

土地利用方式对西双版纳热带森林土壤微生物生物量碳的影响^{*}

方丽娜^{1,2} 杨效东^{1**} 杜 杰^{1,2}

(¹ 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南勐腊 666303; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 2006 年 1 月至 2007 年 9 月, 通过去除凋落物和切根控制试验, 研究了热带森林不同土地利用方式(次生林/橡胶林)对西双版纳热带森林土壤微生物生物量碳的影响. 结果表明: 次生林转变为橡胶林后, 土壤养分及植物碳输入均明显减少, 土壤微生物生物量碳显著降低; 两种林型雨季土壤微生物生物量碳均高于干季, 其中次生林土壤微生物生物量碳与土壤温度呈显著正相关, 而橡胶林则与土壤湿度呈正相关关系; 次生林土壤微生物生物量碳受植物根系养分输入的调控, 地上凋落物数量的影响较小, 土壤微生物生物量碳与细根生物量及其 C、N 输入量呈显著正相关; 橡胶林细根生物量及其 C、N 输入量, 以及地上凋落物均未显著影响土壤微生物生物量碳. 橡胶种植导致土壤养分含量和土壤 pH 值降低, 加上严重的人为干扰, 土壤微生物生物量碳减少, 且其调控因素发生显著变化, 最终可能影响土壤的其他生态过程.

关键词 土地利用 次生林 橡胶林 土壤微生物生物量碳 植物碳输入

文章编号 1001-9332(2011)04-0837-08 **中图分类号** Q145.1 **文献标识码** A

Effects of land use pattern on soil microbial biomass carbon in Xishuangbanna. FANG Li-na^{1,2}, YANG Xiao-dong¹, DU Jie^{1,2} (¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(4): 837–844.

Abstract: In January 2006 – September 2007, a controlled litter-removal and root-cutting experiment was conducted to study the effects of different land use patterns (secondary forest or rubber plantation) on soil microbial biomass carbon in Xishuangbanna, China. After the secondary forest converted into rubber plantation, soil nutrient contents and plant carbon input decreased obviously, and soil microbial biomass carbon had a significant decrease. These two forest types had a higher soil microbial biomass carbon in rainy season than in dry season. In secondary forest, soil microbial biomass carbon was significantly positively correlated with soil temperature; while in rubber plantation, the microbial biomass carbon was positively correlated with soil moisture. In secondary forest, soil microbial biomass carbon was controlled by the nutrient inputs from plant roots, but less affected by litter amount. Also in secondary forest, soil microbial biomass carbon was significantly positively correlated with fine-root biomass and its C and N inputs. In rubber plantation, both the fine-root biomass and its C and N inputs and the litter amount had lesser effects on soil microbial biomass carbon. These results suggested that planting rubber induced the decreases of soil nutrient contents and pH value, and, added with serious artificial disturbances, reduced the soil microbial biomass carbon and changed its controlling factors, which in turn would affect other soil ecological processes.

Key words: land use; secondary forest; rubber plantation; soil microbial biomass carbon; plant carbon input.

* 国家自然科学基金项目(30970539)和国家科技部国际科技合作项目(2007DFA91660)资助.

** 通讯作者. E-mail: yangxd@xtbg.ac.cn

2010-10-09 收稿, 2011-01-06 接受.

土壤微生物是土壤有机质中最为活跃的组成成分,其活性是调节土壤理化性质的主要驱动因素,而其生物量是土壤养分元素活性库的重要维持者,通过其种群的消长与植物的养分吸收形成互补,从而维持和调节着生态系统的生物地球化学过程.在森林土壤中,土壤微生物是联系凋落物分解、养分元素 C、N 等矿化及土壤与大气 C、N 交换等过程的关键,在森林生态过程中具有重要作用.

在温带针叶林、落叶林和热带常绿阔叶林中,植物和土壤微生物对养分的不同步吸收被认为是保留养分和维持生态系统生产力的一种机制“春坝”假说^[1-2].虽然土壤温、湿度,养分元素及食物网的独立与交互作用均可能影响土壤微生物生物量大小,但是土壤中可利用碳(主要来自植物的输入)的数量和质量是调节土壤微生物生物量增长的驱动因子^[3].Groffmann 等^[4]研究表明,植物凋落物数量和质量是调控土壤微生物生物量碳增减的主要因素,其机制在于凋落物分解过程中所产生的沥出液为土壤微生物生长提供了可利用碳,刺激微生物的活性^[5].也有研究发现,地表凋落物对土壤微生物生物量碳没有调节作用^[6],如 Ruan 等^[7]在热带雨林地区的研究发现,土壤微生物生物量的年动态节律比森林凋落物提前一个月,并且土壤微生物生物量碳与土壤温、湿度和降雨量没有相关性,这似乎表明热带地区土壤微生物的变化并不直接受控于土壤温、湿度和植物的地上碳(凋落物)输入.更多的研究则认为,植物根系的分泌物对土壤微生物生物量碳产生了主要的影响,进一步导致了土壤呼吸的变化^[8-9].Feng 等^[10]研究认为,在亚热带常绿阔叶林,植物光合作用所产生的有机物质通过植物根系分泌物调控着不同季节土壤微生物生物量的增减.

