

海南儋州 5 种林地土壤微生物生物量碳对比

李 君^{1,2}, 兰国玉^{1*}, 李玉武³

(1. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海南 儋州 571737; 2. 宜昌市森林资源监测站, 湖北 宜昌 443000;

3. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘 要:采用时空替代法,选取 5 a(幼龄林)、10 a(中龄林)、30 a(老龄林)的橡胶林、30 a 桉树林和热带次生林,研究不同树龄橡胶林土壤微生物生物量碳含量的分布特征,不同林型土壤微生物生物量碳含量的差异及其随季节的变化。结果表明:5 种林型下的土壤微生物生物量碳由高到低依次为中龄林>幼龄林>次生林>老龄林>桉树林,中龄林、幼龄林和次生林 3 种林型和另外 2 种林型之间均有显著差异($p<0.05$);旱季到雨季,5 种林型土壤微生物生物量碳含量逐渐升高,雨季明显高于旱季;土壤微生物生物量碳含量随土壤深度逐渐降低,5 种林型下 0~10 cm 和 20~30 cm 的土层的微生物生物量碳均有显著差异;不同林型下微生物生物量碳与土壤全氮、全磷、全钾、有机碳、含水率的相关关系均不显著。

关键词:土壤微生物生物量碳;热带次生林;季节变化

中图分类号:S714.3

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2016)03-0063-05

Comparative Studies on Soil Microbial Biomass Carbon in Rubber Forest and Secondary Forest in Danzhou, Hainan Province

LI Jun^{1,2}, LAN Guo-yu^{1*}, LI Yu-wu³

(1. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China;

2. The Forest Resources Monitoring Station of Yichang City, Yichang, Hubei 443000, China;

3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China)

Abstract: The rubber forest with the ages of 5 a (young), 10 a (middle-age), 30 a (old growth rubber forest), and eucalyptus forest with the age of 30 a, as well as tropical secondary forest were selected to investigate the vertical variations of the soil microbial biomass carbon (SMBC), and the differences of SMBC content and the seasonal changes in different forests. The results showed that SMBC of five forest types was in the order of middle age forest > young forest > secondary forest > old growth forest > eucalyptus forest. The middle age forest, young forest and secondary forest were significant different from the other two forest types ($p<0.05$). The contents of SMBC of five forest types increased from dry to the rainy season, and the rainy season was significantly higher than the dry season. SMBC decreased with soil depth, and significantly different between 0—10 cm and 20—30 cm soil layer under five types of forests. There were no significant correlations between SMBC and soil total nitrogen, total phosphorus, total potassium, organic carbon, water content under different forest types.

Key words: soil microbial biomass carbon; tropical secondary forest; seasonal variation

收稿日期:2015-03-30 修回日期:2016-01-15

基金项目: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基金(KLTFE-200601);中国热带农业科学院橡胶研究所农业部橡胶树生物学与遗传资源利用重点实验室开放课题(RRI-KLOF1407)。

作者简介:李 君,男,硕士,研究方向:森林资源监测。E-mail:1090266452@qq.com

* 通信作者:兰国玉,男,副研究员,硕士生导师,研究方向:植物生态。E-mail:langyrri@163.com

土壤微生物是生态系统的重要组成部分,对其研究也越来越受到重视^[1]。微生物作为重要的分解者,其主要作用在于土壤有机物质分解、转化成有效养分,其在整个生物化学循环中起到了不可或缺的作用^[2-3]。目前针对土壤微生物研究的一个重要指标是微生物生物量碳,虽然微生物生物量碳含量只占土壤有机碳的 3% 左右,但却是反映土壤质量最为敏感的指标之一^[4-5]。土壤微生物生物量受土壤类型、土壤深度、土壤理化性质、土地利用方式、植被类型、季节变化、凋落物等因素影响^[6-12],也是目前对微生物生物量碳研究的重要方向。森林生态系统是重要的陆地生态系统,生物量和碳储量巨大,是重要的碳汇和碳库^[13]。橡胶林作为我国热带地区重要的陆地人工林系统,对土壤微生物生物量碳的研究报道较少,研究内容主要集中于季节变化、土壤性质差异和土壤深度等方面^[14-18]。

