°27.503' E与30°18.038' N, 119°27.348' E。2个乡镇均属于中纬度北亚热带季风气候区, 四季分明, 气候温和, 雨水充沛(年降水量为1 420 mm), 多年平均气温为15.8 °C。7月最热, 1月最冷。历年平均日照时数为1 939 h, 无霜期234 d。2个试验栽培区均属低山丘陵地貌, 土壤为粉砂岩母质上发育的红壤土类。雷竹林栽种在缓坡梯田上, 改种雷竹前都是水稻 *Oryza sativa* 田。

1.2 研究方法

在研究区内选择立地条件基本一致, 集约经营历史分别为5, 10, 15 a的雷竹林样地各3个, 同时选取刚刚由水稻田改种雷竹的样地作为1 a的对照。按照5点取样法采集各处理0~20 cm的表层土壤样品。样品采集后, 带回室内过2 mm钢筛并分成2份, 一份新鲜土样供土壤微生物量碳、氮、磷等测定使用, 另一份风干处理后用于土壤总有机质、总氮、碱解氮、全磷以及有效磷等质量分数的测定。

土壤总有机质采用重铬酸钾外加热法测定; 总氮采用半微量凯氏定氮法; 碱解氮采用碱解扩散法; 全磷采用硫酸高氯酸消煮, 铜锑抗比色法; 有效磷采用盐酸-氟化铵溶液浸提, 铜锑抗比色法^[4]。土壤基本理化性质见表1。

土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸-直接提取法^[5], 对照土壤和熏蒸后土壤用0.5 mol·L⁻¹硫酸钾提取(土:水=1:5), 滤液中碳质采用TOC-V_{CPH}有机碳分析仪测定, 采用凯氏定氮法测定微生物量氮。土壤微生物量碳(B_C)和氮(B_N)以熏蒸和未熏蒸土样0.5 mol·L⁻¹硫酸钾提取液中碳、氮质量分数之差乘以系数得到, $B_C = 2.64E_C$, $B_N = E_N / 0.54$, 其中 E_C 和 E_N 为熏蒸土样与未熏蒸土样提取液碳、氮质量分数之差。土壤微生物量磷(B_P)测定采用氯仿熏蒸-直接提取法^[6], 对照土壤和熏蒸后土壤用0.5 mol·L⁻¹

表 1 不同集约经营年限雷竹林土壤基本理化性质

Table 1 Basic properties of soils of *Phyllostachys praecox* stands under intensive management

| 样地 | 经营时间/a | pH (H ₂ O) | 有机质/(g·kg ⁻¹) | 全氮/(g·kg ⁻¹) | 碱解氮/(mg·kg ⁻¹) | 全磷/(g·kg ⁻¹) | 有效磷/(mg·kg ⁻¹) |
|-----|--------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 横畈 | 1 | 5.77 | 17.3 c | 2.28 c | 99.5 c | 0.47 c | 52.0 c |
| | 5 | 5.02 | 17.3 c | 2.25 c | 252.9 b | 0.86 bc | 254.2 b |
| | 10 | 4.53 | 23.4 b | 2.60 b | 286.7 b | 1.55 ab | 458.5 a |
| | 15 | 4.16 | 32.0 a | 3.38 a | 428.2 a | 1.99 a | 465.0 a |
| 西天目 | 1 | 5.23 | 16.7 d | 1.99 c | 199.9 b | 0.44 c | 32.8 c |
| | 5 | 4.98 | 21.5 c | 2.09 bc | 235.9 bc | 1.15 b | 140.8 b |
| | 10 | 4.67 | 23.2 b | 2.41 b | 251.0 b | 1.78 a | 191.3 b |
| | 15 | 4.14 | 44.8 a | 4.19 a | 405.3 a | 1.96 a | 467.9 a |

说明: 同一列中所带字母不同, 表示样地之间差异达到显著水平($P<0.05$)。

碳酸氢钠提取(土:水=1:5), 提取液中磷的测定采用钼锑抗比色法, $B_p = E_p / 0.4$, 其中 E_p 为熏蒸土样提取液中的磷与未熏蒸土样提取液中的磷之差。所有测定均设3次重复。