综上,不同土地利用方式引起的植物群落组成和结构上的变化,及其相应地上、地下资源输入的改变势必对土壤微生物生物量碳产生重要影响.但有关这方面的研究在热带地区开展较少.近些年来,地处我国西南部热带北缘的西双版纳热带森林天然覆盖率正逐年下降,在众多土地利用方式中,橡胶林地扩张最为迅速.当热带森林转为人工橡胶林后,群落结构由多层、多种变为单层、单优,林内不仅水热条件改变^[11],植物的地上和地下养分输入也发生质与量的变化,从而导致土壤生物群落结构发生改变^[12].这不仅影响了土壤中养分元素的分解和积累,也可能对土壤微生物生物量碳产生巨大的影响^[13].因此,比较研究次生林和橡胶林两种不同土

地利用方式下土壤微生物生物量碳的变化特点,探讨调控土壤微生物生物量碳变化的主要因素,对了解不同土地利用方式下的土壤养分循环过程有着重要意义.本研究拟回答以下科学问题:1) 热带次生林和橡胶林土壤微生物生物量碳的季节(干季和雨季)变化差异及其与土壤温湿度的关系;2) 热带土地利用方式由次生林转变为橡胶林后,植物地上、地下资源输入的变化是否改变了林地土壤微生物生物量碳的格局;3) 分析热带次生林和橡胶林植物地上、地下资源输入驱动土壤微生物生物量碳变化的原因.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

研究地位于云南省西双版纳傣族自治州勐腊县勐仑镇(21°56′N, 101°15′E),海拔约 580 m.该地区属北热带季风气候,一年中有雾凉季(11 月至翌年 2 月)、干热季(3—4 月)和雨季(5—10 月)之分,年平均气温 21.5 °C, ≥ 10 °C 积温 7860 °C,平均最低气温 7.5 °C,年日照时数 1828 h,年降水量 1557 mm,年相对湿度 86%,地带性植被为热带雨林和季雨林,土壤为由白垩纪砂岩发育而成的砖红壤.

本研究所选的橡胶林和次生林均在中国科学院西双版纳热带森林生态系统研究站的人工群落试验区.橡胶林是以 30 年生橡胶树(*Hevea brasiliensis*)为主的单优种人工群落,采用宽窄行密株的方式种植,树高 15~25 m,乔木层林木密度 370 株·hm⁻²;次生林是热带雨林经刀耕火种后撂荒自然演替形成的 40 年左右次生群落林,优势种为木姜子(*Litsea atrata*)、印度栲(*Castanopsis indica*)、披针叶楠木(*Phoebe lanceolata*)和鹅掌柴(*Schefflera venulosa*),乔木层平均高度在 15~20 m,林木密度 1240 株·hm⁻².2 种植被类型样地的坡度均为 20°~30°.橡胶林内人类活动(如割胶、施肥、喷洒除草剂等)干扰较强,次生林内人为干扰极少.

1.2 试验设计

在试验地各选取 3 块人工橡胶林和自然次生林片段作为研究样地,每块样地面积 50 m × 50 m,并将相邻的次生林和橡胶林片段视为一对组合,两林地的距离不超过 200 m,且具相同坡向.2006 年 1 月底,在每块样地中分别设置 8 个 2 m × 2 m 的小样方(6 块样地共 48 个小样方).对每块样地中的 8 个小样方随机设置 4 种不同处理:切根(NR)、去除凋落物(NL)、切根 + 去除凋落物(NR + NL)和对照

(CK), 每种处理 2 个重复样方, 即每种处理在每一类型林地共 6 个重复. 其中, 切根处理: 围绕小样方挖一条深 50 cm、宽约 30 cm 的沟, 沿沟将小样方围上塑料薄膜, 再将土埋回; 去除凋落物处理: 在去除凋落物处理的小样方上搭建一个 2.2 m × 2.2 m、离地面 1.5 m 高的 60 目尼龙网罩, 以截获从林冠落下的凋落物, 每隔半月将所截获的凋落物移除.

1.3 取样及测定方法

1) 土壤微生物生物量碳的测定: 用直径 5 cm、高 10 cm 的土壤环刀在每个处理样方中取 2 个 0 ~ 10 cm 土层的原状土样混合, 装入自封袋中并及时送实验室处理. 在室内挑除土壤中石块、根系和小动物等杂物, 采用氯仿熏蒸-培养法测定土壤微生物生物量碳^[14], 每 2 个月测定 1 次.