本研究选取海南儋州地区不同年龄橡胶林、桉树人工林和海南热带次生林,对 0~30 cm 土层内土壤微生物生物量进行对比研究,探究海南地区次生林转种橡胶林之后土壤微生物生物量碳的变化、不同年龄橡胶林与次生林的微生物生物量的差异及其随季节变化,以及人工纯林对土壤微生物生物量碳含量的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地在海南省儋州市中国热带农业科学院试验场(19°28'—19°31'N, 109°28'—109°39'E), 热带湿润季风气候,年平均气温为 23.5℃。受季风影响,全年降雨量分布很不均匀,主要表现为旱季雨季

分明,其中 5—10 月为雨季,占年降雨量的 84%; 11—次年 4 月为旱季,占年降雨量的 16%,海南省年均降雨量为 1 815 mm,各地年均降雨量为 900~2 200 mm。境内地势较为平坦,较为适宜发展橡胶产业。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与基本情况 分别选取幼龄(5 a)、中龄(10 a)和老龄(30 a)3 个不同林龄的橡胶林以及 30 a 桉树林、热带次生林样地,在每个样地内均设置 3 块 20 m×20 m 的标准样方,作为 3 次重复。

3 个不同林龄橡胶林样地种植的橡胶品种均为热研 7—33—97,且 3 块样地均地形平缓,施肥和耕作方式相同。草本层植物主要有散穗弓果黍(*Cynodactylon patens* var. *latifolium*)、越南葛藤(*Pueraria montana*)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、耳草(*Hedyotis auricularia*)等植物,无灌木及其他乔木树种。

桉树林是树龄达到 30 a 的人工林,地形平缓。乔灌木层还混种有少数的米老排(*Mytilaria laosensis*)、天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)、竹柏(*Podocarpus nagi*)等树种,草本植物主要为海芋(*Alocasia macrorrhiza*)和乔木树种幼苗。

热带次生林样地,海拔 302 m,坡度为 45°,西南坡向,乔木层树种主要有薄叶红厚壳(*Calophyllum membranaceum*)、岭南山竹子(*Garcinia oblongifolia*)、山油柑(*Acronychia pedunculata*)、黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)等,灌木层植物主要有益智(*Alpinia oxyphylla*)、细枝龙血树(*Dracaena gracilis*)和单叶省藤(*Calamus simplicifolius*),草本层主要以乔灌木幼苗为主(表 1)。

表 1 样地基本情况及养分特征

Table 1 Characteristics of the plots and soil properties

样地类型	密度 /(株·hm ⁻²)	郁闭度	胸径 /cm	pH	有机碳 /(g·kg ⁻²)	全钾 /(g·kg ⁻²)	全磷 /(g·kg ⁻²)	全氮 /(g·kg ⁻²)
橡胶幼龄林	600	0.5	14.4±0.71	3.73±0.41	16.84±3.05	13.92±1.87	0.76±0.31	0.62±0.12
橡胶中龄林	550	0.7	17.9±0.92	3.77±0.58	24.07±4.17	37.98±3.62	0.73±0.16	1.19±0.17
橡胶老龄林	650	0.8	23.2±1.06	3.95±0.55	12.75±3.16	9.01±1.81	0.55±0.16	0.56±0.09
桉树林	700	0.8	29.3±0.93	4.30±0.69	19.63±4.14	30.33±7.10	0.53±0.13	0.89±0.21
次生林	750	0.9	9.9±0.24	3.78±0.51	24.84±3.14	4.78±0.96	0.34±0.10	0.82±0.16

1.2.2 样品采集 采用 5 点取样法,在每个样方内选取 5 个取样点,分 0~10、10~20 cm 与 20~30 cm 3 个土层取土,并将相同土层混匀,迅速带回实验室,挑去石砾和根系,过 2 mm 筛后低温(4℃)储藏,用于土壤微生物生物量碳和养分分析。2014 年 3 月上旬(旱季)、2014 年 4 月中旬(旱雨季过渡阶段)、2014 年 7 月(雨季)下旬各取样 1 次。雨季取