1.3 数据分析

数据经 Microsoft Excel 2003 整理, 用 SPSS 10.0 软件处理试验数据, Duncun 单因素方差分析比较各处理之间的差异显著性。

2 结果与讨论

2.1 不同经营年限对雷竹林土壤微生物量碳的影响

土壤微生物量碳质量分数是反映土壤品质变化的理想指标。表 2 为种植 1 a(对照)及集约经营 5, 10, 15 a 雷竹林土壤其有机质及微生物量碳的变化规律。随着经营年限的增加, 以及冬季地表覆盖措施, 可以看出土壤中的有机质质量分数呈现明显的增加趋势。由于临安当地的栽植习惯, 雷竹林一般是从栽植的第 5 年起开始覆盖, 因此, 横畈的 5 a 雷竹林土壤有机质与对照相比没有显著差异, 而西天目可能是由于这期间采取的施肥措施, 提高了土壤的有机质。从第 5 年起, 覆盖物的下层稻草腐烂后进入土壤, 使得土壤中的有机质迅速增加; 当雷竹长到 7~8 a 时开始进入产笋的高峰期, 为了提高雷笋产量, 竹农对雷竹林的施肥量和覆盖物的数量进一步提高, 也导致土壤有机质的大幅增加, 15 a 时的土壤有机质质量分数甚至达到或者超过对照土壤的 2.0 倍。

覆盖和施肥等人为措施虽然大大提高了土壤有机质的质量分数, 但由于经营强度大, 微生物量矿

表 2 雷竹林土壤碳变化

Table 2 Change of soil carbon content of *Phyllostachys praecox* stands

| 样地 | 经营时间/a | 有机质/(g·kg ⁻¹) | 微生物量碳/(mg·kg ⁻¹) | (微生物量碳:有机碳)/% | (微生物量碳:微生物量氮)/% |
|-----|--------|---------------------------|------------------------------|---------------|-----------------|
| 横畈 | 1 | 17.3 c | 677.0 b | 3.92 | 6.2 |
| | 5 | 17.3 c | 603.8 ab | 3.48 | 8.0 |
| | 10 | 23.4 b | 523.5 a | 2.23 | 10.6 |
| | 15 | 32.0 a | 462.2 a | 1.45 | 8.1 |
| 西天目 | 1 | 16.7 d | 609.2 a | 3.64 | 6.7 |
| | 5 | 21.5 c | 619.2 a | 2.88 | 6.6 |
| | 10 | 23.2 b | 353.3 b | 1.52 | 5.0 |
| | 15 | 44.8 a | 475.7 ab | 1.06 | 7.0 |

说明: 同一列中所带字母不同, 表示样地之间差异达到显著水平($P<0.05$)。

化速度加剧,从而导致土壤微生物量碳呈下降趋势^[3,7]。在前5 a间,由于没有地表覆盖,施肥量也不大,微生物量基本没有大的改变。开始覆盖后,随着经营时间的延长,土壤微生物量碳逐渐下降。与对照土壤相比,横畈镇经营10 a的土壤微生物量碳质量分数平均下降了22.67%,经营15 a的雷竹林平均下降了31.73%。西天目经营10 a雷竹林土壤微生物量碳质量分数平均下降了42.01%,经营15 a的林地其质量分数稍有上升,平均下降了21.91%。造成这种现象的原因是由于长期的强度经营,导致了土壤微生物活性的减弱,从而导致微生物量碳下降。这与之前已有的研究结果基本一致,说明随着雷竹林集约经营历史的延长,土壤生物学活性有明显的下降趋势。

土壤微生物量碳与有机碳的比值能较好地表征土壤碳的动态变化,比值越大,则说明有机碳周转速率越快^[8]。据Zeller等^[9]研究报道,土壤微生物量碳占有机碳的比例范围为0.27%~7.00%。本研究所选取的样地其结果也处于此范围内,属于正常值。表2中可以看出,无论是横畈镇还是西天目乡,随着雷竹林经营时间的延长,土壤微生物量碳/有机碳的比值总是逐渐降低的,可见长期的集约经营同样严重抑制了土壤微生物的生长代谢作用,从而降低了有机碳的周转速度。另外,该结果与土壤中有机碳的快速累积也有一定的关系。