2) 地表凋落物的取样及现存量的测定: 每次土壤取样的同时, 在每一处理样方内按 25 cm × 25 cm 面积收集地表凋落物, 带回实验室, 放在直径 1 mm 的尼龙网上, 用水洗去附着在凋落物上的泥土, 放至烘箱在 65 °C 下烘干至恒量. 其生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) 和 C、N 现存量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) 的计算公式为:

地表凋落物生物量 = 取样框内地表凋落物干质量 (g) / (0.25 m^2)

地表凋落物 C、N 现存量 = 地表凋落物生物量 × 地表凋落物 C、N 含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) / 1000

3) 细根采集及生物量的测定: 取土样的同时, 在每个处理小样方内随机设置 2 个取样点. 用直径 5 cm 的土壤环刀在每个取样点按 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 分层取样. 用手拣法把土样中的所有植物根系检出, 放在 2 mm 网筛上洗净, 在 70 °C 的烘箱内烘干至恒量, 分径级 ($\leq 1 \text{ mm}$ 、1 ~ 2 mm、 $> 2 \text{ mm}$) 称量. 细根 ($\leq 1 \text{ mm}$) 生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) 计算公式为:

细根生物量 = 平均每土芯细根质量 × $10^4 / [\pi \times (d/2)^2]$. 其中, d 代表土壤环刀直径 0.05 m.

细根 C、N 现存量 = 细根生物量 × 细根 C、N 含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) / 1000

4) 土壤温度测定: 在每次取土样时, 用地温计测定 0 ~ 10 cm 土壤层温度; 土壤湿度采用称量法测定: 分别称取各处理样方的新鲜土样 15 ~ 20 g 置于铝盒中, 在 105 °C 的烘箱中烘干至恒量, 土壤湿度 = (土壤鲜质量 - 土壤干质量) / 土壤鲜质量.

对各处理样方中获取的地表凋落物、细根于 65 °C 烘干至恒量, 同时将所取不同层次土样带回实验室留少许 (10 g 左右) 风干, 之后将凋落物和土壤待

测样交中国科学院西双版纳热带植物园生物地球化学实验室进行理化分析. 土壤有机质采用硫酸-重铬酸钾氧化-外加热法测定; 全 N 采用浓 H_2SO_4 消解, 开氏定 N 法测定; 全 Ca 采用 HClO_4 -HF 消解, ICP-AES 测定; 全 K 采用 HClO_4 -HF 消解, ICP-AES 测定.

1.4 数据处理

所有数据均采用 SPSS 15.0 软件进行分析. 用独立样本 t 检验比较两林地土壤理化性质. 采用重复测量方差分析 (repeated-measures ANOVA)、一元方差分析 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较不同处理数据组间的差异, 用 Pearson 相关系数评价不同因子间的相关关系; 显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$.

2 结果与分析

2.1 研究地区气温和降水量的变化

由图 1 可以看出, 2006 年 1 月至 2007 年 9 月的年最高气温和最低气温分别出现在 2007 年 6 月 (26.1 °C) 和 2007 年 1 月 (16.1 °C); 2006 年 7 月的降水量最大, 达 428.5 mm, 2006 年 1 月最小, 为 0 mm.

2.2 不同林地的土壤理化性质

由表 1 可以看出, 除全 Ca 和全 K 外, 次生林的土壤温度、有机质、全 N 含量及植物地表凋落物和细根现存量均显著高于橡胶林, 而土壤湿度在两林地间没有显著差异 (表 1).

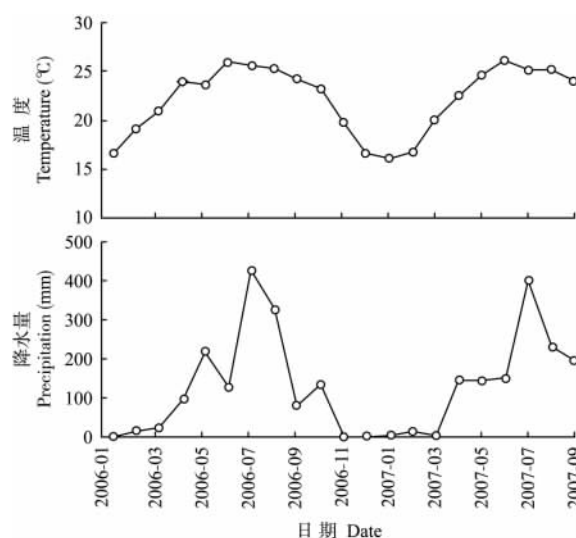


图 1 研究地区气温和降水量的变化 (2006-01—2007-09)

Fig. 1 Variation of temperature and rainfall in study area (2006-01 - 2007-09).