样时,则等雨后至少 72 h 以后选择天气晴朗时取样。

1.2.3 样品分析和数据处理 土壤微生物生物量碳的测定采用精氨酸培养法^[19]。称取 10 g 烘干土当量的鲜土,置于三角瓶中,加入精氨酸溶液(按 3 mg·kg⁻¹ 土壤量加入),调节土水比至 1:1,在 25℃ 条件下培养 2 h。培养结束后放入-15℃ 的冰

箱中放置 4 h,取出后在室温下解冻。然后加入 20 mL 浓度为 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯化钾溶液,在 25°C 温度下振荡浸提 15 min,过滤。测定滤液中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的含量,换算得到微生物生物量碳含量。计算方法:

$$\omega(C) = 0.01 \times \frac{p \cdot v \cdot ts}{m} \quad (1)$$

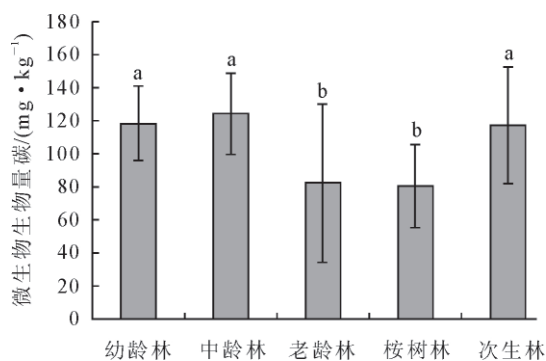
式中, $\omega(C)$:土壤中微生物生物量碳的含量 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; p :测得的滤液中铵态氮的浓度 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; v :显色液的体积 mL; ts :分取倍数 10; m :称取土样质量 g; 0.01:精氨酸诱导氨化法转换为微生物生物量碳的系数。

采用 SAS8.1 和 Excel2007 进行 Duncan 多重比较和相关分析、作图。

2 结果与分析

2.1 不同年龄橡胶林及不同林型土壤微生物生物量碳比较

5 种林型 0~30 cm 深土壤微生物生物量碳含量在 $80.5 \sim 124.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 1),幼龄和中龄橡胶林明显高于老龄橡胶林,次生林高于桉树林,具体大小关系为中龄林>幼龄林>次生林>老龄林>桉树林。多重比较结果显示,老龄林和桉树林之间并无显著差异($p>0.05$),此 2 种林型和另 3 种林型之间均有显著差异($p<0.05$);幼龄林、中龄林和次生林之间无显著差异。



注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

图 1 不同林型土壤微生物生物量碳

Fig. 1 SMBC of different forest types

2.2 不同季节土壤微生物生物量碳变化

不同季节中,5 种林型的微生物生物量碳含量在 $51.03 \sim 162.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,旱季的老龄林最低,最高则是雨季的次生林。从旱季进入雨季,5 种林型土壤微生物生物量碳含量均逐渐升高,雨季明显高于旱季,且旱季和雨季之间均有显著差异(图 2)。

2.3 土壤微生物生物量碳随土壤深度的变化

5 种不同林型土壤微生物生物量碳含量均随土壤深度逐渐减小。幼龄林的 0~10 cm 土层微生物生物量碳含量要显著高于另外 2 个土层($p<$

0.05);中龄林的 0~10 cm 和 10~20 cm 土层要显著高于 20~30 cm 土层微生物生物量碳含量,差异达到显著性水平;老龄林、桉树林和次生林的 3 个土层之间则均无显著性差异(图 3)。