微生物量碳氮比在一定程度上也可以用来反映土壤微生物的种类和区系。研究表明,细菌的碳氮比在5:1左右,放线菌在6:1左右,真菌在10:1左右^[10-11]。随着经营时间的延长,横畈镇雷竹林土壤微生物量碳/氮比值逐渐升高,推测认为,在经营过程中细菌数量在微生物总数中所占的比例逐渐降低,大量施肥以及覆盖物的腐烂导致微生物区系发生变化,土壤中放线菌与真菌的比例逐渐增加。而西天目乡的研究结果表明,土壤微生物区系没有发生明显的变化。

2.2 不同经营年限对雷竹林土壤微生物量氮的影响

研究表明,长期施氮肥可提高土壤氮素水平,主要原因是施用化学氮肥可增加氮素在土壤中的残留,而且增加了土壤有机质和根茬、根系以及根系分泌物,从而增加了土壤有机氮量^[12]。随着雷竹林集约经营年限的上升,土壤总氮质量分数也呈逐年上升趋势(表3)。在经营的前5 a中,由于竹林没有覆盖措施,也没有大量施用复合肥和尿素,土壤总氮质量分数基本保持稳定,没有显著差异。雷竹林开始覆盖后,由于施肥的大量增加以及覆盖物的腐烂,大幅增加了土壤总氮质量分数^[13]。无论是横畈镇还是西天目乡,其经营10 a和15 a的竹林与经营5 a的竹林相比,土壤总氮质量分数都有明显的增加,达到显著差异($P<0.05$)。同样的规律也体现在土壤碱解氮质量分数上。碱解氮质量分数与土壤有机质和全氮质量分数及土壤本身的水热环境条件有关,一般情况下,土壤有机质质量分数高,熟化程度高,土壤温度高,微生物活动旺盛,碱解氮质量分数亦高。苏娜等^[14]研究发现长期施用有机肥或有机肥与氮肥配施均能极显著地提高土壤碱解氮水平;而单独施用氮肥,土壤碱解氮也有所增加,且随着氮肥用量增加而递增。由表3可知,雷竹林土壤的碱解氮质量分数随种植年限的增加而上

表3 雷竹林土壤氮素变化

Table 3 Changes of soil N content of *Phyllostachy praecox* stands

| 样地 | 经营时间/a | 全氮/(g·kg ⁻¹) | 碱解氮/(mg·kg ⁻¹) | 微生物量氮/(mg·kg ⁻¹) | (微生物量氮:全氮)/% |
|-----|--------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------|
| 横畈 | 1 | 2.28 c | 99.5 c | 108.5 c | 4.8 |
| | 5 | 2.25 c | 252.9 b | 75.5 b | 3.4 |
| | 10 | 2.60 b | 286.7 b | 49.6 a | 1.9 |
| | 15 | 3.38 a | 428.2 a | 57.2 ab | 1.7 |
| 西天目 | 1 | 1.99 c | 199.9 b | 90.8 ab | 4.6 |
| | 5 | 2.09 bc | 235.9 bc | 93.6 b | 4.5 |
| | 10 | 2.41 b | 251.0 b | 70.9 ab | 2.9 |
| | 15 | 4.19 a | 405.3 a | 68.3 a | 1.6 |

说明:同一列中所带字母不同,表示样地之间差异达到显著水平($P<0.05$)。

升, 西天目土壤的碱解氮质量分数由 1 a 的 $199.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 15 a 的 $405.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有些样点可以达到 $508.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 横畈从 1 a 的 $99.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 15 a 的 $428.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 且经营 15 a 的竹林土壤碱解氮质量分数与经营 10 a 的相比达到显著差异($P < 0.05$)。