表 1 不同林地土壤理化性质
Table 1 Soil properties in forest type (mean ± SE)

土地利用类型 Land use pattern	土壤湿度 Soil moisture (%)	土壤温度 Soil temperature (°C)	有机质 Organic matter (g · kg ⁻¹)	全氮 Total N (g · kg ⁻¹)	全钙 Total Ca (g · kg ⁻¹)	全钾 Total K (g · kg ⁻¹)	地表凋落物 Litter (g · m ⁻²)	细根 Fine root (g · m ⁻²)
次生林 Secondary forest	33.0 ± 0.9a	18.28 ± 0.09a	43.88 ± 1.21a	2.18 ± 0.05a	0.14 ± 0.01a	11.35 ± 0.42a	168.52 ± 14.8a	165.12 ± 12.17a
橡胶林 Rubber plantation	31.9 ± 0.4a	17.84 ± 0.12b	33.16 ± 1.07b	1.81 ± 0.04b	0.26 ± 0.03b	14.00 ± 1.08b	94.88 ± 6.92b	70.72 ± 8.70b

同列不同小写字母表示不同林地间差异显著(其中有机质、全氮、全钙、全钾 $n=9$, 土壤湿度、土壤温度、微生物生物量碳、地表凋落物、细根 $n=6$) Different small letters within column indicated significant differences between different forest types (organic matter, total N, total C $n=9$; moisture, temperature, microbe biomass C, litter, fine-root $n=6$).

2.3 不同林地土壤微生物生物量碳的变化

林型和季节变化导致土壤微生物生物量碳呈现明显差异(表1), 两林地土壤微生物生物量碳均表现出雨季显著高于干季, 次生林显著高于橡胶林(图2)。

植物地上、地下资源输入(去根和去除凋落物)对土壤微生物生物量碳有显著的独立和交互作用(表2), 表现为次生林地上凋落物和地下根系的去除处理对土壤微生物生物量碳有显著影响, 且在雨季达到极显著差异($P=0.002$)。样方去除植物根系(切根和去凋+切根处理)后, 土壤微生物生物量碳显著降低, 但仅去除地上凋落物未对土壤微生物生物量碳产生显著影响。橡胶林中, 植物地上和地下资源输入处理均未对土壤微生物生物量碳产生显著影响($P=0.858$)(图2)。

2.4 不同林地地表凋落物、细根生物量及养分元素的变化

次生林和橡胶林不同处理样方的地表凋落物

表 2 季节、林型和植物地上、地下资源输入处理对土壤微生物生物量碳影响的重复测量方差分析
Table 2 Results of repeated-measures ANOVA for the effects of sampling season, forest types, aboveground and belowground plant input treatments on microbial biomass carbon

来 源 Source	df	F	P
季 节 Season ($n=72$)	1	26.997	<0.001
林 型 Forest ($n=72$)	1	21.207	<0.001
处 理 Treatment ($n=36$)	3	4.282	0.006
季节 × 林型 Season × forest	1	1.557	0.214
季节 × 处理 Season × treatment	3	2.324	0.078
林型 × 处理 Forest × treatment	3	3.637	0.015
季节 × 处理 × 林型 Season × treatment × forest	3	0.803	0.494

和细根现存生物量存在显著差异, 以雨季的差异最为显著。其中地表凋落物分别为 $P<0.001$ 和 $P=0.023$, 细根生物量为 $P=0.009$ 和 $P<0.001$; 在干季, 仅次生林各处理样方的地表凋落物现存量有显著差异($P<0.001$), 而细根生物量差异不显著($P=0.201$); 橡胶林中地表凋落物($P=0.189$)和细根现存生物量($P=0.209$)均未表现出显著差异(图3)。

两林地各处理间地表凋落物现存量表现出相同的趋势, 即 $CK>NR>NL>NR+NL$, 其中 CK 和 NR 显著地高于 NL 和 $NR+NL$; 细根生物量也具相同变化格局, 即 $CK>NL>NR+NL>NR$, 其中 CK 和 NL 显著地高于 NR 和 $NR+NL$ (图3)。