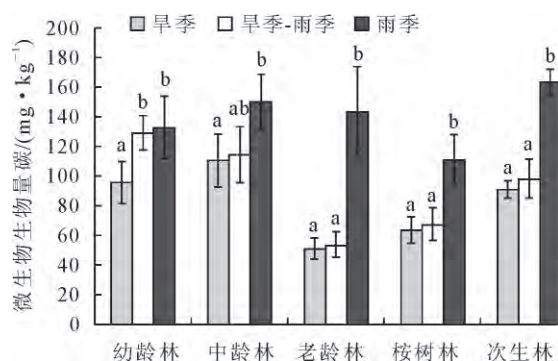


图 2 不同林型下土壤微生物生物量碳季节变化

Fig. 2 Seasonal variation in SMBC for different forests

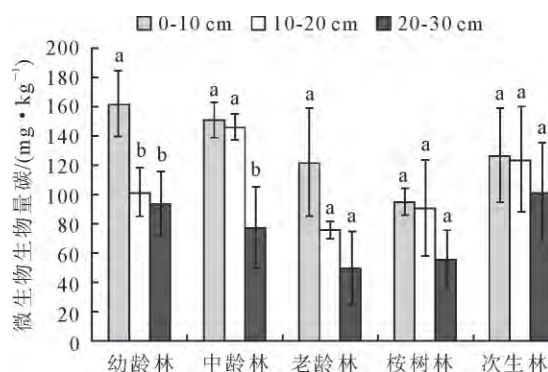


图 3 不同林型下不同土壤深度土壤微生物生物量碳

Fig. 3 SMBC in different soil depths for different forests

2.4 微生物生物量碳与土壤全氮、全磷、全钾、有机碳、含水率的相关关系

不同林型下微生物生物量碳与土壤全氮、全磷和全钾 3 种重要的土壤养分元素含量之间无显著性相关关系,与土壤有机碳和土壤含水率的相关关系同样不显著(表 2)。

表 2 土壤微生物生物量碳与全氮、全磷、全钾、有机碳、土壤含水率的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between s SMBC to total nitrogen, total phosphorus, total potassium, organic matter and water content of soil

	幼龄林	中龄林	老龄林	桉树林	次生林
全氮	0.410 0	-0.003 9	0.236 0	0.204 2	-0.280 3
全磷	-0.101 5	0.266 4	-0.220 0	-0.225 3	-0.255 7
全钾	0.229 7	-0.258 5	-0.143 2	-0.196 4	-0.327 0
含水率	0.012 2	0.193 2	-0.122 4	-0.116 9	-0.013 1
有机质	0.177 1	0.097 4	0.036 3	-0.040 3	0.007 7

3 结论与讨论

3.1 林型对土壤微生物生物量碳含量的影响

地上植被组成差异被认为是影响微生物生物量

碳含量的重要因素之一。植物多样性对微生物代谢活性和多样性均会产生影响。随着植物多样性的增加,微生物生物量明显增加^[20-21]。植物种类和数量增加,所以根系密度更大,极大地改善土壤结构,有利于养分的供应,增强土壤微生物的活动,土壤碳元素循环加快^[22]。橡胶林间种作物后土壤微生物生物量更高^[23],说明了植物多样性能提高微生物生物量碳。本研究结果表明,5种林型的微生物生物量碳含量相互关系为中龄林>幼龄林>次生林>桉树林>老龄林,且次生林与老龄林和桉树林之间均有显著差异,与很多研究结果一致。幼龄林、中龄林和次生林3种林型的微生物生物量碳含量无显著差异,但是明显高于老龄林,与很多研究结果不同。土壤施肥会极大的提高土壤微生物生物量碳的含量^[24-25]。橡胶林是以产胶为目的,生产过程伴随有大量的养分输出,因此,为保证胶园产量,在经营管理过程中会不断的施加肥料。幼龄林虽然还未开始产胶,但是在生产中,通常会通过施肥促进树体的生长;中龄林正是处于产胶的时候,也同样会施加大量的肥料;老龄林基本停止产胶,人工管理也就停止,不再人工施肥,其环境条件基本与桉树林接近,但是植物种类多样性低于次生林,因此,老龄林和桉树林含量显著低于次生林。

3.2 季节变化对土壤微生物生物量碳的影响

季节变化是影响微生物生物量碳的重要因素之一^[26]。本研究从旱季到雨季,5种林型的土壤微生物生物量碳含量均是逐渐增大,旱季时土壤微生物生物量碳的含量显著低于雨季。季节变化主要带来的是土壤温度、湿度和植物生长速度的变化,土壤温度过高(>35℃)或者过低(<6℃)均会造成微生物生物量碳含量下降^[27],会抑制微生物的活动。海南地区的雨季气温偏高,有利于微生物生物量碳的积累。北亚热带次生林和火炬松人工林的研究结果显示土壤微生物生物量碳与土壤湿度相关性并不显著^[28],说明土壤湿度可能不是森林土壤微生物生物量碳增长的唯一因子。根系能极大改善土壤的结构和养分供应,植物根系的生长加快,特别是细根部分对土壤结构的改良和土壤养分的循环促进都会增强。另一方面,地上凋落物和地下侧根分解是土壤有机碳的主要来源,旱季气候干燥,温度高,凋落物还处于分解状态中,土壤中有有机碳积累较少^[29-30],微生物生物量碳含量也较低;进入雨季之后,凋落物分解也基本结束,有机物分解获得的养分大量进入土壤循环系统中,被微生物利用,因此,微生物生物量碳含量迅速增加。