与微生物量碳的变化规律相似, 尽管土壤总氮逐年大幅提高, 土壤微生物量氮却随着经营年限的增加而逐渐减少, 前 5 a 基本无变化, 5 a 后的冬季覆盖和大量施肥造成了土壤微生物量氮的显著降低。据 Zeller 等^[9]研究报道, 土壤微生物量氮占土壤全氮的比例为 2.0% ~ 6.0%, 本研究结果基本上处于这个范围之内。两处样地的微生物量氮/全氮的比值也随着经营年限的增加呈降低趋势。究其原因, 一方面是因为此时土壤中微生物的生长受到严重抑制, 另一方面可能也与土壤中氮素的大量累积有关。

2.3 不同经营年限对雷竹林土壤微生物量磷的影响

研究结果表明, 雷竹林土壤全磷质量分数在时间上的变化同样是随着雷竹栽植年限增长而呈上升趋势(表 4), 这与我们之前的研究结果一致^[15]。横畈镇的雷竹林土壤, 前 5 a 土壤全磷质量分数没有明显的变化, 但是 10 a 和 15 a 时的质量分数分别是 5 a 时的 1.8 倍和 2.3 倍, 达到了极显著差异($P < 0.01$)。而西天目的雷竹林土壤, 到 5 a 时土壤全磷质量分数即开始显著增加, 10 a 后趋于稳定, 但都显著高于对照土壤的全磷质量分数。

土壤有效磷是土壤磷库中对作物最速效的部分, 是能直接为作物吸收利用的无机磷或小分子量的有机磷组分, 因此是评价土壤供磷能力的重要指标^[16]。表 4 可以看出, 横畈和西天目 2 个乡镇雷竹林土壤的有效磷质量分数都随着雷竹种植年限增长而表现出快速上升的趋势。西天目雷竹林土壤中, 1 a 与 5, 10, 15 a 均存在显著差异, 而 5 a 和 10 a 间没有差异, 10 a 以后土壤中速效磷快速积累, 15 a 时土壤速效磷质量分数已经达到 10 a 时的 2.4 倍, 具有极显著差异($P < 0.01$)。在横畈镇, 土壤速效磷质量分数先是快速增加, 10 a 后即趋于稳定。结果表明, 大量的施肥和稻草、砻糠的覆盖显著提高了土壤全磷和速效磷的质量分数。

微生物量磷是土壤有机磷最活跃的部分, 通过生物量磷释放的磷对植物的生长非常重要, 能很好地反映土壤活性磷库的容量、周转强度以及微生物数量和活性^[17~18]。研究结果表明, 随着经营时间的延长, 所有雷竹林土壤的微生物量磷都有先增加而后下降的趋势, 这与先期的地表覆盖有关, 有研究表明稻草覆盖能明显增加土壤表层微生物含量^[19]。然而在后期, 随着经营强度的增加, 微生物生长受到抑制, 微生物量磷再次出现下降趋势。总体上来说, 横畈的雷竹林土壤微生物量磷要高于西天目, 可能与 2 个乡镇竹农的经营措施稍有差异有关。Smith 等^[20]研究报道, 土壤微生物量磷占土壤全磷的比例为 2.4% ~ 23.3%。本研究结果中土壤微生物量磷/全磷比值基本处于这个范围内, 但西天目经营 10 a 及 15 a 后的雷竹林其比值偏低, 与薛莲等^[21]研究结果相似, 由于此时雷竹的生长已经开始明显

表 4 雷竹林土壤磷素变化

Table 4 Changes of soil P content of *Phyllostachy praecox* stands

| 样地 | 经营时间/a | 全磷/(g·kg ⁻¹) | 有效磷/(mg·kg ⁻¹) | 微生物量磷/(mg·kg ⁻¹) | 微生物量磷:全磷/% |
|-----|--------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|------------|
| 横畈 | 1 | 0.47 c | 52.0 c | 62.5 ab | 13.28 |
| | 5 | 0.86 bc | 254.2 b | 72.0 a | 8.17 |
| | 10 | 1.55 ab | 458.5 a | 61.3 bc | 3.95 |
| | 15 | 1.99 a | 465.0 a | 50.4 c | 2.53 |
| 西天目 | 1 | 0.44 c | 32.8 c | 38.4 ab | 8.73 |
| | 5 | 1.15 b | 140.8 b | 44.2 b | 3.84 |
| | 10 | 1.78 a | 191.3 b | 28.4 ab | 1.59 |
| | 15 | 1.96 a | 467.9 a | 26.2 a | 1.34 |