图4显示, 两林地不同处理样方的地表凋落物

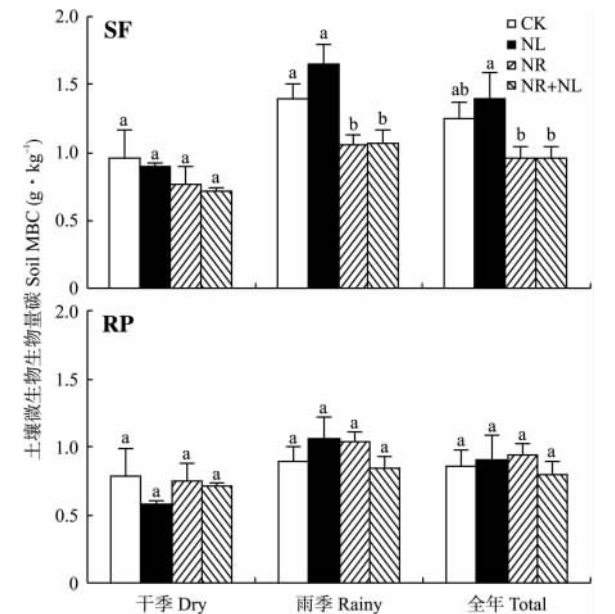


图 2 不同林地各处理的土壤微生物生物量碳
Fig. 2 Soil microbial biomass carbon under different treatments in forest types (mean ± SE).

SF: 次生林 Secondary forest; RP: 橡胶林 Rubber plantation. CK: 对照 Control; NL: 去凋落物 No litter; NR: 切根 No root; NR + NL: 去掉落物 + 切根 No litter + no root. 不同字母代表处理间显著差异 Different letters indicated significant differences among treatments. 下同 The same below.

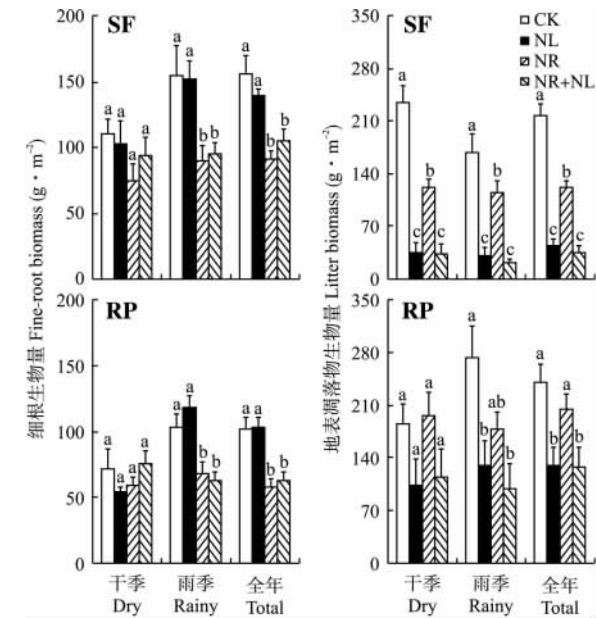


图3 不同林地各处理地表凋落物和细根生物量
Fig.3 Comparison of litter and fine-root biomasses among different treatments in tropical secondary forest and rubber plantation (mean $\pm$ SE).

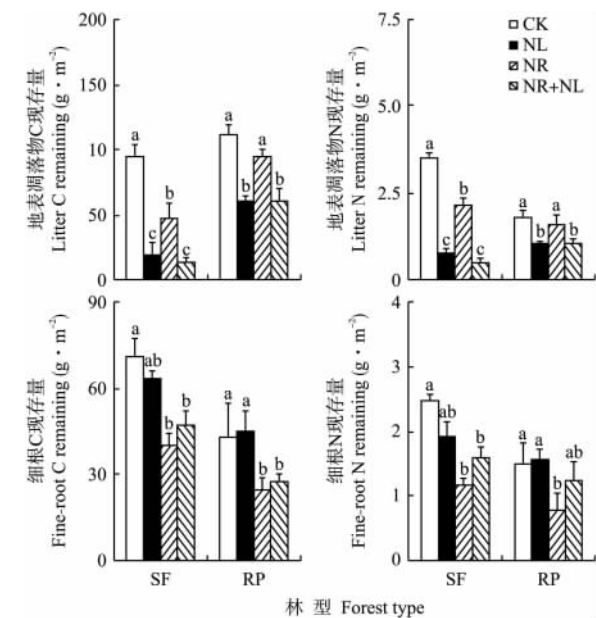


图4 不同林地各处理地表凋落物和细根 C、N 元素现存量
Fig.4 Litter and fine-root C and N remaining among different treatments in forest types (mean $\pm$ SE).