3.3 土层深度对土壤微生物生物量碳的影响

土层深度是影响土壤微生物生物量碳的重要因素。不同年龄橡胶林土壤微生物生物量碳含量随土壤深度增加逐渐降低^[16]。伴随着深度加深,土壤的理化性质也会发生较大的变化,特别是空气含量急剧减少,好氧微生物分布迅速减少。土壤微生物生物量碳的主要来源是土壤有机碳,随着土层越深积累的量也会逐渐减少。另外,随着土层越深,细根生物量越少^[31],对土壤中微生物生物量碳的贡献也会减小。本研究结果表明,在0~30 cm深的土壤中微生物生物量碳含量随土壤加深而减小,与很多的研究结果一致^[18,32]。老龄林、桉树林和次生林的0~10、10~20 cm与20~30 cm 3个土层的微生物生物量碳含量之间无显著性差异,而幼龄林与中龄林的0~10 cm和20~30 cm土层之间存在显著性差异。这可能与中幼龄橡胶林的经营管理有关,微生物主要分布在30 cm深的土壤层中,老龄林、桉树林和次生林在没有人活动干扰的情况下,微生物生物量碳在3个层次间的分布并无显著性差异;但是中、幼龄橡胶林在经营管理过程中会施入大量有机肥料,施肥有助于微生物生物量的增加,并且施肥多集中在表层,使表层的微生物生物量碳会长期处于较高的水平,随着土壤深度的增加,微生物生物量碳含量显著降低,因此,0~10 cm和20~30 cm土层的微生物生物量碳含量存在显著性差异。

参考文献:

- [1] 王光华,金剑,徐美娜,等.植物、土壤及土壤管理对土壤微生物群落结构的影响[J].生态学杂志,2006,25(5):550-556.
WANG G H, JIN J, XU M N, *et al.* Effects of plant, soil and soil management on soil microbial community diversity[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(5): 550-556. (in Chinese)
- [2] DAVID A L, RUSSELL K M. Plant-microbe competition for soil amino acids in the alpine tundra: effects of freeze-thaw and dry-rewet events[J]. Oecologia, 1998, 113(3): 406-414.
- [3] 孙清芳,刘延坤,邵英男,等.中国森林土壤微生物动态变化研究进展[J].环境科学与管理,2011,36(5):117-121.
SUN Q F, LIU Y K, SHAO Y N, CHEN Y, *et al.* Review on dynamic variation of soil microorganism in forest[J]. Environmental Science and Management, 2011, 36(5): 117-121. (in Chinese)
- [4] 张海燕,张旭东,李军,等.土壤微生物量测定方法概述[J].微生物学杂志,2005,25(4):95-98.
ZHANG H Y, ZHANG X D, LI J, *et al.* Outline of soil microbial biomass measurement methods[J]. Journal of Microbiology, 2005, 25(4): 95-98. (in Chinese)
- [5] 陶水龙,林启美,赵小蓉.土壤微生物量研究方法进展[J].土壤肥料,1998(5):15-18.
- [6] 汪文霞,周建斌,严德翼,等.黄土区不同类型土壤微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的含量及其关系[J].水土保持学报,