说明: 同一列中所带字母不同, 表示样地之间差异达到显著水平($P < 0.05$)。

退化，而微生物代谢功能期短，要维持雷竹生长所需要的碳源、氮源，就必须提高微生物量在有机碳和全氮中的比例来维持高的物质代谢能力，但其机制还需进一步研究验证。李东坡等^[17]研究表明，微生物量磷与磷植物有效性具有极显著正相关关系，微生物量磷的下降也将导致磷植物有效性的明显降低，使雷竹林出现提前退化。

张桃林等^[22]认为，集约农业利用下农用化学品的大量投入和土地的高强度利用导致了土壤养分富余和失衡以及土壤的生物功能衰减等退化现象，可能是生态系统在超负荷运行下的疲劳状态(土壤疲劳)，若不能得到有效控制和恢复，将会对土壤生态系统造成严重损害。在本研究结果中，虽然土壤养分显著增加，但是土壤微生物活性却反而降低了，其原因可能是由于雷竹林土壤生态系统变化超过了其忍受限度，使系统本身的功能受到了很大的破坏。

3 结论

横畈镇和西天目乡的雷竹林经过长期大量施肥以及冬季覆盖后，均显著增加了土壤(0~20 cm)中有机碳、全氮、碱解氮、全磷、有效磷的质量分数，然而pH值随之逐年下降。

虽然长期集约经营增加了土壤中的有机碳质量分数，但是无论横畈还是西天目，雷竹林土壤的微生物量碳质量分数以及微生物量碳/有机碳的比值都呈明显的下降趋势，表明长期的施肥和覆盖措施降低了土壤微生物的活性，使土壤生物学性质衰退。

土壤微生物量氮质量分数及微生物量氮/全氮比值也随着经营年限的延长而呈下降趋势，但都处于正常值范围内；横畈雷竹林土壤微生物量碳氮比值随经营年限的延长逐渐增加，显示经营措施改变了土壤的微生物区系，长期的覆盖使土壤中放线菌及真菌的比例增加。西天目的雷竹林土壤微生物量碳氮比没有明显的变化；

雷竹林土壤的微生物量磷随着经营时间的延长呈先上升后下降趋势，2个样点的雷竹林土壤微生物量磷/全磷比值基本处于正常范围内，其中西天目经营10 a及15 a后的雷竹林比值偏低，推测由于雷竹生长退化，导致对碳、氮源的需求更加紧迫。

参考文献：

- [1] 周国模, 金爱武. 雷竹林冠层特性与叶片的空间分布[J]. 林业科学, 1999, **35** (5): 17~21.
ZHOU Guomo, JIN Aiwu. Characteristics of the canopy and spatial distribution of leaves in *Phyllostachys praecox* plantations [J]. *Sci Silv Sin*, 1999, **35** (5): 17~21.
- [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.
FANG Wei, HE Junchao, LU Xueke, et al. Intensive cultivation technology of *Phyllostachys praecox* stands [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1994, **11** (2): 121~128.
- [3] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响[J]. 生态学报, 2002, **22** (4): 508~512.
ZHANG Cheng'e, LIANG Yinli, HE Xiubin. Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22** (4): 508~512.
- [4] 鲁如坤. 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.
- [5] 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.
- [6] 沈程文, 肖润林, 徐华勤, 等. 覆盖与间作对亚热带丘陵区茶园土壤微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2006, **20** (3): 141~144.
SHEN Chengwen, XIAO Runlin, XU Huaqin, et al. Effects of cover and intercropping on soil microbial biomass of tea plantations in subtropical hilly region [J]. *J Soil Water Conserv*, 2006, **20** (3): 141~144.
- [7] 周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变[J]. 林业科学, 2006, **42** (6): 124~128.
ZHOU Guomo, XU Jianming, WU Jiasen, et al. Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of *Phyllostachys pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (6): 124~128.
- [8] TARAFDAR J C, MEENA S C, KATHJU S. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during