物和细根 C、N 元素现存量均呈显著差异。次生林地表凋落物的 C、N 元素现存量以 CK 最高,其次为 NR 样方,NL、NL + NR 最少;橡胶林则表现为 CK 和 NR 的凋落物 C、N 现存量显著高于 NL 和 NL + NR 样方。细根的 C、N 现存量在两林地各处理样方间具有相似的变化格局,均呈现出 CK 样方显著高于 NR 和 NL + NR 样方。

2.5 土壤微生物生物量碳与环境因素的关系

由表 3 可以看出,次生林中土壤微生物生物量碳与土壤温度有显著的正相关关系,而在橡胶林则与土壤湿度呈显著的正相关,与土壤温度的相关关系不显著。

次生林在雨季和干季的土壤微生物生物量碳与样方细根生物量和 C、N 元素现存量均呈显著正相关关系,橡胶林仅在雨季有显著正相关关系。

表 3 不同林地土壤微生物生物量碳(BMC)与主要环境因子的相关系数
Table 3 Correlations between soil microbial biomass carbon (BMC) and environmental factors in tropical secondary forest and rubber plantation

环境因子 Environmental factor	次生林 Secondary forest		橡胶林 Rubber plantation	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
土壤温度 Soil temperature	0.33	0.001	0.13	0.079
土壤湿度 Soil moisture	n. s.		0.14	0.044
地表凋落物 Litter biomass	n. s.		n. s.	
凋落物现存量 C	n. s.		n. s.	
Litter remaining N	n. s.		n. s.	
细根生物量 I	0.41	0.05	0.39	0.05
Fine root biomass II	0.42	0.04	0.36	0.08
细根现存量 C	0.33	0.05	0.21	0.004
Fine root remaining N	0.48	0.04	0.19	0.013

I : 雨季 Rainy; II : 干季 Dry season.

3 讨 论

3.1 不同林地土壤微生物生物量碳的季节变化

本研究结果显示,次生林和橡胶林的微生物生物量碳均具有显著的季节性差异,表现为雨季高于干季.这与 Thompson 等^[15]和 Wu 等^[16]的研究结果一致. Devi 和 Yadava^[17]对印度橡树混交林的研究结果表明,土壤微生物生物量碳、氮、磷在雨季达到最高,干季最低.这是因为雨季较高的土壤温度和湿度更有利于土壤微生物的生长,因而微生物会固定更多的碳和氮。

土壤微生物生物量碳的季节动态与土壤温、湿度的变化密切相关^[17-18]。本研究结果表明,次生林中土壤微生物生物量碳的季节变化与土壤温度有显著正相关关系,而在橡胶林中则与土壤湿度存在显著的正相关.这是因为次生林的植被覆盖度较好,林内湿度相对较高而温度较低;橡胶林群落植被单一,盖度降低,林内蒸发量大,土壤湿度相对降低^[19],因此土壤温、湿度可能成为影响土壤微生物生物量碳季节变化的主要因子.土地利用方式的改变导致了热带地区森林植被结构的变化,使影响土壤微生物

群落结构的关键因子的主导地位发生变化,最终可能导致土壤生态过程的变化^[20-21]。

3.2 植物资源输入对土壤微生物生物量碳的影响

土壤中的 C 是调控土壤微生物生长的主要因素^[3,22]。随着土壤中有效 C 含量的减少,土壤微生物数量下降,微生物群落结构会发生变化^[23]。而土壤中的 N 是土壤微生物合成蛋白质、核苷酸等生物大分子的重要元素。因此,土壤中 C、N 成为限制土壤微生物群落活性的重要因子^[24]。本研究结果表明,植物细根生物量及其 C、N 现存量与土壤微生物生物量碳呈显著的正相关关系(表 3)。与对照相比,两林地切根处理样方中的细根生物量及其 C、N 现存量显著降低(图 3、图 4),土壤微生物生物量碳明显下降(图 2),进一步表明植物根系的养分输入是影响土壤 C、N 元素以及土壤微生物生物量碳的主要因素^[6,25-26]。

土壤微生物生物量碳在一年中的变化可能与根际分泌物有关^[9]。研究发现,在热带常绿阔叶林,植物生长旺季(雨季)的土壤微生物生物量碳维持在较低水平,植物对土壤养分的大量需求限制了土壤微生物对养分的利用,而在植物休眠季节(干季)则可维持较高的微生物生物量水平^[20-21]。本研究结果显示,干季两林地不同根系处理样方间土壤微生物生物量碳没有显著差异,而雨季差异显著。结合该地区的水热条件(图 1),干季(12 月至次年 5 月)降水量较少,气温很低,植物生长缓慢或停止^[27],不同处理间的细根养分输入量的变化不显著(图 3),导致土壤微生物生物量碳在不同植物切根处理样方间的差异不显著;而雨季是植物和土壤微生物的生长旺季,植物根系分泌物的增加为土壤微生物的生长提供了丰富的资源^[25],而切根处理使样方中养分物质(C、N 等)减少,从而显著影响了土壤微生物生物量碳的增速。