- 2006, 20(6):103-107.
- WANG W X, ZHOU J B, YAN D Y, *et al.* Contents of soil microbial biomass C, N and K_2SO_4 -extractable organic C, N and their relations in different soil types on Loess Plateau of China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6):103-107. (in Chinese)
- [7] 李世清, 任书杰, 李生秀. 土壤微生物体氮的季节性变化及其与土壤水分和温度的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1):18-23.
- LI S Q, REN S J, LI S X. Seasonal change of soil microbial biomass and the relationship between soil microbial biomass and soil moisture and temperature[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(1):18-23. (in Chinese)
- [8] 杨凯, 朱教君, 张金鑫, 等. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物生物量碳氮的季节变化[J]. 生态学报, 2009, 29(10):5500-5507.
- YANG K, ZHU J J, ZHANG J X, *et al.* Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N in two larch plantation forests with different ages in Northeastern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10):5500-5507. (in Chinese)
- [9] 张剑, 汪思龙, 王清奎, 等. 不同森林植被下土壤活性有机碳含量及其季节变化[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1):41-47.
- ZHANG J, WANG S L, WANG Q K, LIU Y X, *et al.* Content and seasonal change in soil labile organic carbon under different forest covers[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1):41-47. (in Chinese)
- [10] 李忠佩, 吴晓晨, 陈碧云. 不同利用方式下土壤有机碳转化及微生物群落功能多样性变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8):1712-1721.
- LI Z P, WU X C, CHEN B Y. Changes in transformation of soil organic carbon and functional diversity of soil microbial community under different land use patterns[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(8):1712-1721. (in Chinese)
- [11] 刘纯, 刘延坤, 金光泽. 小兴安岭6种森林类型土壤微生物量的季节变化特征[J]. 生态学报, 2014, 34(2):451-459.
- LIU C, LIU Y K, JIN G Z. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2):451-459. (in Chinese)
- [12] 张超, 闫文德, 郑威, 等. 凋落物对樟树和马尾松混交林土壤呼吸的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3):22-27.
- ZHANG C, YAN W D, ZHENG W, *et al.* Influence of litter on soil respiration in camphor tree-masson pine mixed forest [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(3):22-27. (in Chinese)
- [13] 王棣, 余雕, 张帆, 等. 森林生态系统碳储量研究进展[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(2):85-91.
- WANG D, SHE D, ZHANG F, *et al.* Advances in the researches of carbon storage of forest ecosystems[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(2):85-91. (in Chinese)
- [14] 方丽娜, 杨效东, 杜杰. 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[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4):837-844.
- FANG L N, YANG X D, DU J. Effects of land use pattern on soil microbial biomass carbon in Xishuangbanna[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4):837-844. (in Chinese)
- [15] 张敏, 邹晓明. 热带季节雨林与人工橡胶林土壤碳氮比较[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5):1013-1019.
- ZHANG M, ZOU X M. Comparison of soil C and N in rubber plantation and seasonal rainforest[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5):1013-1019. (in Chinese)
- [16] ZHANG M, SCHAEFER D A, CHAN O C, *et al.* Decomposition differences of labile carbon from litter to soil in a tropical rain forest and rubber plantation of Xishuangbanna, south-west China[J]. European Journal of Soil Biology, 2013, 55:55-61.
- [17] MARTIUS C, HÖFER H, GARCIA M V B, *et al.* Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: does canopy closure matter to soil organisms[J]. Agroforestry Systems, 2004, 60(3):291-304.
- [18] 王春燕, 陈秋波, 李光明, 等. 不同树龄橡胶林土壤微生物生物量碳的垂直分布特性[J]. 林业资源管理, 2012(2):59-64.
- WANG C Y, CHEN Q B, LI G M, *et al.* Vertical distribution of the soil microbial biomass carbon in rubber plantations with different ages[J]. Forest Resources Management, 2012(2):59-64. (in Chinese)
- [19] 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, 2000.
- [20] 肖辉林, 郑习健. 植物多样性对土壤微生物的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(3):238-241.
- XIAO H L, ZHENG X J. Effects of plant diversity on soil microbes[J]. Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(3):238-241. (in Chinese)
- [21] ZAK D R, HOLMES W E, WHITE D C, *et al.* Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? [J]. Ecology, 2003, 84(8):2042-2050.
- [22] 张成霞, 南志标. 土壤微生物生物量的研究进展[J]. 草业科学, 2010(6):50-57.
- ZHANG C X, NAN Z B. Research progress of soil microbial biomass in China[J]. Pratacultural Science, 2010(6):50-57. (in Chinese)
- [23] 潘超美, 杨风, 郑海水, 等. 橡胶林在间种砂仁与咖啡的模式下土壤微生物生物量[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2):114-116.
- PAN C M, YANG F, LI Y J, *et al.* Study on soil microbial biomass in rubber plantation intercropping with *Amomum villosum* or *Coffea arabica* [J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(2):114-116. (in Chinese)
- [24] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1):89-96.
- XU Y C, SHEN Q R, RAN W. Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 9(2):114-116. (in Chinese)
- [25] 陈留美, 吕家珑, 桂林国, 等. 新垦淡灰钙土微生物生物量碳、氮、磷及玉米产量的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(20):48-51.
- CHEN L M, LU J L, GUI L G, *et al.* Studies on soil microbial biomass C, N, P and maize yield in newly cultivated light sierozem[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(20):48-51. (in Chinese)