- decomposing [J]. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37**: 157 – 160.
- [9] ZELLER V, BARDGETT R D, TAPPEINER U. Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: A study of land abandonment along a north-south gradient in the European Alps [J]. *Soil Biol Biochem*, 2001, **33**: 639 – 649.
- [10] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量的研究[J]. 土壤通报, 1998, **29** (6): 276 – 278.
CHEN Guochao, HE Zhenli. Study of microbial biomass under different utilization of red soil [J]. *Chin J Soil Sci*, 1998, **29** (6): 276 – 278.
- [11] WARDLE D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global synthesis [J]. *Soil Biol Biochem*, 1998, **30** (13): 1627 – 1637.
- [12] 孔宏敏, 何圆球, 吴大付, 等. 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (5): 782 – 786.
KONG Hongmin, HE Yuanqiu, WU Dafu, et al. Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility of upland red soil [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (5): 782 – 786.
- [13] 黄芳, 蔡荣荣, 孙达, 等. 集约经营雷竹林土壤氮素状态及氮平衡的估算[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, **13** (6): 1193 – 1196.
HUANG Fang, CAI Rongrong, SUN Da, et al. Soil nitrogen status and estimated nitrogen balance budget in an intensive managed *Phyllostachys praecox* stand [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2007, **13** (6): 1193 – 1196.
- [14] 苏娜, 杨丽娟, 周崇俊, 等. 有机肥与氮肥配施对设施土壤中碱解氮含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, **34**(24): 6542 – 6543.
SU Na, YANG Lijuan, ZHOU Chongjun, et al. Effect of the application of organic and nitrogen fertilizer on the content of alkali hydrolysable N in soil [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2006, **34** (24): 6542 – 6543.
- [15] 孙达, 黄芳, 蔡荣荣, 等. 集约经营雷竹林土壤磷素的时空变化[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (6): 670 – 674.
SUN Da, HUANG Fang, CAI Rongrong, et al. Temporal and spatial variation of soil phosphorus in *Phyllostachys praecox* stands under intensive cultivation management [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (6): 670 – 674.
- [16] 陈国潮, 何振立, 黄昌勇. 茶园红壤微生物量磷与土壤磷以及磷植物有效性之间的关系研究[J]. 土壤学报, 2001, **38** (1): 75 – 80.
CHEN Guochao, HE Zhenli, HUANG Changyong. Study on relationships among microbial biomass P, soil P, and plant-availability of P in red soils [J]. *Acta Pedol Sin*, 2001, **38** (1): 75 – 80.
- [17] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土微生物量磷动态变化及影响因素[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (10): 1897 – 1902.
LI Dongpo, WU Zhijie, CHEN Lijun, et al. Dynamics of microbial biomass P and its affecting factors in a long-term fertilized black soil [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (10): 1897 – 1902.
- [18] GYANESHWAR P, NARESH K G, PAREKH L J. Effect of buffering on the phosphate-solubilizing ability of microorganisms [J]. *World J Microbiol*, 1998, **14**: 669 – 673.
- [19] 孙进, 徐阳春, 沈其荣, 等. 施用保水剂和稻草覆盖对作物和土壤的效应[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (5): 731 – 734.
SUN Jin, XU Yangchun, SHEN Qirong, et al. Effects of rice straw mulch and water-retaining agent on soil properties and crop yield [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (5): 731 – 734.
- [20] SMITH J L, PAUL E A. The significances of soil microbial biomass estimation [M]//BOLIAG J M, STOTZKY G. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker Inc., 1991: 359 – 396.
- [21] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 等. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变[J]. 应用生态学报, 2008, **19** (3): 517 – 523.
XUE Lian, LIU Guobin, DAI Quanhou, et al. Dynamic changes of soil microbial biomass in the restoration process of shrub plantations in loess hilly area [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19** (3): 517 – 523.
- [22] 张桂林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤学报, 2006, **43** (5): 843 – 850.
ZHANG Gaolin, LI Zhongpei, WANG Xingxiang. Soil degradation and its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture [J]. *Acta Pedol Sin*, 2006, **43** (5): 843 – 850.