王国兵等^[21]研究发现,清除地表凋落物后,土壤微生物生物量碳显著下降,森林凋落物养分输入量的季节变化是驱动土壤微生物生物量碳增减的另一个重要因素,地上有机物输入量越大,土壤微生物生物量碳越高。本研究表明,两林地地表凋落物对土壤微生物生物量碳的影响均不显著(图 2),并且地表凋落物和土壤微生物生物量碳无显著相关性(表 3)。其原因可能是土壤碳库有巨大的缓冲作用,在短时间内去除地上凋落物碳输入并不能显著影响土壤碳储量的变化^[6,25-26]。Feng 等^[10]在亚热带常绿阔叶林的研究表明,在环割树皮处理样方中去除凋

落物后,仅使土壤微生物生物量碳降低 4%,而在未环割树皮处理样方中移出凋落物则导致土壤微生物生物量降低 19%。其原因在于环割树皮处理切断了植物根系分泌物的输入,降低了土壤中的微生物生物量碳。在此条件下,地表凋落物对土壤微生物生物量的作用可能被植物根系分泌物所影响。由此认为,土壤微生物生物量碳的增减主要受控于植物地下根系分泌物的调控,而地上植物凋落物的影响相对较弱。此外,这一现象也可能与土壤中复杂的食物网有关。杜杰^[28]研究发现,去除凋落物显著降低了森林中表居型蚯蚓的密度和生物量,而土壤微生物是表居型蚯蚓的食物之一^[29],蚯蚓数量的降低可能导致土壤微生物生物量的增加,从而削弱了凋落物对微生物的影响。Feng 等^[10]也发现,中型土壤动物在增加凋落物的处理中显著增加,可能会降低土壤微生物种群数量。

3.3 土地利用方式与土壤微生物生物量碳的关系

土壤有机质是影响土壤微生物量的重要因素。有机质含量高,可为土壤微生物的生长提供足够的碳、氮物质及能量^[30]。本研究发现,次生林的土壤养分(有机质和全 N 含量)、植物的碳源输入(地表凋落物和细根)和水热条件都显著好于橡胶林,因此具有更高的土壤微生物生物量碳(表 1、图 2)。在次生林改变为橡胶林后,土壤养分含量降低,致使土壤微生物生物量碳减少。此外,Joergensen 等^[31]认为,土壤 pH 也是影响土壤微生物生物量碳的主要因素,pH < 5 时,会抑制土壤中微生物的生长,土壤微生物生物量碳明显减少。张敏等^[13]在同一地区的研究发现,热带森林因土地利用方式转变为橡胶林后,pH 值比热带次生林土壤低 1.1,林内地表土壤微生物生物量碳含量为热带次生林土壤的 60% ~ 70%。此外,次生林土壤养分主要来自植物的输入,人类的干扰较少;而橡胶林的人为干扰比较严重,林地土壤养分受人为施肥(每年施入 2 次化肥,每次每棵树施入氮磷钾复合肥 1 kg)、除草剂、杀虫剂等和割胶季节的踩踏、施肥期的翻耕等的影响较大,也可能影响了橡胶林地上植物资源输入对土壤微生物生物量碳的作用。

本研究通过控制试验分析了两种土地利用方式林地的植物地上、地下资源输入对土壤微生物生物量碳的单一和交互作用,结果表明,次生林中植物地下根系的养分交换是调控土壤微生物生物量碳的主导因素,但橡胶林中则改变了这一调控格局。由此认为,土地利用方式的改变不仅使地上的植被结构和

多样性发生变化,而且因植物地上和地下资源输入的改变,影响了土壤微生物生物量碳的变化模式和调控机制,其结果将对人工林生态系统的土壤生态过程和碳循环等产生重要的影响。