(下转第78页)

- fication standard on *Tectona grandis* seedlings [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2007, 35(1): 29-31. (in Chinese)
- [11] 郑益兴, 冯永刚, 彭兴民, 等. 印楝 1 年生苗木生长节律与数量分级标准[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 25-30.
- ZHENG Y X, FENG Y G, PENG X M, *et al.* Annual growth dynamics and quantitative grade standard of *Azadirachta indica* seedling [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2008, 32(3): 25-30. (in Chinese)
- [12] 杜春花, 陆斌, 陈芳, 等. 辣木种子发芽试验及容器苗木分级研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 108-110, 120.
- DU C H, LU B, CHEN F, *et al.* Seed germination and container seedling classification of *Moringa oleifera* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(1): 108-110, 120. (in Chinese)
- [13] 周铁峰. 中国热带主要经济树木栽培技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001, 99-101
- [14] 陈秋夏, 廖亮, 郑坚, 等. 光照强度对青冈栎容器苗生长和生理特征的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(12): 53-59.
- CHEN Q X, LIAO L, ZHENG J, *et al.* [J]. Effects of light intensities on growth and physiological characteristics of potted *Cyclobalanopsis glauca* seedlings [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(12): 53-59. (in Chinese)
- [15] 孙慧彦, 刘勇, 马履一, 等. 长白落叶松苗木质量与造林效果关系的比较[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(6): 176-180.
- SUN H Y, LIU Y, MA L Y, *et al.* Relationship between seedling quality and outplanting performance of *Larix olgensis* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(6): 176-180. (in Chinese)

(上接第 67 页)

- [26] EDWARDS K A, JEFFERIES R L. Inter-annual and seasonal dynamics of soil microbial biomass and nutrients in wet and dry low-arctic sedge meadows[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 57: 83-90.
- [27] JOERGENSEN R G, BROOKES P C, JENKINSON D S. Survival of the soil microbial biomass at elevated temperatures [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22(8): 1129-1136.
- [28] 王国兵, 阮宏华, 唐燕飞, 等. 北亚热带次生栎林与火炬松人工林土壤微生物生物量碳的季节动态[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 37-42.
- WANG G B, RUAN H H, TANG Y F, *et al.* Seasonal fluctuation of soil microbial biomass carbon in secondary oak forest and *Pinus taeda* plantation in north subtropical area of China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 37-42. (in Chinese)
- [29] 任泳红, 曹敏, 唐建维, 等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 418-425.
- REN Y H, CAO M, TANG J W, *et al.* A comparative study on litter fall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, sw China [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(5): 418-425. (in Chinese)
- [30] 赵春梅, 曹建华, 李晓波, 等. 橡胶林枯落物分解及其氮素释放规律研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(9): 1535-1539.
- ZHAO C M, CAO J H, LI X B, *et al.* Nitrogen release during litter decomposition and in rubber plantations [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(9): 1535-1539. (in Chinese)
- [31] 林希昊, 陈秋波, 华元刚, 等. 不同树龄橡胶林土壤水分和细根生物量[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 331-336.
- LIN X H, CHEN Q B, HUA Y G, *et al.* Soil moisture content and fine root biomass of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantations at different ages [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2): 331-336. (in Chinese)
- [32] CHEN T H, CHIU C Y, TIAN G L. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest [J]. Pedobiologia, 2005, 49(6): 645-653.