致 谢 野外工作得到中国科学院西双版纳热带森林生态系统定位研究站的支持,李桥顺在野外及室内工作上给予帮助,一并表示感谢。

参考文献

- [1] Zak DR, Groffman PM, Pregitzer KS, *et al.* The vernal dam: Plant-microbe competition for nitrogen in northern hardwood forests. *Ecology*, 1990, **71**: 651 – 656
- [2] Warren M, Zou X-M (邹晓明). Seasonal nitrogen retention in temperate hardwood forest: The “vernal dam” hypothesis and case studies. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2003, **27**(1): 11 – 15 (in Chinese)
- [3] Wardle DA. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, 1992, **67**: 321 – 358
- [4] Groffmann PM, Zak DR, Christensen S, *et al.* Early spring nitrogen dynamics in a temperate forest landscape. *Ecology*, 1993, **74**: 1579 – 1585
- [5] Garcia-Oliva F, Sveshtarova B, Magdalena O. Seasonal effects on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest ecosystem in western Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 2003, **19**: 179 – 188
- [6] Fisk MC, Fahey TJ. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests. *Biogeochemistry*, 2001, **53**: 201 – 223
- [7] Ruan HH, Zou XM, Scatena FN, *et al.* Asynchronous fluctuation of soil microbial biomass and plant litterfall in a tropical wet forest. *Plant and Soil*, 2004, **260**: 147 – 154
- [8] Boone RD, Nadelhoffer KJ, Canary JD, *et al.* Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature*, 1998, **396**: 570 – 572
- [9] Hogberg P, Nordgren A, Buchmann N, *et al.* Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, 2001, **411**: 789 – 792
- [10] Feng WT, Zou XM, Schaefer D. Above- and below-ground carbon inputs affect seasonal variations of soil microbial biomass in a subtropical monsoon forest of southwest China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, **41**: 978 – 983
- [11] Li H-M (李红梅), Liu W-J (刘文杰). Laws of temperature variation of artificial rainforest soil in Xishuangbanna. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Gechnology* (云南热带作物科技), 1997, **20**(1): 16 – 20 (in Chinese)
- [12] Yang X-D (杨效东), Sha L-Q (沙丽清). Preliminary investigation on time and space variation of structure of soil fauna community in artificial and secondary forests of Xishuangbanna. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2000, **37**(1): 122 – 129 (in Chinese)
- [13] Zhang M (张 敏), Zou X-M (邹晓明). Comparison of soil C and N in rubber plantation and seasonal rain forest. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(5): 1013 – 1019 (in Chinese)
- [14] Jenkinson DS, Powlson DS. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1976, **8**: 209 – 213
- [15] Thompson J, Proctor J, Scott DA, *et al.* Rain forest on Marac Island, Roraima, Brazil: Soil and litter process response to artificial gaps. *Forest Ecology and Management*, 1998, **102**: 291 – 303
- [16] Wu Y-X (吴艺雪), Yang X-D (杨效东), Yu G-B (于广彬). Seasonal fluctuation of soil microbial biomass carbon and its influence factors in two types of tropical rainforests. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2009, **18**(2): 658 – 663 (in Chinese)
- [17] Devi NB, Yadava PS. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. *Applied Soil Ecology*, 2006, **31**: 220 – 227
- [18] Edwards KA, McCulloch J, Kershaw GP, *et al.* Soil microbial and nutrient dynamics in a wet Arctic sedge meadow in late winter and early spring. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**: 2843 – 2851
- [19] Fang Q-L (房秋兰), Sha L-Q (沙丽清). Soil respiration in a tropical seasonal rain forest and rubber plantation in Xishuangbanna, Yunnan, SW China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2006, **30**(1): 97 – 103 (in Chinese)
- [20] Barbhuiya AR, Arunachalam A, Pandey HN, *et al.* Dynamics of soil microbial biomass C, N and P in disturbed and undisturbed stands of a tropical wet-evergreen forest. *European Journal of Soil Biology*, 2004, **40**: 113 – 121
- [21] Wang G-B (王国兵), Ruan H-H (阮宏华), Tang Y-F (唐燕飞), *et al.* Seasonal fluctuation of soil microbial biomass carbon in secondary oak forest and *Pinus taeda* plantation in north subtropical area of China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(1): 37 – 42 (in Chinese)

- [22] Hassink J. Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in Dutch grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, **26**: 1573 – 1581
- [23] Fierer N, Schimel JP, Holden PA. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**: 167 – 176
- [24] Cookson WR, Osman M, Marschner P, *et al.* Controls on soil nitrogen cycling and microbial community composition across land use and incubation temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**: 744 – 756
- [25] Kramer C, Trumbore S, Frober M, *et al.* Recent (<4 year old) leaf litter is not a major source of microbial carbon in a temperate forest mineral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, **42**: 1028 – 1037
- [26] Wang C, Long R, Wang Q, *et al.* Fertilization and litter effects on the functional group biomass, species diversity of plants, microbial biomass, and enzyme activity of two alpine meadow communities. *Plant and Soil*, 2010, **331**: 377 – 389
- [27] Lieberman D, Lieberman M, Hartshorn G, *et al.* Growth rates and age-size relationships of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 1985, **1**: 97 – 109
- [28] Du J (杜杰). Effects of Plant Carbon Inputs on Earthworm Distribution and Population Dynamics in Rubber Plantation and Secondary Forest in Xishuangbanna, SW China. Master Thesis. Kunming: Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2008 (in Chinese)
- [29] Bouche M. Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, 1977, **25**: 122 – 132
- [30] Jin F-H (金发会), Li S-Q (李世清), Lu H-L (卢红玲), *et al.* Relationships of microbial biomass carbon and nitrogen with particle composition and nitrogen mineralization potential in calcareous soil. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2007, **18**(12): 2739 – 2746 (in Chinese)
- [31] Joergensen RG, Anderson TH, Wolters V. Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, **19**: 141 – 147

作者简介 方丽娜,女,1980年生,硕士研究生.主要从事土壤生态学研究. E-mail: fanglina2000@163.com

责任编辑 李凤琴
